

**EVALUACIÓN Y CONTROL DEL ABULTAMIENTO (BULKING) EN UN  
SISTEMA AERÓBICO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÁCTEOS.**

**BELLANEDY TOBAR FERNÁNDEZ**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2014**

**EVALUACIÓN Y CONTROL DEL ABULTAMIENTO (BULKING) EN UN SISTEMA AERÓBICO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÁCTEOS.**

**BELLANEDY TOBAR FERNÁNDEZ**

**Informe final de trabajo de grado en la modalidad de pasantía como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Director**

**Ingeniero. John Calderón Ramírez**

**Ing. Civil. M.S.c**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**POPAYÁN**

**2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del director:**

---

**Firma del jurado:**

---

**Firma del jurado:**

---

**Popayán, 25 de abril de 2014**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de pasantía a Dios, a mis padres y a mi familia. A Dios por ser el guía en cada una de mis metas, por brindarme la sabiduría y fortaleza para enfrentar los momentos difíciles. A mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. A mi familia por ser la base y el motivo para emprender cada una de mis metas, por acompañarme en los buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios:

Por permitirme culminar con éxito el esfuerzo de todos estos años de estudio, por que la fe en Él fue el motor para seguir adelante y afrontar cada momento de mi vida.

A mis padres:

Por ser el pilar fundamental en mi vida, por todo su esfuerzo y sacrificio, lo que hizo posible el triunfo profesional alcanzado. Para ellos mi amor, respeto y gratitud.

A mis familiares:

Que de una u otra manera ayudaron y participaron para que lograra el presente éxito profesional. Gracias por sus palabras de aliento y fe en mí.

A mis amigos:

Por sus innumerables historias, compañía y fe constante.

A mi director de trabajo de grado Ingeniero John Calderón por su confianza y apoyo.

A la Empresa Alpina productos alimenticios S.A, por permitirme realizar mi práctica profesional, por involucrarme en temas relacionados a mi carrera y por su interés en el desarrollo del presente trabajo.

Al operario de Gestión Ambiental, Carlos Alberto Zapata por sus enseñanzas basadas en la experiencia, por su constante acompañamiento tanto a nivel profesional como personal.

En general al personal de la Planta Alpina Popayán, por hacer grata mi estadía en la empresa, por su apoyo y calidez humana.

A la Unidad de Microscopía Electrónica de la Universidad del Cauca, encabezada por su coordinadora Patricia Mosquera por su colaboración en el desarrollo del presente trabajo de pasantía.

A la Profesora Sandra Rivas docente del Departamento de Biología quien aportó sus conocimientos para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.

A la Universidad del Cauca, docentes y profesores.

## Tabla de contenido

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2 JUSTIFICACIÓN .....	14
3 OBJETIVOS .....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	15
4 DESCRIPCION GENERAL DE LA EMPRESA .....	16
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA .....	16
4.1.1 Información general:.....	16
4.2 LOCALIZACIÓN: .....	16
4.2.1 Descripción del entorno:.....	16
4.2.2 Descripción interna:.....	16
4.3 INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ALPINA POPAYÁN.....	17
4.3.1 Trampa de grasas .....	17
4.3.2 Estructura de derivación .....	18
4.3.3 Rejilla .....	18
4.3.5 Bombeo del agua residual .....	20
4.3.6 Tanque de aireación.....	20
4.3.8 Sistema de recirculación de lodo .....	21
4.3.9 Lechos de secado .....	22
4.3.10 Efluente .....	23
4.3.11 Dosificación de hipoclorito de sodio.....	23
4.3.12 Tanque de contacto.....	24
4.3.13 Descarga al río Cauca.....	24
4.4 Diagrama de flujo de la PTAR .....	25
5 MARCO TEÓRICO .....	26
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA:.....	26
5.2 PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN.....	26

5.3	TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS .....	28
5.4	EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.....	28
5.4.1	PROBLEMAS DE LOS LODOS ACTIVADOS .....	29
5.4.2	FACTORES INFLUYENTES EN LA GENERACIÓN DE BULKING .....	30
5.4.3	CONTROL DEL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMAS.....	30
5.4.4	MICROSCOPIA DE LOS LODOS.....	31
5.4.5	BIOINDICADORES .....	32
6	METODOLOGÍA.....	34
6.1	Caracterización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales e identificación de la problemática.....	34
6.2	Sitios de aforo y muestreo .....	34
6.3	Jornada de muestreo y composición de muestras .....	37
6.4	Mediciones o determinaciones IN SITU.....	37
6.5	Análisis de laboratorio .....	37
6.6	Identificación de microorganismos filamentosos.....	39
7	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	40
7.1	Análisis estadístico de los datos obtenidos.....	40
7.1.1	Análisis de datos de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	40
7.1.2	Análisis de datos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	41
7.1.3	Análisis de Carga aplicada de DBO <sub>5</sub> .....	43
7.1.4	Análisis índice de Biodegradabilidad (DBO <sub>5</sub> /DQO) .....	44
7.1.5	Análisis de datos de sólidos suspendidos en el afluente y efluente .....	45
7.1.6	Análisis de datos de SST correspondientes al tanque de aireación y recirculación de lodos.....	46
7.1.7	Análisis de datos de SSV correspondientes al tanque de aireación y recirculación de lodos.....	47
7.1.8	Análisis de datos Nitrógeno y Fósforo. ....	48
7.1.9	Análisis de datos de caudal.....	49
7.1.10	Análisis de datos de oxígeno disuelto.....	50
7.2	Análisis de concentraciones .....	52
7.3	Cálculo de parámetros de operación .....	56
7.3.1	Relación alimento- microorganismos (F/M).....	56

7.3.2	Índice volumétrico de lodos (I.V.L).....	56
7.3.3	Sólidos suspendidos en el tanque de aireación.....	59
7.3.4	Carga aplicada al proceso de lodos activados.....	59
7.3.5	Índice de biodegradabilidad (DBO <sub>5</sub> /DQO).....	60
7.3.6	Potencial de hidrógeno (pH).....	60
7.3.7	Variación de temperatura.....	63
7.3.8	pH y temperatura en el tanque de aireación.....	65
7.3.9	Concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación.....	66
7.3.10	Concentración de nutrientes.....	67
7.3.11	Identificación de la presencia de microorganismos filamentosos.....	67
8	CONCLUSIONES.....	76
9	RECOMENDACIONES.....	78
10	BIBLIOGRAFÍA.....	80
11	ANEXOS.....	83
Anexo 1	.....	84
Anexo 2	.....	114
Anexo 3	.....	118
Anexo 4	.....	121
Anexo 5	.....	123
Anexo 6	.....	125
Anexo 7	.....	127
Anexo 8	.....	129
Anexo 9	.....	133

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación Planta Alpina Popayán .....	17
Ilustración 2. Trampa de grasas.....	18
Ilustración 3. Rejilla.....	19
Ilustración 4. Tanque de regulación .....	19
Ilustración 5. Estación de bombeo de agua residual .....	20
Ilustración 6. Tanque de aireación .....	20
Ilustración 7. Clarificador secundario .....	21
Ilustración 8. Recirculación de lodos.....	22
Ilustración 9. Lechos de secado.....	22
Ilustración 10. Efluente .....	23
Ilustración 11. Dosificación de hipoclorito de sodio .....	23
Ilustración 12. Tanque de contacto .....	24
Ilustración 13. Efluente final.....	24
Ilustración 14. Vista en planta PTAR.....	25
Ilustración 15. Esquema del proceso de Lodos Activados .....	29
Ilustración 16. Flóculo .....	31
Ilustración 17. Estructura de entrada al tanque de aireación.....	35
Ilustración 18. Estructura de salida del tanque de sedimentación .....	36
Ilustración 19. Tanque de aireación .....	36
Ilustración 20. Tanque de aireación con presencia de espuma.....	54
Ilustración 21. Prueba de sedimentabilidad.....	57
Ilustración 22. Tanque de sedimentación con ausencia de material flotante .....	58
Ilustración 23. Tanque de sedimentación con presencia de material flotante.....	59
Ilustración 24. Lodo activado con presencia de microorganismos filamentosos .....	68
Ilustración 25. Disgregación flocular ocasionada por un episodio de bulking filamentosos.....	69
Ilustración 26. <i>Beggiatoa sp.</i> .....	69
Ilustración 27. <i>Bacillus sp.</i> .....	70
Ilustración 28. <i>Streptococcus sp.</i> .....	71
Ilustración 29. <i>Espirilos</i> .....	71
Ilustración 30. <i>Arcella sp.</i> .....	72
Ilustración 31. <i>Opercularia sp.</i> .....	73
Ilustración 32. <i>Vorticella sp.</i> .....	73
Ilustración 33. <i>Zoothamnium sp.</i> .....	74
Ilustración 34. <i>Epistylis sp.</i> .....	74
Ilustración 35. <i>Aspidisca sp.</i> .....	75
Ilustración 36. <i>Euplotes sp.</i> .....	75

## Lista de Gráficas

Gráfica 1. Caja esquemática para DQO.....	40
Gráfica 2. Caja esquemática para $DBO_5$ .....	42
Gráfica 3. Caja esquemática para los datos de carga aplicada al sistema.....	43
Gráfica 4. Caja esquemática para la relación $DBO_5/DQO$ .....	44
Gráfica 5. Caja esquemática para SST.....	45
Gráfica 6. Caja esquemática para datos de SST de recirculación y aireación.....	46
Gráfica 7. Caja esquemática para los datos de SSV de recirculación y aireación.....	47
Gráfica 8. Caja esquemática para datos de nitrógeno y fósforo.....	48
Gráfica 9. Caja esquemática para datos de caudal.....	49
Gráfica 10. Caja esquemática para OD en el fondo y en el punto medio.....	50
Gráfica 11. Caja esquemática para OD superficie.....	51
Gráfica 12. Variación de pH en el afluente.....	62
Gráfica 13. Variación de pH en el efluente.....	63
Gráfica 14. Variación de la temperatura en el afluente.....	64
Gráfica 15. Variación de temperatura en el efluente.....	64
Gráfica 16. Variación de pH en el tanque de aireación.....	65
Gráfica 17. Variación de la temperatura en el tanque de aireación.....	66

## Lista de Tablas

Tabla 1. Definición de grado de abundancia .....	32
Tabla 2. Coordenadas de los puntos de muestreo .....	35
Tabla 3. Resumen estadístico para datos de DQO .....	41
Tabla 4. Resumen estadístico para datos de DBO <sub>5</sub> .....	42
Tabla 5. Resumen estadístico para datos de carga de DBO <sub>5</sub> .....	44
Tabla 6. Resumen estadístico para la relación DBO <sub>5</sub> /DQO.....	45
Tabla 7. Resumen estadístico de datos de SST .....	46
Tabla 8. Resumen estadístico para SST recirculación y aireación .....	47
Tabla 9. Resumen estadístico para SSV de recirculación y aireación.....	48
Tabla 10. Resumen estadístico para datos de nitrógeno y fósforo .....	49
Tabla 11. Resumen estadístico para caudal .....	50
Tabla 12. Resumen estadístico para OD .....	52
Tabla 13. Remociones del sistema de lodos activados .....	53
Tabla 14. Indicadores visuales.....	54
Tabla 15. Eventualidades durante el período de pasantía.....	55
Tabla 16. Consolidación de los parámetros de operación.....	85
Tabla 17. Consolidación datos de SST y SSV .....	86
Tabla 18. Datos de caudal .....	87
Tabla 19. Datos de cargas volumétricas de entrada y salida de los parámetros de operación.....	88
Tabla 20. Índice de biodegradabilidad (DBO <sub>5</sub> /DQO) .....	89
Tabla 21. Datos de nitrógeno y fósforo .....	90
Tabla 22. Mediciones de oxígeno disuelto .....	91
Tabla 23. Mediciones de pH y temperatura.....	96
Tabla 24. Mediciones de pH y temperatura en el tanque de aireación .....	112

## INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria es uno de los sectores productivos que mayor impacto tiene sobre el ambiente, bien sea por sus procesos productivos o por los diferentes productos que salen al mercado (González, 2012). La industria láctea forma parte de este sector, ya que en el desarrollo de sus procesos productivos se generan cantidades apreciables de descargas líquidas, sólidas y gaseosas.

En el caso de las descargas líquidas, se caracterizan por su contenido de aceites y grasas, materia orgánica expresada en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), y sólidos suspendidos que provienen de las aguas de proceso, de enfriamiento, de lavado, pérdida de materia prima, etc (Gil, 2003).

En la actualidad debido a que la regulación sobre la disposición de los residuos generados en la industria alimenticia que afectan al ambiente por la descomposición natural y no controlada de la materia orgánica está siendo cada vez más exigente, se hace necesario implementar sistemas de tratamiento (Buendía, 2009). Para tal fin, Alpina como empresa productora de alimentos cuenta con un sistema de gestión ambiental que se basa en la planificación y correcto manejo de los aspectos e impactos ambientales asociados con temas como el abastecimiento de agua, generación de aguas residuales, consumo de energía y generación de residuos sólidos (Gil, 2008).

En el caso concreto de la planta Alpina Popayán, tiene incorporado un proceso de lodos activados con recirculación para el tratamiento de sus aguas residuales (Vallejos, 2013). Este tipo de tratamiento se caracteriza por obtener bajos valores de concentración de materia orgánica y de sólidos suspendidos en el líquido tratado, además son muy estables a variaciones de carga, y su operación puede ser ajustada a diferentes condiciones (Urtubia *et al.*, 2006). Sin embargo, existe un problema común encontrado en la mayoría de las plantas que usan este tipo de tratamiento, el cual se conoce como bulking filamentoso.

El bulking filamentoso no es más que un abultamiento en el interior del líquido, lo que provoca una baja o pobre sedimentabilidad que a su vez ocasiona problemas en la compactación de lodos (Reyes, 2009).

Con el desarrollo de esta práctica profesional se preme estudiar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Planta Alpina Popayán, con el fin de determinar las causas del bulking filamentoso y por tanto mejorar las condiciones de funcionamiento del sistema.

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe una dificultad en separar satisfactoriamente la biomasa del agua tratada y más aún, cuando se produce el problema de bulking, ya que el lodo del decantador secundario gana volumen y se vuelve ligero y esponjoso. Esta situación afecta el sistema desde dos ópticas: un aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST) a la salida del sistema, con posibilidad de superar los límites permisibles de descarga exigidos por la autoridad ambiental, y la posible pérdida de biomasa del sistema que pone en riesgo el estado estacionario del proceso biológico (Arango y López, 2011).

Tras encontrarse serias dificultades en el tratamiento de las aguas residuales de la Planta Alpina Popayán, relacionadas con la escasa sedimentabilidad de los fangos en el decantador secundario y la formación masiva de espumas en el recinto de aireación se hace necesario determinar los factores que influyen en la generación de dicho problema operacional, entre los cuales se pueden considerar las variaciones de pH, déficit en la concentración de oxígeno disuelto, presencia de microorganismos filamentosos, entre otros.

Se conoce que a escala real, el bulking filamentoso es una situación desfavorable y un mal manejo de éste puede llevar a suspender las operaciones de la planta, por tanto, la mayoría de plantas de tratamiento que han presentado este tipo de problemas han optado por soluciones como la adición de agentes oxidantes químicos o mediante el empleo de soluciones selectivas biológicas ya sea cinética o metabólicamente. Por tanto, se ratifica que es de vital importancia conocer las condiciones del sistema para elegir la técnica adecuada.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la necesidad de tratar aguas residuales domésticas e industriales surgen procesos de diversas características, entre ellos uno de los más usados es el sistema de lodos activados. A pesar de las ventajas que presenta este proceso, la mayoría de las plantas tienen ciertas falencias, como es el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Alpina Popayán.

Un problema operacional particular de las plantas de lodos activados es el bulking, el cual es conocido también como fango voluminoso, que es el lodo que posee pobres características de sedimentabilidad y escasa compactabilidad (Arellano, 2005), generando la flotación de los lodos en el clarificador secundario, lo que implica afectación en la calidad del líquido tratado debido a la pérdida de sólidos en el efluente y con potencial incumplimiento de las normas de vertimientos.

Según observaciones realizadas en el sistema de lodos activados empleado por la Empresa de productos alimenticios Alpina S.A, con sede en la ciudad de Popayán, se infiere que los problemas operacionales actuales podrían verse asociados con la generación de Bulking. Sin embargo, es necesario contar con estudios que verifiquen la hipótesis y que brinden información necesaria de las condiciones del sistema, con el fin de mejorar la situación. Por tal razón, se requiere realizar una evaluación del funcionamiento de la PTAR de Alpina Popayán, basándose en pruebas como DQO, DBO, SST, SSV, IVL, Niveles de O.D, entre otros.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar, analizar y relacionar algunas dificultades operacionales de la PTAR de la empresa de alimentos Alpina S.A por la presencia de bulking filamentoso.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Establecer relaciones entre los parámetros que caracterizan la calidad del efluente y los que caracterizan la sedimentabilidad de los lodos activos.
- Estudiar las causas cuantitativas y cualitativas que originan la proliferación de bulking en el tratamiento biológico a través de un sistema de lodos activados.
- Determinar e identificar la presencia de microorganismos filamentosos en el sistema de tratamiento de lodos activados.

## 4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

### 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

#### 4.1.1 Información general:

RAZÓN SOCIAL : ALPINA PRODUCTOS ALIMENTICIOS S.A

NIT : 860. 025. 900-2

TELEFONO : 8388000 Fax: 8388007

DIRECCIÓN : Cra 6 No 48 N - 00

ACTIVIDAD ECONÓMICA: Comercialización y distribución de productos alimenticios especialmente derivados lácteos.

LINEAS DE PRODUCCIÓN: Planta de fabricación y envasado de bebidas no alcohólicas, leches blancas y derivados lácteos.

### 4.2 LOCALIZACIÓN:

#### 4.2.1 Descripción del entorno:

La empresa se encuentra en el Municipio de Popayán, ubicado geográficamente en el extremo sur occidental de Colombia, en el Departamento del Cauca.

Su posición geográfica es de 2°26'44.52" latitud Norte y 76°36'11.94" Longitud Oeste, su altura sobre el nivel del mar en la zona urbana es de 1.737 m. La extensión territorial del municipio es de 512 kilómetros cuadrados de los cuales 27,25 corresponden al área urbana (PRAE, 2012).

#### 4.2.2 Descripción interna:

La sede Alpina en Popayán, esta localizada en un sector urbano.

Está rodeada al Norte con la Universidad UNAD; al sur con un barrio residencial; al oriente con la calle 6 Norte y al occidente con el Río Cauca (PRAE, 2012).

### Ilustración 1. Ubicación Planta Alpina Popayán



Fuente: PRAE, 2012.

### 4.3 INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ALPINA POPAYÁN

Los vertimientos líquidos domésticos e industriales de la empresa ALPINA PRODUCTOS ALIMENTICIOS S.A. son tratados mediante un sistema de Lodos activados antes de ser descargados al Río Cauca (Análisis Ambiental, 2013). Las aguas residuales son tratadas en un sistema biológico que consta de:

#### 4.3.1 Trampa de grasas

Las aguas residuales llegan a una caja que consta de un tabique central con paso por el fondo; en este sistema el agua pasa por debajo del tabique y continúa su flujo hacia la PTAR, mientras las grasas por su mayor densidad se ubican en la superficie y son removidas diariamente de forma manual (Ramírez, 2010).

## Ilustración 2. Trampa de grasas



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3.2 Estructura de derivación

La estructura de derivación permite derivar el caudal ordinario de aguas residuales a la planta de tratamiento y, en caso de lluvia, los caudales en exceso pasarán por el vertedero al conducto de fuga. Cabe resaltar que la estructura de derivación también sirve como by-pass en los casos que se presentan a continuación:

- a) Cuando no haya producción de aguas residuales, es decir, cuando termine la jornada de trabajo. Esto para evitar que si se presentan aguaceros en este período, las aguas lluvias no lleguen a la planta (Incol LTDA, 1989).
- b) Cuando por alguna circunstancia haya que hacerle mantenimiento a cualquiera de las unidades o equipos (Incol LTDA, 1989). En caso de parar temporalmente la operación de la PTAR se solicitaría permiso a la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), para verter el agua a través del by-pass directamente a la fuente.

Para cualquiera de los dos casos se ha previsto una válvula de diámetro de 6 pulgadas en el conducto de derivación.

### 4.3.3 Rejilla

Esta rejilla está ubicada en el conducto de derivación y permite la retención de sólidos mayores de 2 cm. Su objetivo es el de proteger la tubería de derivación de objetos que puedan causar su obstrucción parcial o total, por tanto la limpieza se realiza de forma manual una vez a la semana (Incol LTDA, 1989).

### Ilustración 3. Rejilla



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3.4 Tanque de regulación

Este tanque permite regular los picos de caudal de aguas residuales, que se presentan durante la jornada de trabajo de la industria. Su objetivo es permitir que a la planta entre un caudal mas o menos constante (Incol LTDA, 1989).

Su capacidad es de 25,92 m<sup>3</sup> y actualmente alberga dos bombas sumergibles que son accionadas mediante un flotador, adicional a esto en este punto se realiza la neutralización de los pH que ingresan a la planta de tratamiento.

### Ilustración 4. Tanque de regulación



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.5 Bombeo del agua residual

Para el bombeo del agua residual se han colocado dos bombas sumergibles en el tanque de regulación, cada una con capacidad para bombear 6,67 L/s, una de las bombas sirve de reserva cuando hay que hacerle mantenimiento a cualquiera de ellas.

**Ilustración 5.** Estación de bombeo de agua residual



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.6 Tanque de aireación

Con dimensiones de 7,3 m x 7,35 m x 3,9 m, con un borde libre de 0,35 m para una altura total del nivel del agua de 3,55 m y un volumen de 190 m<sup>3</sup>, el sistema opera como un proceso convencional de lodos activados, con una carga de diseño aplicada de 0,6 kg de DBO<sub>5</sub> por kg de sólidos suspendidos por día y una concentración de sólidos en el licor mixto entre (1500- 4000 mg/L).

**Ilustración 6.** Tanque de aireación



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.7 Clarificador secundario

Su capacidad es de 62,08 m<sup>3</sup>, de sección rectangular con fondo de pirámide semitrunca para la acumulación del lodo que sedimenta. Posee una canaleta de entrada con orificios de fondo para distribuir uniformemente el flujo y una canaleta de salida con vertedero a todo lo ancho del sedimentador. El tanque posee un área superficial de 36,34 m<sup>2</sup>, una carga superficial promedio de  $17 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$  y presenta una velocidad de sedimentación de  $0,014 \frac{m}{min}$ .

#### Ilustración 7. Clarificador secundario



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.8 Sistema de recirculación de lodo

Parte del lodo que se acumula en el sedimentador es recirculado al aireador y otra parte es desechada; para esto se ha dispuesto una bomba sumergible en el sedimentador. La tubería de impulsión es de PVC presión o similar de 4 pulgadas de diámetro, en esta se encuentran ubicadas válvulas que permitirán la operación de recirculación y purga del lodo en exceso.

### Ilustración 8. Recirculación de lodos



Fuente: Elaboración propia

### 4.3.9 Lechos de secado

Los siete lechos de secado de sección cuadrada, se encuentran constituidos por:

- Una capa de grava de tamaño efectivo 1/4" – 1/2" y espesor de 0,30 m.
- Capa de grava de tamaño efectivo 2 mm y espesor de 0,05 m.
- Capa de arena de tamaño efectivo 0,3mm – 0,5 mm y espesor de 0,20 m.
- Tubería de drenaje en gres perforada de diámetro 6"

En estos lechos se dispone el lodo de exceso para su deshidratación y secado.

### Ilustración 9. Lechos de secado



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.10 Efluente

**Ilustración 10.** Efluente



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.11 Dosificación de hipoclorito de sodio

**Ilustración 11.** Dosificación de hipoclorito de sodio



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.12 Tanque de contacto

**Ilustración 12.** Tanque de contacto



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.13 Descarga al río Cauca

**Ilustración 13.** Efluente final



**Fuente:** Elaboración propia



## 5 MARCO TEÓRICO

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA:

Los efluentes que se generan en las industrias lácteas consisten en una solución de leche, derivados lácteos y otras sustancias utilizadas durante el proceso. Pueden dividirse en cuatro grupos: a) los generados en las operaciones de lavado de maquinaria, aquí se tiene en cuenta la soda cáustica, desinfectantes, aditivos, detergentes, ácidos, etc. Aproximadamente cada tonelada de leche elaborada requiere entre 1 y 4 Kg de agentes de limpieza, b) los originados por las fugas y goteos producidos durante el procesamiento, c) los generados como consecuencia de alguna operación del proceso tecnológico como el agua de refrigeración en los condensadores de los evaporadores y las instalaciones frigoríficas (Cruz, 2001). Debido a este tipo de sustancias, la mayoría de las empresas cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales que minimice el impacto ambiental de estas aguas sobre los cuerpos receptores.

### 5.2 PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN

La contaminación generada en las industrias lácteas se evalúa en términos de aceites y grasas, sólidos suspendidos, DQO, DBO<sub>5</sub> y nitrógeno amoniacal (Vilema, 2011).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Está basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos (con raras excepciones) pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua mediante la acción, en medio ácido de agentes muy oxidantes. Por este motivo, los valores de la DQO son mayores que los valores correspondientes a la DBO de la muestra, y están en proporción a la mayor o menor cantidad de materia orgánica biológicamente resistente a ser oxidada. Es de gran interés este parámetro en los casos en que se contemplan tratamientos de ciertos residuos industriales (Cerezo, 2011).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Se define como la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos, para descomponer u oxidar la materia orgánica de desecho bajo condiciones aeróbicas en una forma natural (Reyes, 2009).

- **Aceites y grasas:** Se les concede especial atención por su escasa miscibilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras. Las grasas y aceites han generado muchos problemas en el tratamiento de aguas residuales (Viracucha, 2012).

En las plantas de lodos activados, la grasa por lo general se acumula en “globos de grasa”. Los procesos de lodos activados son afectados adversamente por las excesivas cantidades de grasa que envuelven las formas biológicas lo suficiente para interferir con la transferencia de oxígeno del líquido al interior de las células vivientes (Viracucha, 2012).

- **Sólidos suspendidos:** Los sólidos suspendidos o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103 a 105 °C hasta peso constante.
- **Sólidos disueltos:** Residuo filtrable total obtenido a partir del secado de un volumen de filtrado en una estufa a una temperatura de 180 °C, se expresa en mg/L (APHA & col, 2005).
- **Sólidos totales:** Concentración de sólidos en una muestra. Se determina sometiendo un volumen de agua a secado en una estufa a temperaturas comprendidas entre 103 a 105 °C hasta peso constante. Se expresa en mg/L (APHA y col, 2005).
- **Sólidos Volátiles en suspensión:** Son básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de  $550 \pm 50$  °C. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce como sólidos fijos y constituye la porción inorgánica o mineral de los sólidos (Viracucha, 2012).

### 5.3 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los sistemas de tratamiento biológico son proyectados para la estabilización y eliminación de la materia orgánica soluble y coloidal que todavía queda después del tratamiento primario (Cerezo, 2011). En el caso de aguas residuales domésticas los objetivos del tratamiento biológico son (1) transformar componentes disueltos y partículas biodegradables en productos finales aceptables, (2) capturar e incorporar coloides suspendidos y no suspendidos en flóculos biológicos o biopelículas, (3) transformar o remover nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, y (4) en algunos casos, remover trazas de componentes orgánicos específicos. Para agua residual industrial, el objetivo es remover o reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Debido a que algunos de los componentes y compuestos encontrados en aguas industriales de desecho son tóxicos para los microorganismos, puede requerirse un pre tratamiento antes de que el agua de desecho pueda ser descargada a un sistema colector (García, 2011).

### 5.4 EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de lodos activados (fangos activados) es el sistema biológico de depuración de aguas más extendido actualmente para tratar las aguas residuales, tanto domésticas como industriales y sus aplicaciones han aumentado a medida que se ha avanzado en el conocimiento de la microbiología, cinética y bioquímica relacionada con el proceso (Aragón, 2009).

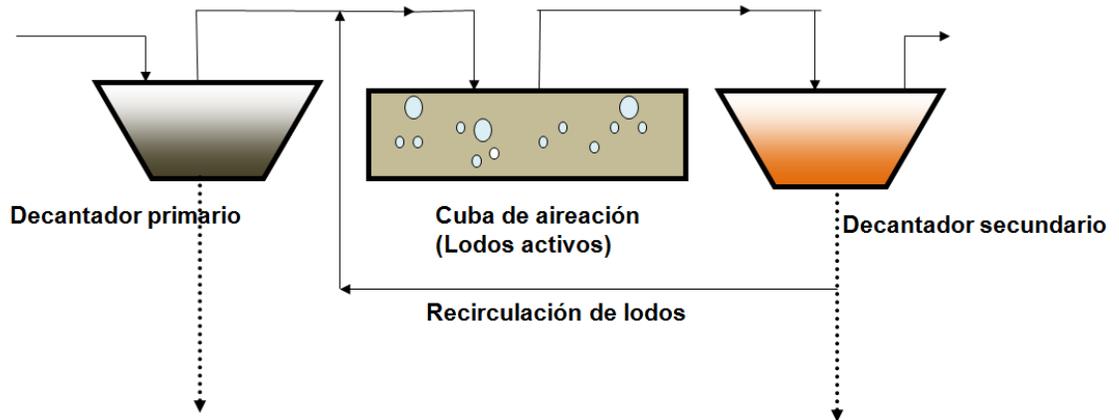
La denominación del proceso proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En la actualidad, existen muchas versiones del proceso original, pero todas con la misma base científica (Tchobanoglous y Burton F, 1995; citado por Aragón, 2009).

En este tipo de tratamiento se pueden diferenciar dos etapas, que son:

- Etapa de aireación: Tiene lugar en el tanque (o cuba) de aireación y en ella se promueve el cultivo microbiano en suspensión por medio de una apropiada aireación (mínimo de  $1 \text{ mg O}_2/\text{L}$ ) y el aporte de nutrientes, que es la contaminación del agua. Los microorganismos degradan y asimilan la materia orgánica disuelta (Romero, 2011).
- Etapa de decantación: En ella se lleva a cabo la sedimentación de los lodos generados en la primera etapa (Romero, 2011).

El esquema del proceso de lodos activados se observa en la ilustración 15.

**Ilustración 15.** Esquema del proceso de Lodos Activados



**Fuente:** Romero, 2011.

Cabe resaltar que previamente a estas dos etapas, existe un pretratamiento basado en operaciones de tipo físicas. En el caso de la PTAR de la empresa de Alpina Popayán se cuenta con un sistema de trampa de grasas y rejillas.

#### **5.4.1 PROBLEMAS DE LOS LODOS ACTIVADOS**

Dentro de los problemas generados en los sistemas de lodos activados se destacan aquellos debidos a la presencia de microorganismos filamentosos, los cuales pueden generar:

- 1) Abultamiento filamentosos o bulking: Los filamentos intervienen en la compactación del flóculo en el decantador secundario.
- 2) Espumamiento biológico o foaming.

Los microorganismos filamentosos producen una espesa espuma coloreada (en colores del blanco al marrón) y en muchos casos abundantes flotantes en decantación secundaria.

El abultamiento (bulking) es un término empleado cuando los microorganismos del tipo filamentosos abundan, es decir, cuando existen en mayoría en comparación con las bacterias formadoras de flóculos, ya que si bien es un problema, sólo lo son cuando están en mayoría, ya que impiden la sedimentación rápida, pero cuando existen en minoría son benéficas para la sedimentación, ya que aportan peso, lo cual provoca que la sedimentación del lodo sea más rápida (Reyes, 2009).

## 5.4.2 FACTORES INFLUYENTES EN LA GENERACIÓN DE BULKING

Existen ciertas características en particular que fomentan la aparición de bulking en los sistemas de tratamiento de lodos activados, entre ellos se destacan:

- **Composición del agua residual:** Las bacterias filamentosas tienen un mayor acceso a la materia orgánica fácilmente biodegradable, mientras que las floculantes acceden con mayor facilidad a los productos de la hidrólisis (Arango y López, 2011).
- **Edad del lodo:** Los microorganismos filamentosos presentan, en general, una lenta cinética y, por lo tanto, se ven favorecidos por valores altos de tiempos de retención (Arango y López, 2011).
- **Concentración de sustrato en el reactor:** Se presentan dos casos: en el primero, conocido como crecimiento equilibrado, el sustrato es el único factor limitante del crecimiento, por lo que la eliminación del sustrato se produce de forma paralela al crecimiento bacteriano. En este caso, los microorganismos filamentosos presentan, en general, una mayor afinidad por el sustrato en condiciones de baja concentración de sustrato, mientras que las floculantes presentan una mayor afinidad a altas concentraciones de sustrato (Arango y López, 2011).
- **Nivel de oxígeno disuelto:** Algunas bacterias filamentosas presentan una alta afinidad por el oxígeno con niveles de oxígeno bajos (Arango y López, 2011).
- **pH y temperatura:** En condiciones de pH bajos pueden aparecer hongos, mientras que las variaciones de temperatura influyen en el tipo de bacteria filamentosas dominante en el lodo y las espumas (Arango y López, 2011).

## 5.4.3 CONTROL DEL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMAS

El control del bulking filamentosos y las espumas se basa principalmente en corregir el problema que está causando dichos fenómenos, es decir, se deben controlar las variables que producen estrés y la sobreproliferación de las bacterias filamentosas (Salinas, 2013).

Sin embargo, resulta de gran importancia realizar un análisis microscópico al licor de mezcla y a las espumas, e identificar las bacterias y su abundancia, ya que no todos los microorganismos proliferan por la misma causa (Salinas, 2013).

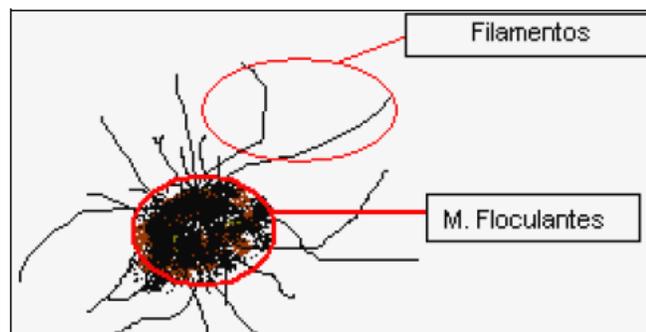
Aunque se detecte la causa de la sobreproducción de bacterias filamentosas, y se logre controlar, estos problemas no se eliminan instantáneamente, por lo que se recurre a los productos químicos como bactericidas y antiespumantes (Salinas, 2013).

#### 5.4.4 MICROSCOPIA 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”. Los flóculos están compuestos por bacterias filamentosas, como se observa en la ilustración 16.

Este tipo de bacterias son la parte estructural, que forman una red cuyo objetivo es fijar 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 (Bernal,2010).

**Ilustración 16.** Flóculo



**Fuente:** Contreras, 2010.

La caracterización del flóculo permite determinar grados de abundancia de los distintos componentes, como también de sus características de tamaño, forma y dispersión y 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 como se muestra en la Tabla 1 (Bernal, 2010).

**Tabla 1.** Definición de grado de abundancia

Grado	Definición	Como afecta 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 más de 5 por flóculos.	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

**Fuente:** Bernal, 2010.

#### 5.4.5 BIOINDICADORES

Las bacterias constituyen la población mayoritaria y más importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Una de las características más importantes de algunas bacterias es la capacidad de flocular. Estos flóculos están constituidos por bacterias unidas unas a otras además de partículas orgánicas e inorgánicas. Gracias a esto se producirán efluentes más transparentes y de mejor calidad (Salinas, 2013).

Los protozoos son organismos unicelulares que pueden metabolizar tanto alimentos solubles como insolubles, ayudando a que el efluente sea más claro y de mejor calidad. Constituyen aproximadamente el 5% del peso seco de los sólidos en suspensión del licor mezclado. Estos microorganismos actúan eliminando el exceso de bacterias no floculadas, es decir, consumen bacterias que son libres o no formadoras de flóculos (bacterias dispersas). Son un buen

indicador directo de toxicidad, ya que son más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno por lo que se utilizan como indicadores del funcionamiento de la planta. Los grupos básicos que pueden observarse en los lodos activados son: Flagelados, amebas, ciliados nadadores libres y ciliados pedunculados. Cada uno de estos grupos desempeña una función concreta en el sistema y su aparición y abundancia reflejan las distintas condiciones fisicoquímicas existentes en los tanques de aireación, por lo que resulta ser un índice muy útil para valorar la eficacia del proceso de depuración (Vilaseca, 2001).

## 6 METODOLOGÍA

La metodología propuesta se diseñó para realizarse en la Empresa Alpina Productos Alimenticios S.A., con sede en la ciudad de Popayán. Esta planta actualmente se dedica a la producción de la línea de leche y mantequilla por tanto sus efluentes básicamente son descargas del proceso productivo (lavado de equipos, cisternas, etc), cuenta con un sistema de lodos activados para su debido tratamiento. Adicional a esto, la PTAR recibe las aguas de carácter doméstico que se generan en la edificación y que atiende alrededor de 82 empleados directos por parte de Alpina.

### 6.1 Caracterización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales e identificación de la problemática.

Consiste en la descripción del proceso de tratamiento, monitoreo y análisis fisicoquímico de los siguientes parámetros principales: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH, sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado (SSVLM), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno (N) y fósforo (P); asimismo, de los parámetros de control de operación de la planta: Oxígeno Disuelto (OD), relación F/M, Índice Volumétrico de Lodos (IVL), sólidos sedimentables (SSed).

### 6.2 Sitios de aforo y muestreo

El tipo de tratamiento empleado en la PTAR de la planta Alpina Popayán, es un sistema convencional de lodos activados, con un caudal máximo de diseño de 576 m<sup>3</sup>/d (6,67 L/s). En dicho sistema el 15% del lodo que se acumula en el sedimentador, es recirculado al tanque de aireación para mantener una biomasa activa de microorganismos.

Cabe resaltar, que cada una de las unidades del sistema, las cuales fueron enunciadas anteriormente, están relacionadas entre sí y operan como un sistema único. Por lo tanto, la eficiencia del proceso está directamente afectada por la eficiencia de cada componente. Por ello, se analizan las condiciones en distintos puntos de la PTAR como son la entrada al tanque de aireación, salida del sedimentador y tanque de aireación.

La toma de muestra del agua residual del sistema de tratamiento se efectuó en los siguientes puntos:

**Tabla 2.** Coordenadas de los puntos de muestreo

<b>Nombre</b>	<b>N</b>	<b>W</b>
Entrada PTAR	764957	1055685
Salida PTAR	764959	1055680
Tanque de aireación	No aplica	No aplica

**Fuente:** Análisis Ambiental, 2013.

A continuación se presentan las ilustraciones correspondientes a los tres sitios donde se realizó la toma de muestras: entrada (ver ilustración 17), salida (ver ilustración 18) y tanque de aireación (ver ilustración 19).

**Ilustración 17.** Estructura de entrada al tanque de aireación



**Fuente:** Elaboración propia

En este punto se realizó mediciones de pH, temperatura y el aforo para evaluar parámetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y nutrientes.

**Ilustración 18.** Estructura de salida del tanque de sedimentación



**Fuente:** Elaboración propia

En este punto se realizó mediciones de pH, temperatura y el aforo para evaluar parámetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y nutrientes

**Ilustración 19.** Tanque de aireación



**Fuente:** Elaboración propia

En el tanque de aireación se analizó parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto, SST, SSV.

### **6.3 Jornada de muestreo y composición de muestras**

Con el fin de obtener resultados representativos de las características de los desechos líquidos que se presentan tanto en el efluente como en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la planta Alpina Popayán, se realizaron los muestreos en días normales de producción y el monitoreo por un período de ocho (8) horas continuas, las muestras se tomaron cada quince (15) minutos.

### **6.4 Mediciones o determinaciones IN SITU**

En las 16 jornadas de muestreo se registraron cada quince (15) minutos, mediciones IN SITU de pH y Temperatura.

Los registros de pH y temperatura se obtuvieron mediante el uso de un pH-metro TERMO SCIENTIFIC- ORION 3 STAR. En las Tabla 23 del Anexo 1, se registran los valores de pH, temperatura.

Otro de los parámetros al que se hizo medición IN SITU fue la concentración de Oxígeno disuelto, por lo que se realizaron diversas mediciones en el día empleando el oxímetro 3205 y el sensor de oxígeno Cellox 325. En la Tabla 22 del Anexo 1, se registran los valores de oxígeno disuelto correspondientes a tres puntos del tanque de aireación; profundidad, medio y superficie respectivamente.

Las mediciones de caudal fueron tomadas directamente del medidor de flujo que posee la industria para tal fin, los datos se consignan en la Tabla 18 del Anexo 1.

### **6.5 Análisis de laboratorio**

Teniendo en cuenta la Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas establecido por el IDEAM, se establece que algunos de los parámetros a analizar en las industrias de productos lácteos y sus derivados son DBO<sub>5</sub>, DQO, SST. Debido al enfoque del presente trabajo, adicional a estos parámetros se analizó SSV y concentraciones de nitrógeno y fósforo.

A las muestras recolectadas en los sitios de muestreo se le realizaron los siguientes análisis:

**Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Se realizó mediante la determinación fotométrica de la concentración de cromo (III) tras

oxidación de 30 min con dicromato potásico/ ácido sulfúrico/ sulfato de plata a 160° C. Lo anterior empleando el kit Nanocolor método 028 y 029 con fotómetro PF-12.

Las especificaciones del procedimiento se encuentran en el Anexo 2.

**Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Este ensayo se realizó para los 16 muestreos compuestos a partir del método respirométrico, el cual realiza la medición por un sensor Oxitop.

**Sólidos suspendidos (SST):** Se realizó en dos puntos, el primero corresponde al tanque de aireación y el segundo en la recirculación de lodos.

Se tomó una muestra de volumen conocido y representativo del volumen total del licor, el cual se filtró con ayuda de una bomba al vacío. Los sólidos retenidos en el papel filtro fueron secados en un horno a 103-105° C durante una hora y se calcularon de acuerdo con la siguiente expresión:

$$SST = \frac{m_{G4} - m_{G3}}{V} \times 1000$$

**Fuente:** Viracucha, 2012.

Donde:

SST= Sólidos totales en suspensión, mg/L.

$m_{G4}$ = Masa del crisol más papel filtro con el residuo, después de la evaporación, mg

$m_{G3}$  = Masa del crisol más papel filtro, en mg.

V= Volumen de muestra en mL.

**Sólidos volátiles (SSV):** Una vez determinados los sólidos suspendidos, la muestra se llevó a calcinación en una mufla durante un tiempo de 20 min a 550° C de temperatura. La determinación se realizó con base en la fórmula siguiente:

$$SSV = \frac{m_{G4}^* - m_{G3}}{V} \times 1000$$

**Fuente:** Viracucha, 2012.

Donde:

SSV= Sólidos suspendidos volátiles en suspensión, mg/L.

$m_{G4}^*$  = Masa del crisol más papel filtro con el residuo, después de la calcinación, mg

V= Volumen de muestra en mL.

**Índice Volumétrico de Lodos (IVL):** Para este ensayo se dejó sedimentar una muestra de 1000 mL proveniente del tanque de aireación en un cono Imhoff y la lectura se realizara luego de 30 minutos.

El cálculo de este parámetro se realizó a través de la siguiente expresión:

$$IVL \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{Vol_{30minutos} \left( \frac{ml}{100ml} \right)}{SSTLM \left( \frac{mg}{L} \right) \times \left( \frac{1g}{1000mg} \right) \times \left( \frac{1L}{1000mL} \right)}$$

$$IVL \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{Vol_{30minutos} \times 1000}{SSTLM}$$

**Fuente:** Arellano, 2005.

**Nitrógeno y Fósforo Total:** La determinación de estos parámetros se realizó empleando el test nanocolor 088 y 076 respectivamente y su posterior lectura en el fotómetro PF-12.

## 6.6 Identificación de microorganismos filamentosos

En cuanto a la identificación de microorganismos filamentosos (análisis cualitativo) se realizó siguiendo los métodos detallados en el Manual de Jenkins *et al.* (1993), mediante el examen microscópico de los lodos activados a diferentes enfoques 10x, 40x, 100x ; correspondientes a placas en fresco, y con tinción Gram y Neelsen las cuales son apropiadas para este tipo de microorganismos.

Durante el período de pasantía se realizaron 5 análisis microscópicos, de los cuales se tiene toma fotográfica de los microorganismos visibles en microscopio óptico de alta resolución en los distintos enfoques y en algunos casos empleando la técnica fotográfica de contraste diferencial de interferencia.

## 7 RESULTADOS Y ANÁLISIS

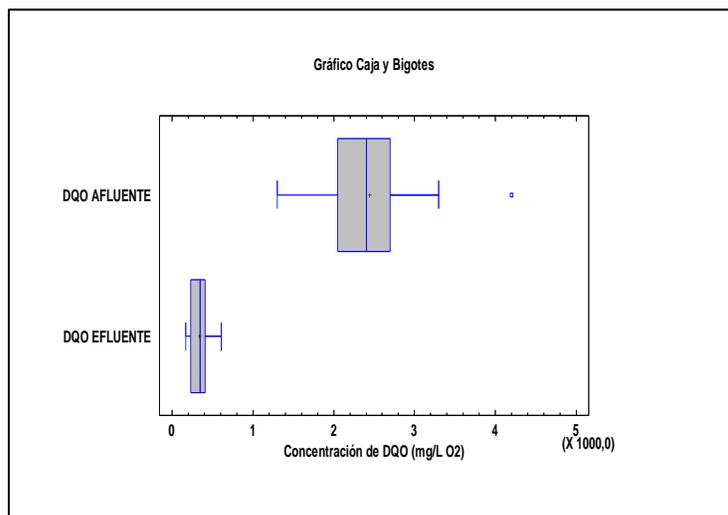
### 7.1 Análisis estadístico de los datos obtenidos

Una vez obtenidos los datos de las diversas pruebas de laboratorio se procedió a realizar el análisis estadístico empleando el programa Statgraphics, con el objetivo de realizar comparaciones entre dos tipos de muestras. Es decir, los datos del afluente con el efluente y en el caso de los SST y SSV la comparación se hizo entre los datos del tanque de aireación y los de recirculación de lodos.

#### 7.1.1 Análisis de datos de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La caja esquemática elaborada a partir de los datos de DQO afluente y efluente de la PTAR de Alpina Popayán se presenta en la gráfica 1.

**Gráfica 1.** Caja esquemática para DQO



**Fuente:** Elaboración propia

Como dato dudoso se tiene una concentración de 4200 mg/ L O<sub>2</sub> en el afluente, el cual no se encuentra dentro de los límites inferior y superior. Sin embargo, debido a que el sesgo y la curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango pertinente (-2, a + 2) se puede afirmar que los datos provienen de una distribución normal y no se descarta el dato. Adicionalmente, si se compara con la gráfica 2,

correspondiente a los datos de  $DBO_5$  se encuentra que no hay datos alejados y como la  $DBO_5$  tiene relación con la DQO, no se hace necesario descartar el dato.

Los datos estadísticos de DQO tanto en el afluente como en el efluente se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen estadístico para datos de DQO

	DQO AFLUENTE	DQO EFLUENTE
Recuento (N)	16	16
Promedio (mg/L)	2444	340
Desviación Estándar (mg/L)	693,75	123,01
Coefficiente de Variación (%)	28,39%	36,19%
Mínimo (mg/L)	1300,0	171,0
Máximo (mg/L)	4200,0	611,0
Rango (mg/L)	2900,0	440,0
Sesgo Estandarizado	1,46	0,95
Curtosis Estandarizada	1,41	0,07

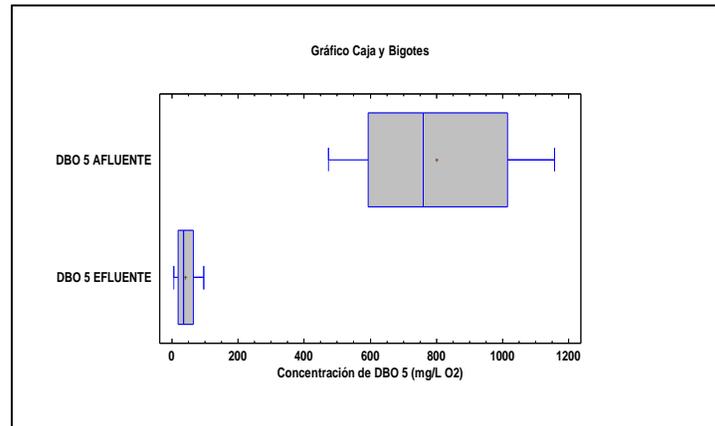
**Fuente:** Elaboración propia

### 7.1.2 Análisis de datos de Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ )

En este caso no se encuentran valores atípicos lo que verifica la confiabilidad de los datos y la eficiencia a la hora de realizar los análisis de laboratorio. Los datos corresponden a una distribución normal y los valores de sesgo y curtosis estandarizada están dentro del rango esperado.

Para mayor claridad en la gráfica 2, se muestra la caja esquemática correspondiente a los datos de  $DBO_5$ .

**Gráfica 2.** Caja esquemática para DBO<sub>5</sub>



**Fuente:** Elaboración propia

A continuación se muestra el resumen estadístico para los datos de DBO<sub>5</sub> (ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Resumen estadístico para datos de DBO<sub>5</sub>

	DBO 5 AFLUENTE	DBO 5 EFLUENTE
Recuento (N)	16	16
Promedio (mg/L)	801	41
Desviación Estándar (mg/L)	242,88	27,51
Coefficiente de Variación (%)	30,32%	66,57%
Mínimo (mg/L)	473,0	5,4
Máximo (mg/L)	1157,0	96,0
Rango (mg/L)	684,0	90,6
Sesgo Estandarizado	0,23	0,98
Curtosis Estandarizada	-1,04	-0,68

**Fuente:** Elaboración propia

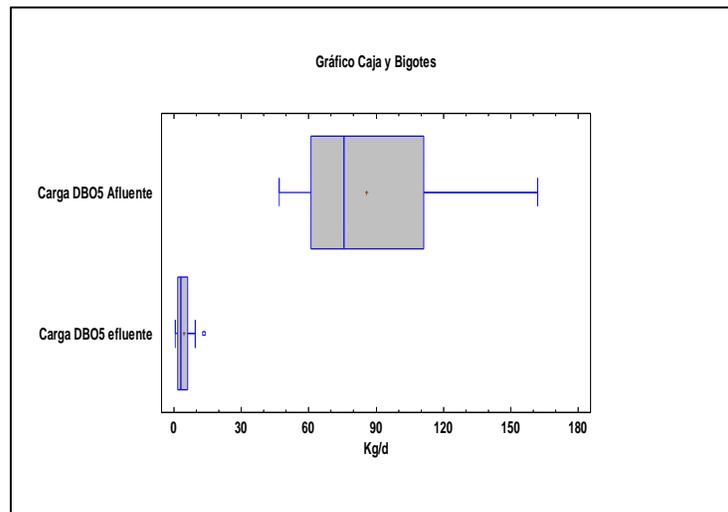
Adicional a las cajas esquemáticas y las variables estadísticas consignadas en la Tabla 4, se procedió a calcular otros parámetros de gran importancia en el proceso de lodos activados como son las cargas aplicadas al proceso y el índice de Biodegradabilidad (DBO/DQO). Los resultados se consignan en el la Tabla 19 y 20 del anexo 1, mientras que el método de cálculo para las cargas aplicadas en el Anexo 7.

### 7.1.3 Análisis de Carga aplicada de DBO<sub>5</sub>

Para el análisis de los datos de carga aplicada de DBO<sub>5</sub>, se emplea la caja esquemática que se muestra en la gráfica 3.

Según dicha gráfica, se presenta un dato atípico en el efluente el cual corresponde a una carga de 13,44 Kg/d de DBO<sub>5</sub>. El dato atípico se pudo determinar ya que quedo a más de 1,5 veces el rango intercuartílico por arriba de la caja. Otra de las apreciaciones en dicha gráfica son las diferencias significativas entre los dos tipos de muestra que corresponden al afluente y efluente de la PTAR de Alpina Popayán.

**Gráfica 3.** Caja esquemática para los datos de carga aplicada al sistema



**Fuente:** Elaboración propia

El resumen estadístico de los datos correspondientes a carga de DBO<sub>5</sub>, se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Resumen estadístico para datos de carga de DBO<sub>5</sub>

	Carga DBO <sub>5</sub> afluente	Carga DBO <sub>5</sub> efluente
Recuento (N)	16	15
Promedio (Kg/d)	85,83	3,85
Desviación Estándar (Kg/d)	33,33	2,61
Coficiente de Variación (%)	38,83%	67,75%
Mínimo (Kg/d)	47,0	0,68
Máximo (Kg/d)	162,0	9,57
Rango (Kg/d)	115,0	8,89
Sesgo Estandarizado	1,45	1,60
Curtosis Estandarizada	0,08	0,15

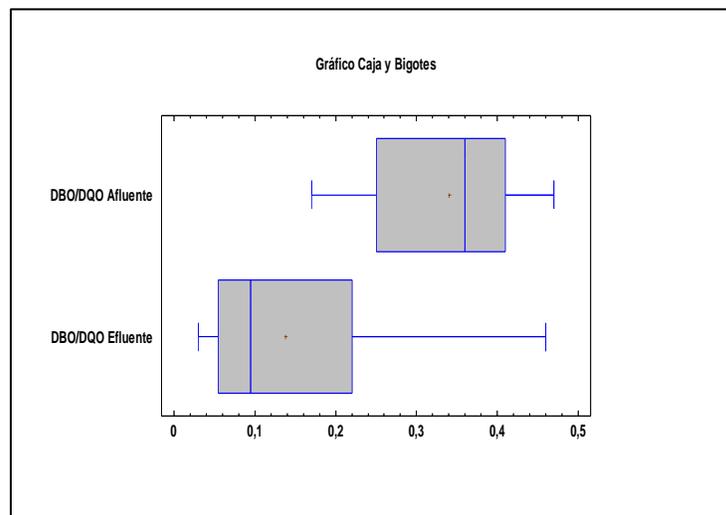
**Fuente:** Elaboración propia

#### 7.1.4 Análisis índice de Biodegradabilidad (DBO/DQO)

Según muestra la gráfica 4 no se presenta datos atípicos entre los resultados de este parámetro. En cuanto a la curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado afirmando que los datos provienen de una distribución normal.

A continuación se muestra la caja esquemática correspondiente a la relación DBO/DQO (ver Gráfica 4).

**Gráfica 4.** Caja esquemática para la relación DBO<sub>5</sub>/DQO



**Fuente:** Elaboración propia

El resumen estadístico para los datos correspondientes al índice de biodegradabilidad (DBO<sub>5</sub>/DQO), se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Resumen estadístico para la relación DBO<sub>5</sub>/DQO

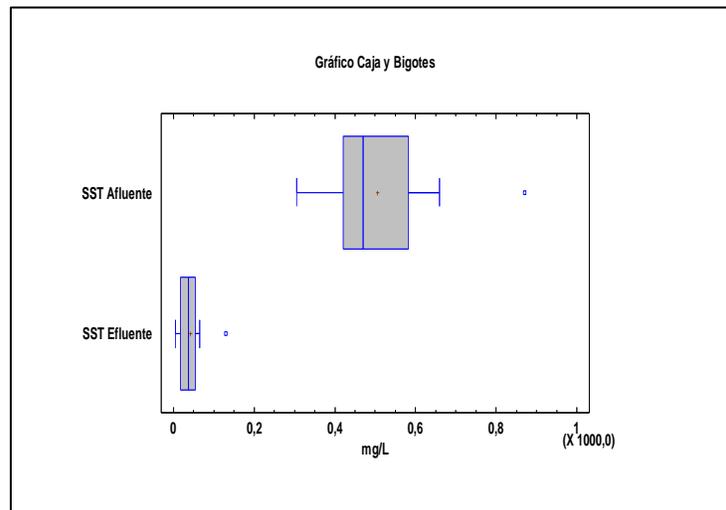
	DBO <sub>5</sub> /DQO Afluente	DBO <sub>5</sub> /DQO Efluente
Recuento (N)	16	16
Promedio	0,34	0,14
Desviación Estándar	0,09	0,12
Coefficiente de Variación	28,17%	85,59%
Mínimo	0,17	0,03
Máximo	0,47	0,46
Rango	0,3	0,43
Sesgo Estandarizado	-0,86	2,56
Curtosis Estandarizada	-0,80	1,92

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.1.5 Análisis de datos de sólidos suspendidos en el afluente y efluente

En la gráfica 5, se muestran datos atípicos 870 mg/L SST afluente y 130 mg/L de SST en el efluente. Estos valores pueden deberse a fallas de tipo personal en cuanto a la cantidad de la muestra se refiere. Por lo tanto estos datos no son considerados para los análisis posteriores.

**Gráfica 5.** Caja esquemática para SST



**Fuente:** Elaboración propia

El resumen estadístico para el parámetro de SST se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Resumen estadístico de datos de SST

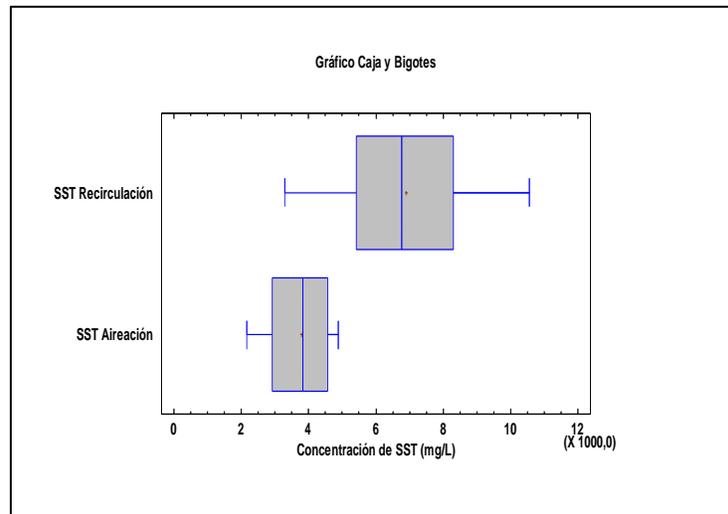
	SST AFLUENTE	SST EFLUENTE
Recuento (N)	15	15
Promedio (mg/L)	481,33	36,0
Desviación Estándar (mg/L)	108,72	20,72
Coefficiente de Variación (%)	22,59%	57,55%
Mínimo (mg/L)	305,0	5,0
Máximo (mg/L)	660,0	65,0
Rango (mg/L)	355,0	60,0
Sesgo Estandarizado	0,17	-0,20
Curtosis Estandarizada	-0,71	-1,25

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.1.6 Análisis de datos de SST correspondientes al tanque de aireación y recirculación de lodos.

En la gráfica 6, se muestra la caja esquemática correspondiente a los datos de sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación y la recirculación de lodos.

**Gráfica 6.** Caja esquemática para datos de SST de recirculación y aireación



**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica 6, no se presentan datos atípicos, lo cual corrobora la veracidad de los datos en cuanto a este parámetro.

**Tabla 8.** Resumen estadístico para SST recirculación y aireación

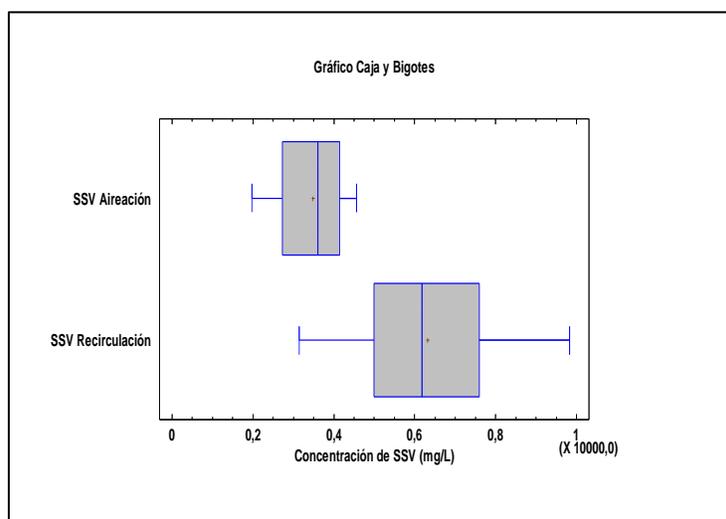
	SST Recirculación	SST Aireación
Recuento (N)	16	16
Promedio (mg/L)	6903	3792
Desviación Estándar (mg/L)	2096,56	890,23
Coficiente de Variación (%)	30,3712%	23,48%
Mínimo (mg/L)	3290,0	2170,0
Máximo (mg/L)	10550,0	4890,0
Rango (mg/L)	7260,0	2720,0
Sesgo Estandarizado	0,20	-0,49
Curtosis Estandarizada	-0,43	-1,11

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.1.7 Análisis de datos de SSV correspondientes al tanque de aireación y recirculación de lodos.

A partir de los datos obtenidos de los análisis de SSV, se elaboró la caja esquemática que se muestra a continuación (Ver gráfica 7).

**Gráfica 7.** Caja esquemática para los datos de SSV de recirculación y aireación



**Fuente:** Elaboración propia

En el caso de los sólidos suspendidos volátiles de recirculación y aireación no se presentan datos atípicos, lo cual indica que el 100% de los datos obtenidos de este análisis son confiables.

El resumen estadístico de los datos de SSV se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Resumen estadístico para SSV de recirculación y aireación

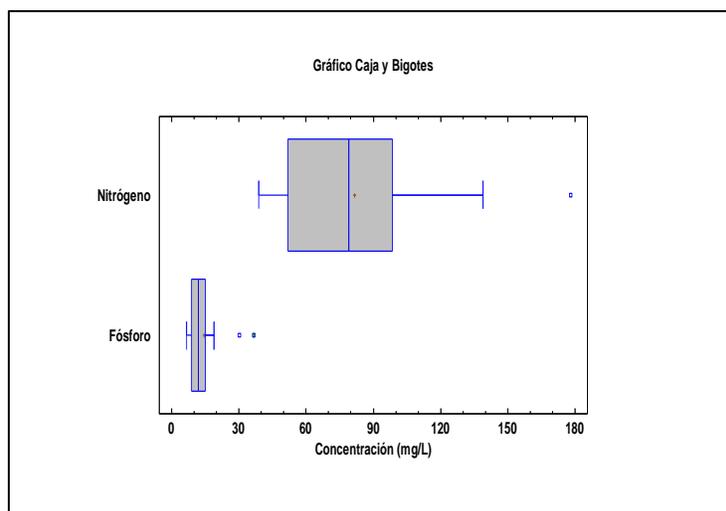
	SSV Aireación	SSV Recirculación
Recuento (N)	16	16
Promedio (mg/L)	3482,5	6322,5
Desviación Estándar (mg/L)	818,31	1962,68
Coefficiente de Variación (%)	23,50%	31,04%
Mínimo (mg/L)	1980,0	3150,0
Máximo (mg/L)	4560,0	9830,0
Rango (mg/L)	2580,0	6680,0
Sesgo Estandarizado	-0,63	0,30
Curtosis Estandarizada	-1,03	-0,38

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.1.8 Análisis de datos Nitrógeno y Fósforo.

En la gráfica 8, se muestran lo caja esquemática para los datos de nitrógeno y fósforo.

**Gráfica 8.** Caja esquemática para datos de nitrógeno y fósforo



**Fuente:** Elaboración propia

Se presentan tres datos atípicos en el análisis de estos dos parámetros. En el caso del nitrógeno se tiene una concentración de 178 mg/L y para fósforo 36,7 mg/L y 30,3 mg/L. La presencia de estos datos puede deberse a errores a la hora de realizar el test que se emplea para la determinación, entre ellos puede estar la

contaminación de los reactivos o la dosificación incorrecta de las muestras objeto de estudio.

El resumen estadístico se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Resumen estadístico para datos de nitrógeno y fósforo

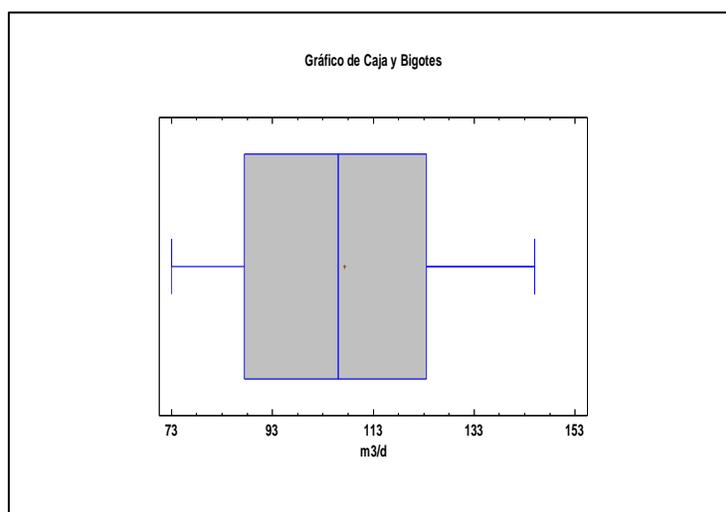
	Nitrógeno	Fósforo
Recuento (N)	15	14
Promedio (mg/L)	75,07	11,79
Desviación Estándar	28,88	3,48
Coefficiente de Variación (%)	38,47%	29,49%
Mínimo (mg/L)	39,0	6,75
Máximo (mg/L)	139,0	18,9
Rango (mg/L)	100,0	12,15
Sesgo Estandarizado	0,98	0,58
Curtosis Estandarizada	-0,17	-0,30

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.1.9 Análisis de datos de caudal.

En la gráfica 9, se observa la caja esquemática para los datos de caudal.

**Gráfica 9.** Caja esquemática para datos de caudal



**Fuente:** Elaboración propia

El resumen estadístico para los datos de caudal se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Resumen estadístico para caudal

Recuento (N)	16
Promedio (m <sup>3</sup> /día)	107,25
Mediana (m <sup>3</sup> /día)	106,0
Desviación Estándar (m <sup>3</sup> /día)	22,97
Mínimo (m <sup>3</sup> /día)	73,0
Máximo (m <sup>3</sup> /día)	145,0
Rango (m <sup>3</sup> /día)	72,0
Rango Intercuartílico	36,0

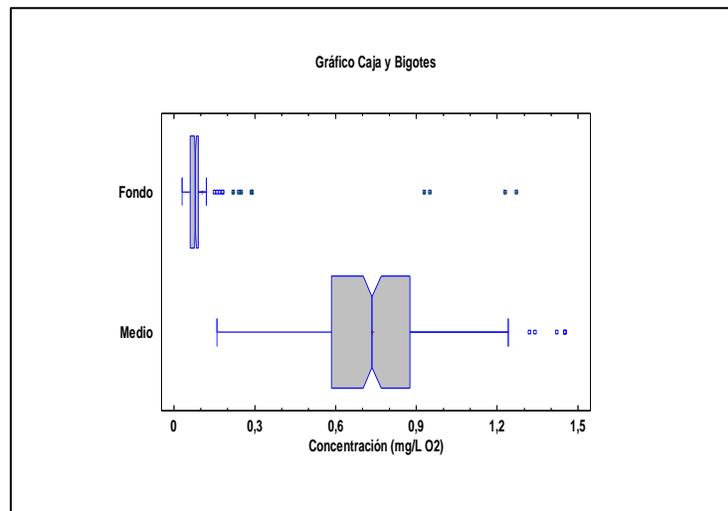
**Fuente:** Elaboración propia

No se presentan datos atípicos en la determinación del caudal.

### 7.1.10 Análisis de datos de oxígeno disuelto

En la gráfica 10, se ilustran los datos de la concentración de oxígeno disuelto obtenidos en dos puntos específicos del tanque de aireación como son el fondo y en el medio.

**Gráfica 10.** Caja esquemática para OD en el fondo y en el punto medio



**Fuente:** Elaboración propia

De 180 datos obtenidos se presentan 17 datos atípicos en el fondo y 11 en la superficie, los cuales son descartados, ya que si se tienen en cuenta el sesgo y la curtosis estandarizada superan el valor recomendado que es de 2, además este

procedimiento se realiza con el fin de obtener mejores resultados en las variables a evaluar. Estos datos se observan a continuación:

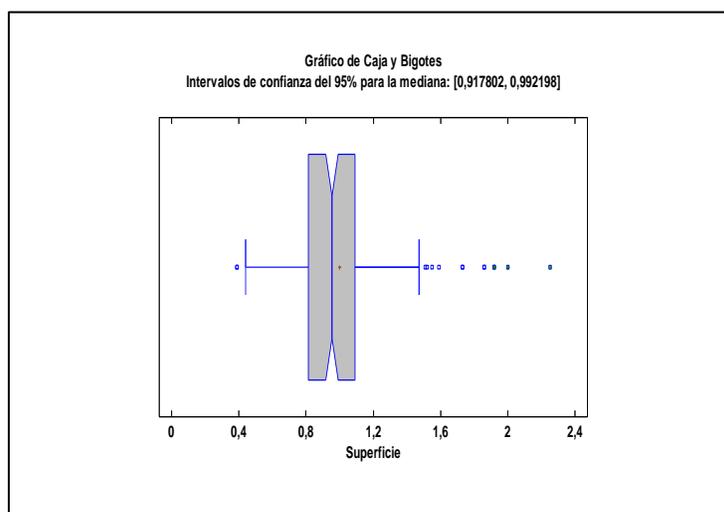
Datos atípicos para las mediciones del fondo del tanque de aireación: 0,15-0,16-0,17-0,18-0,19-0,20-0,22-0,24-0,25-0,29-0,93-0,95-1,23-1,27 mg/L O<sub>2</sub>.

Datos atípicos para las mediciones del punto medio del tanque de aireación: 0,09-0,11-0,14-0,16-0,17-1,32-1,34-1,42-1,45 mg/L O<sub>2</sub>.

La gráfica 10, también permite determinar la diferencia significativa de los datos, tomando como variable a evaluar la mediana de las dos muestras, las cuales no se superponen en el gráfico.

En la gráfica 11, se observa la caja esquemática realizada con los datos de oxígeno disuelto medidos en la superficie del tanque de aireación.

**Gráfica 11.** Caja esquemática para OD superficie



**Fuente:** Elaboración propia

En el caso de los datos obtenidos en la superficie del reactor correspondientes a la concentración de oxígeno disuelto se presentan 23 datos atípicos que pueden estar relacionados con fallas en la calibración del equipo o por la constante de variación del flujo en esta parte del reactor.

Los datos atípicos en este punto son los siguientes:

0,34-0,39-0,44-0,51-0,54-1,35-1,36-1,41-1,42-1,43-1,44-1,45-1,47-1,51-1,52-1,55-1,59-1,73-1,86-1,92-2,0-2,25 mg/L O<sub>2</sub>.

En la Tabla 12, se muestra el resumen estadístico para los datos de O.D. en el tanque de aireación.

**Tabla 12.** Resumen estadístico para OD

	Fondo	Medio	Superficie
Recuento (N)	163	169	157
Promedio (mg/L O <sub>2</sub> )	0,07	0,74	0,94
Mínimo (mg/L O <sub>2</sub> )	0,03	0,27	0,57
Máximo (mg/L O <sub>2</sub> )	0,12	1,24	1,36
Desviación estándar (mg/L O <sub>2</sub> )	0,02	0,20	0,16

**Fuente:** Elaboración propia

Se definen como concentraciones promedio 0,07 mg/L O<sub>2</sub> en el fondo, 0,74 mg/L O<sub>2</sub> en el medio y 0,94 mg/L O<sub>2</sub> en la superficie. Lo que demuestra que existe una estratificación en los niveles de oxígeno en el tanque de aireación, ya que entre el punto medio y el fondo del tanque se tiene una diferencia mayor a 0,5 mg/L O<sub>2</sub>.

Por otra parte, se evidencia que sólo en la superficie del reactor, se consiguen los niveles mínimos deseables de 1,0 mg/L O<sub>2</sub> para el caso de lodos activados, demostrando deficiencias en el tipo de aireación superficial que se emplea en el momento en la PTAR de la planta Alpina Popayán.

De manera general se tiene una concentración promedio de oxígeno disuelto en el tanque de aireación de 0,58 mg/L O<sub>2</sub> en el tanque de aireación, la cual representa solo la mitad del límite inferior establecido para el proceso de lodos activados.

## 7.2 Análisis de concentraciones

Debido a que el programa estadístico Statgraphics, permite la determinación de diversas variables de interés entre ellas el promedio de los parámetros, se procede a realizar el análisis de las concentraciones de los principales parámetros, como son DBO<sub>5</sub>, DQO y SST.

En la Tabla 13, se resumen las concentraciones de los principales parámetros estudiados durante dos períodos en la PTAR de Alpina Popayán.

**Tabla 13.** Concentraciones del sistema de lodos activados

Parámetro	Caso 1		Caso 2	
	PROMEDIO		PROMEDIO	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L O <sub>2</sub>	2443,75	339,88	2883,0	232,1
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) mg/L O <sub>2</sub>	800,98	41,33	849, 8	43,09
SST mg/L	481,33	36,0	433,2	67,0

**Fuente:** Elaboración propia

Teniendo en cuenta que como antecedente se tiene un trabajo realizado en el período anterior al presente estudio, es posible realizar una comparación entre los valores obtenidos de concentraciones para los dos períodos.

El caso 1, corresponde al presente trabajo de pasantía encaminado a la evaluación de la presencia de bulking filamentoso y el caso 2, a estudios realizados por (Vallejos, 2013) en el trabajo denominado “Colaboración en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Alpina Popayán, para establecer su eficiencia de remoción y el mejoramiento en los tiempos de deshidratación de los lodos producidos en la planta”.

Como se aprecia en la Tabla 13, los valores no presentan diferencias significativas, lo que indica que la PTAR de la planta Alpina Popayán se mantuvo estable durante los dos períodos de monitoreo. A pesar de que se presentaron algunas anomalías en el sistema, estas fueron temporales y no afectaron a largo plazo el funcionamiento del sistema.

### 7.3 Indicadores visuales

El monitoreo del proceso de lodos activados incluye indicadores visuales y analíticos. En la Tabla 14, se muestran las características consignadas en el manual de operación de la PTAR de la planta Alpina Popayán, que indican el

buen funcionamiento del sistema. A partir de esta información se hace el análisis para las condiciones actuales de la PTAR encontrando algunas inconsistencias.

**Tabla 14.** Indicadores visuales

Indicador	Punto de observación	Características de operación normal
Color	T.A	Café achocolatado
Olor	T.A	Añejo o mohoso
Espuma	T.A y S.S	Relativamente ausente
Claridad del efluente	E	Total
Burbujas	S.S	Ausente
Material flotante	T.A y S.S	Ausente
Acumulación de sólidos	T.A	Nula

T.A : Tanque de aireación

S.S : Clarificador secundario

E: Efluente

**Fuente:** Incol LTDA, 1989.

En la ilustración 20, se verifica la presencia de espuma en la superficie del tanque de aireación, principalmente en los costados del mismo.

**Ilustración 20.** Tanque de aireación con presencia de espuma



**Fuente:** Elaboración propia

Dentro de las características que debe tener una PTAR de lodos activados en normal funcionamiento es la ausencia de espuma en el tanque de aireación. Cada unidad esta relacionada entre sí y operan como un sistema único. Por lo tanto, la eficiencia del proceso está directamente afectada por la eficiencia de cada componente. Cualquier cambio en la operación de una unidad en particular se refleja inmediatamente en todo el sistema.

Durante el período de pasantía se presentaron varios eventos que afectaron de manera directa el funcionamiento de la PTAR. Dichos eventos se enuncian en la Tabla 15:

**Tabla 15.** Eventualidades durante el período de pasantía

<b>Eventualidad</b>	<b>Observación</b>
Falla en la bomba de recirculación de lodos	Levantamiento de sólidos en el tanque de sedimentación.
Derrames de leche	Levantamiento de sólidos en el tanque de sedimentación y presencia de espuma.
Fallas en compresor	Niveles de oxígeno inadecuados
Derrame de crema de leche	Levantamiento de sólidos en el tanque de sedimentación y presencia de espuma.
Mantenimiento del equipo de aireación (Duración: 2 días)	Levantamiento de sólidos en el tanque de sedimentación, presencia de olores, el proceso se torna anaerobio.

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto a los parámetros de color y olor, también se presentaron algunas inconsistencias relacionadas con las eventualidades del proceso. En el caso de derrames de leche o crema de leche, el tanque de aireación presentaba un color más claro en comparación al tono café achocolatado que caracteriza el buen funcionamiento de la PTAR. Otro de los sucesos que generó cambios en la tonalidad de las aguas residuales fue la ausencia del equipo de aireación, ya que el tratamiento se tornó anaerobio y los lodos tomaron una coloración grisacea.

Con el fin de determinar la generación de Bulking, el cual es el fundamento del presente trabajo, es vital el cálculo de algunos parámetros de operación.

## 7.3 Cálculo de parámetros de operación

### 7.3.1 Relación alimento- microorganismos (F/M)

Para el cálculo de este parámetro se tienen en cuenta los promedios obtenidos para la DBO<sub>5</sub> Afluente, SSV Aireación y caudal, consiguandolos en las tablas 4, 9, 11 respectivamente. El método de cálculo se especifica en el anexo 7.

El rango de F/M establecido para el sistema de lodos activados con aireación convencional es de 0,25 y 0,35  $\frac{Kg\ DBO_5}{Kg\ SSVLM\ x\ d}$ . En total se tiene una relación de 0,13  $\frac{Kg\ DBO_5}{Kg\ SSVLM\ x\ d}$ , lo que indica que se encuentra fuera del rango normal, generando una relación baja.

Un parámetro que indica la presencia de filamentosos es la relación F/M, dicho parámetro muestra la relación entre la cantidad de materia orgánica disponible y la cantidad de microorganismos que pueden degradar dicha materia.

Para relaciones F/M bajas (inferior a 0,3  $\frac{Kg\ DBO_5}{Kg\ SSVLM\ x\ d}$ ), la cantidad de alimento (sustrato) presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que se ven obligados a vivir bajo el sistema de respiración endógena. Una célula típica contiene un material citoplasmático rico en proteínas y ácido ribonucleico (ARN) y es la principal porción de la célula que se metaboliza durante un proceso de respiración endógena. El residuo, a medida que queda del metabolismo endógeno, está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que se resisten a la sedimentación, razón por la que las bajas relaciones F/M tienen características de sedimentación pobre, estas condiciones corresponden a flóculos dispersos (Aragón, 2009).

### 7.3.2 Índice volumétrico de lodos (I.V.L)

En la Tabla 17 del Anexo 1, se cuentan los datos correspondientes al cálculo del índice volumétrico de lodos (IVL).

Se considera que hay presencia de bulking si el IVL es mayor a 100 mg/L, y se habla de bulking severo si IVL es mayor a 300 mg/L (Arango y López, 2011). De manera general, se obtiene un promedio de 280 mg/L lo que verifica la existencia de bulking filamentoso y por ende la presencia de lodos en la superficie del sedimentador como se observa en la ilustración 23.

Las ilustración 21, muestra un lodo ligero y con poca sedimentabilidad que indica el comportamiento en el tanque de sedimentacion. Esta unidad es un elemento integral del proceso de tratamiento por lodos activados y la eficacia global del proceso depende del adecuado funcionamiento de esta unidad. Por tanto, es necesario evitar la pérdidas de sólidos en el efluente que fueron captadas en la ilustración 23 y realizar mejoras con el fin de mantener el tanque de sedimentación como se muestra en la ilustración 22. También es de resaltar que en la Tabla 14, donde se mencionaban los indicadores visuales a tener en cuenta, se considera que en el tanque de sedimentación la presencia de material flotante y burbujas debe ser nula.

### Ilustración 21. Prueba de sedimentabilidad

**A:** Prueba de sedimentación sin diluir. **B:** Levantamiento de la manta de fango, generando la típica “probeta partida”. **C:** Capa emulsionada en la superficie.





**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 22.** Tanque de sedimentación con ausencia de material flotante



**Fuente:** Elaboración propia

### **Ilustración 23.** Tanque de sedimentación con presencia de material flotante



**Fuente:** Elaboración propia

#### **7.3.3 Sólidos suspendidos en el tanque de aireación**

La concentración promedio de sólidos suspendidos en el tanque de aireación estuvo en 3792 mg/L, lo cual indica que se encuentra dentro del rango establecido para el sistema de lodos activados que varía de 1500 a 4000  $\frac{mg}{L}$ . Es de resaltar que para uno de los muestreos analizados la concentración de sólidos supero este rango, ya que el resultado fue de 4890  $\frac{mg}{L}$  de SST en el tanque de aireación.

#### **7.3.4 Carga aplicada al proceso de lodos activados**

Teniendo en cuenta que la PTAR de la planta Alpina Popayán trabaja las 24 horas del día fue posible calcular la carga aplicada al sistema de lodos activados en términos de  $DBO_5$ , tal y como se muestra en el Anexo 7.

La carga de  $DBO_5$  determina la cantidad de alimento que debe asimilar la población bacteriana en el tanque de aireación. Según muestra la tabla 5 la carga que ingresa a la planta de tratamiento es de 85,83 Kg/d.

### **7.3.5 Índice de biodegradabilidad ( $DBO_5/DQO$ )**

La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que la  $DBO_5$ , puesto que es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que por vía biológica. En muchos tipos de aguas residuales, es posible correlacionar la DQO con la  $DBO_5$ .

En la Tabla 6, se encuentra el valor promedio para el índice de biodegradabilidad para el afluente y el efluente dando como resultado 0,34 y 0,14 respectivamente.

En el caso del afluente se indica que es un agua aun sin tratar, moderadamente biodegradable y que puede emplear sistemas biológicos para su tratamiento, lo cual es válido, ya que en la PTAR de Alpina Popayán se emplea un sistema convencional de lodos activados con recirculación de lodos.

Lo anterior teniendo en cuenta que una relación de  $DBO_5/DQO$  de 0,5 es muy favorable, aunque la degradación biológica es viable para valores tan bajos como 0,1 y 0,2 (Cruz, 2001).

### **7.3.6 Potencial de hidrógeno (pH)**

Uno de los parámetros vitales en la evaluación de bulking filamentoso en un sistema de tratamiento de aguas residuales es el potencial de hidrógeno (pH). Por ello, durante el desarrollo de la pasantía se realizaron mediciones en puntos clave del sistema; para efectos de esta sección se analizarán los resultados encontrados en el afluente y efluente del sistema de tratamiento.

En la gráfica 12, se ilustran las variaciones de pH en el afluente correspondientes a seis (6) de los diez ocho (18) muestreos compuestos que se realizaron. En ellos se verifica que este parámetro varía considerablemente obteniéndose en la mayoría de los casos pH básicos como resultado de los lavados con soda que se realizan en algunas de las áreas de la planta.

Los rangos de pH para el afluente estuvieron entre 2,2 a 12,4 unidades, lo cual claramente afecta la composición de la biocenosis de los lodos activados. Los microorganismos comunes de los lodos activados son afectados por valores de pH menores de 6,5 y más altos que 8,5 (Arellano, 2005).

Dentro del área que mayor impacto ejerce sobre este resultado se encuentran el área de producción y recibo de leche. Esta última debido a los constantes lavados de cisternas encargadas del transporte de leche, dichos lavados se están

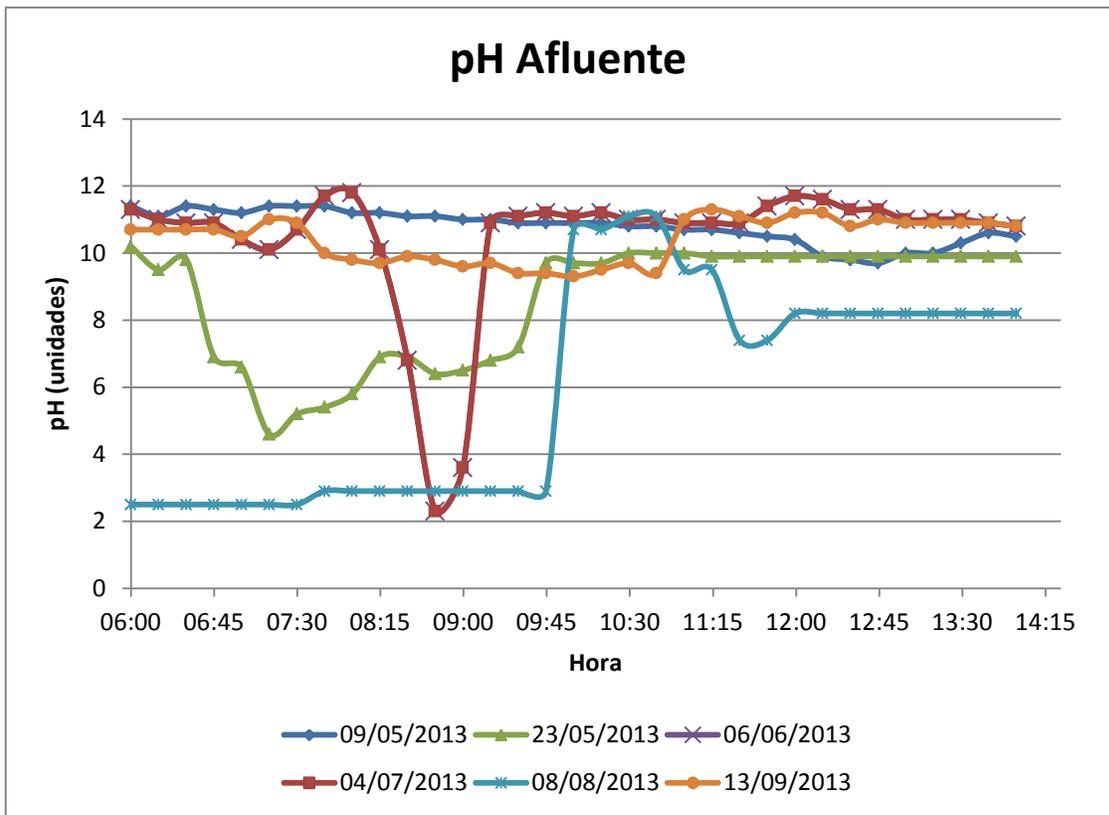
realizando con ácido nítrico y soda cáustica lo que genera la variación de pH de ácidos a básicos, primando generalmente los básicos.

Para el control de esta situación la planta cuenta con un sistema de neutralización de pH, el cual gracias a estudios anteriores en el área de la PTAR se estableció la razón de dosificación. Dicha neutralización se realiza con ácido sulfúrico industrial concentrado al 98% y en el momento la planta cuenta con un permiso para 150 Kg. En los primeros meses de pasantía se presentaron inconvenientes en el suministro de ácido sulfúrico, lo cual se reflejaba de manera directa en las unidades del sistema, destacándose la presencia de espumas en el tanque de sedimentación y levantamiento de los lodos en el sedimentador por acción de la variación de pH.

En el caso de las descargas ácidas, la neutralización se realiza a partir de las soluciones de lavado de producción las cuales son almacenadas en un tanque donde se realiza su respectiva neutralización.

Cabe resaltar que en un sistema de lodos activados a un pH bajo, la población predominante pueden ser los hongos, dando como resultado una eficiencia baja. Por otra parte a un pH alto, los nutrientes tales como el fósforo, empezarían a precipitar y no podrá estar disponible para los microorganismos (Torrescano, 2009).

**Gráfica 12.** Variación de pH en el afluente

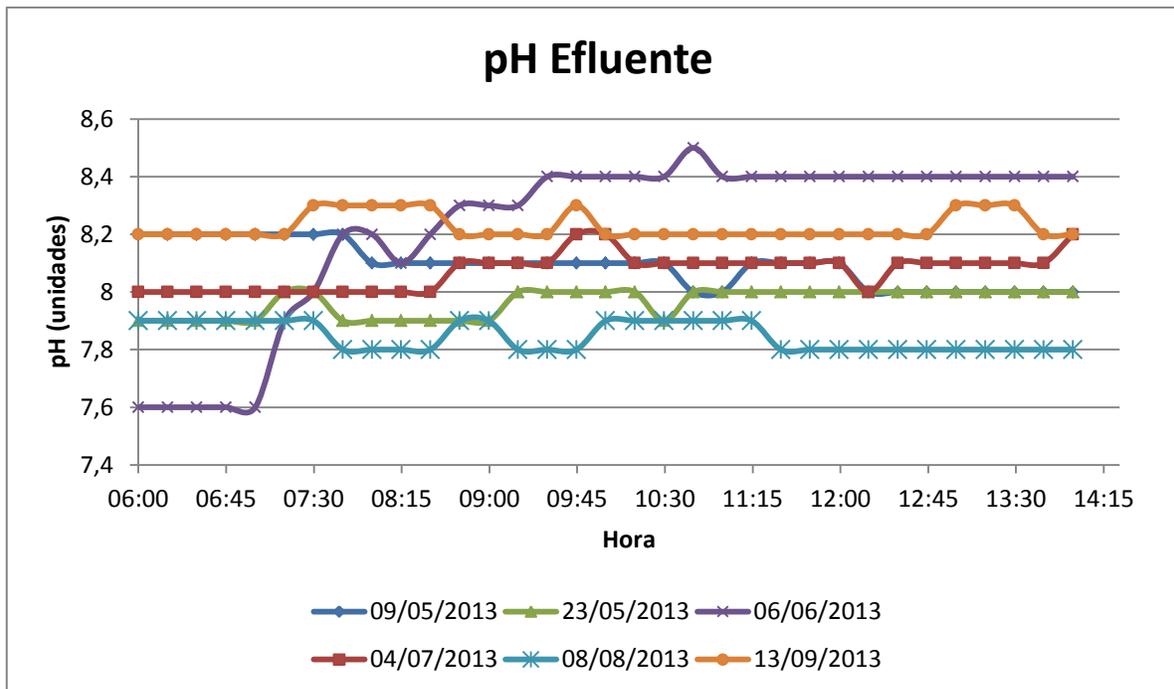


**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al efluente final, las mediciones obtenidas oscilaron entre 7,5-8,5 unidades. Estos valores se encuentran dentro del rango establecido en el Artículo 72 del Decreto 1594/84 para vertimiento a cuerpo de agua.

En la gráfica 13, se ilustran los resultados para las seis jornadas de muestreo seleccionadas, destacándose la capacidad del sistema en establecer las variaciones de pH presentadas en el afluente, ya que se presentaron variaciones hasta de 10 unidades mientras en el efluente el pH solo fluctuó en 1 unidad.

**Gráfica 13.** Variación de pH en el efluente



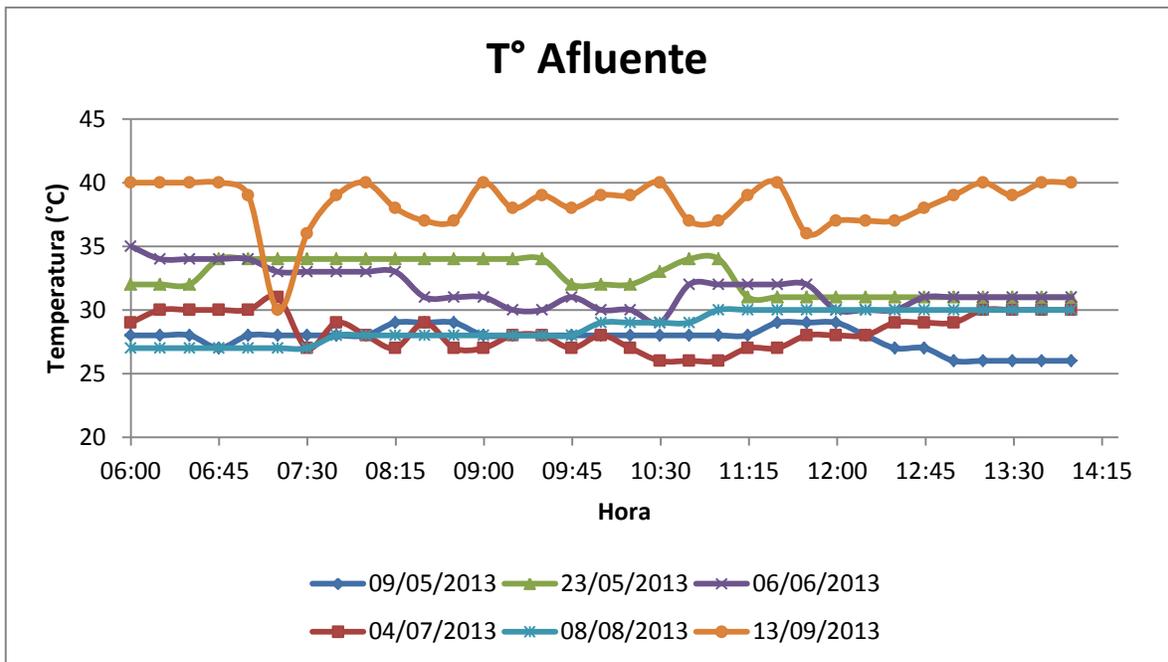
**Fuente:** Elaboración propia

### 7.3.7 Variación de temperatura

La temperatura en el afluente osciló de 23 a 40° C y en el efluente de 19 a 25°C, tal y como se muestran en las gráficas 14 y 15 respectivamente.

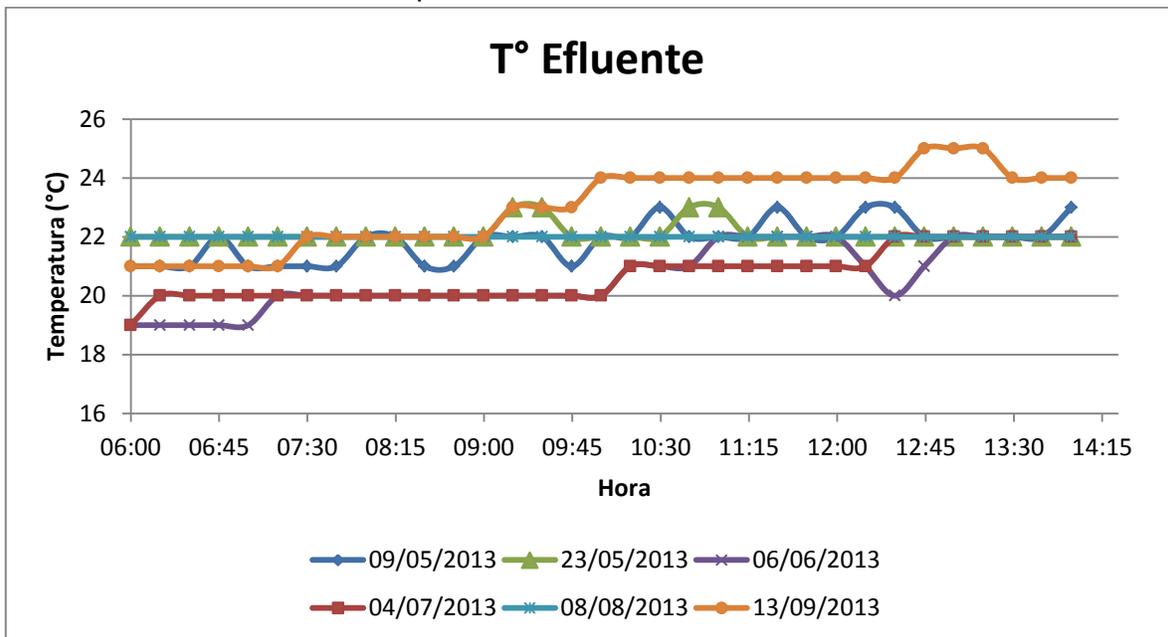
La actividad de los microorganismos de los lodos activados aumenta con la elevación de temperatura. En otras palabras, requiere más kilogramos de microorganismos para eliminar un kilogramo de materia orgánica a temperaturas bajas (Reyes, 2009). Por tanto, el efecto encontrado en la PTAR de Alpina, es beneficioso para los microorganismos presenten en el lodo activado, ya que si se tuvieran tendencias a temperaturas bajas el lodo activado tendría dificultades para asentarse debido a que se aumenta la densidad del agua.

**Gráfica 14.** Variación de la temperatura en el afluente



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 15.** Variación de temperatura en el efluente



Fuente: Elaboración propia

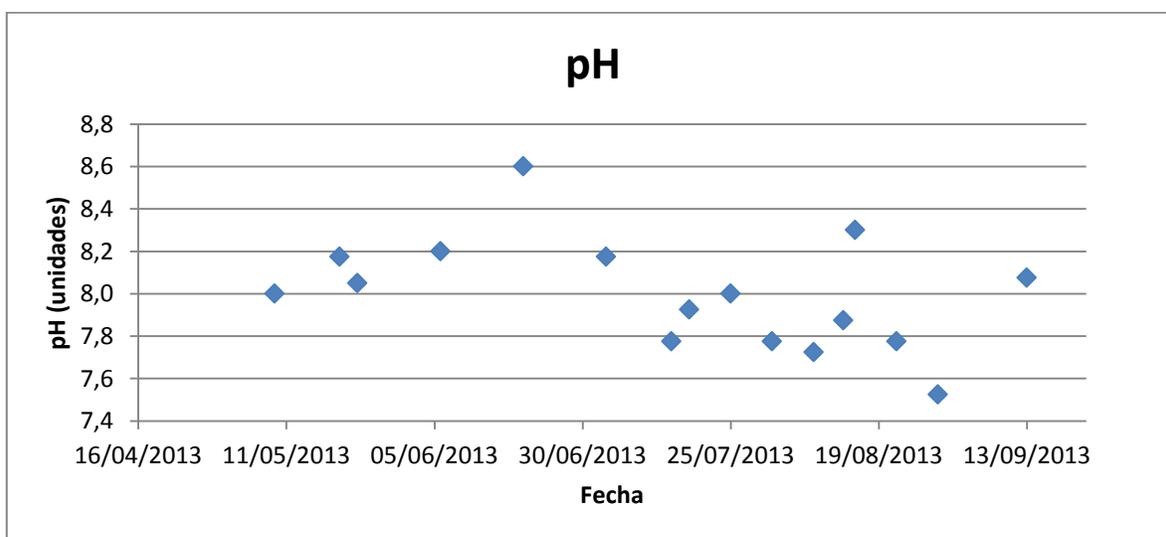
La temperatura máxima registrada en el efluente final fue de 25°C. Este valor se encuentra por debajo de lo exigido para vertimientos a cauces de agua ( $\leq 40^{\circ}\text{C}$ ), según el Artículo 72 del Decreto 1594/98.

### 7.3.8 pH y temperatura en el tanque de aireación

En las gráficas 16 y 17 se evalúan las variaciones en los parámetros de pH y temperatura en el tanque de aireación, encontrándose que el pH oscila entre 7,5 y 8,6 unidades, lo que indica un valor cercano al rango estipulado para lodos activados que va de 6,5 a 8,5. Lo anterior se relaciona con el adecuado sistema de neutralización que se realiza en la PTAR.

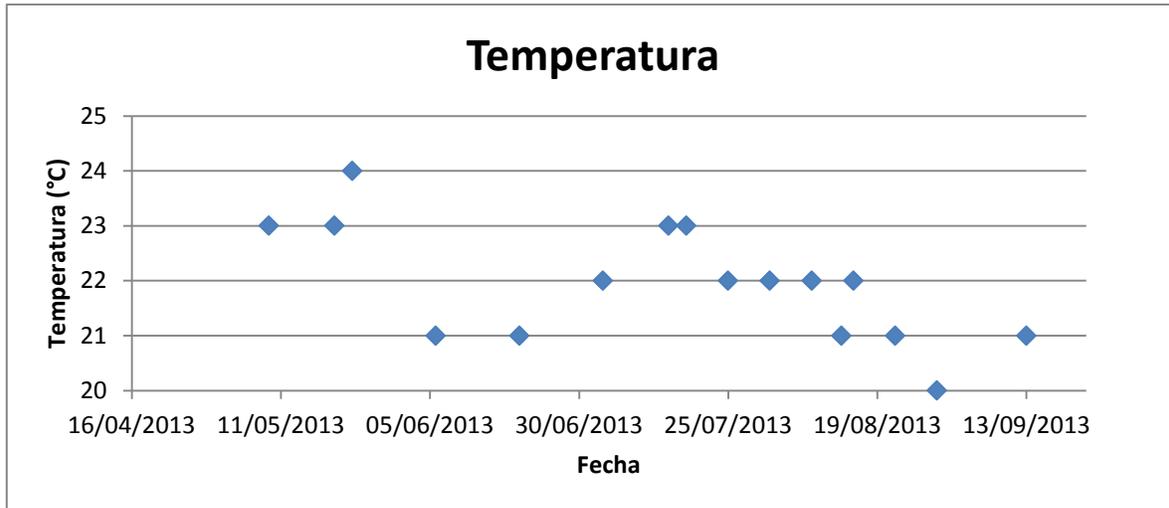
En cuanto a la temperatura se observa que varía de 20 a 24°C siendo favorables para el proceso de tratamiento a través de lodos activados.

**Gráfica 16.** Variación de pH en el tanque de aireación



**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 17.** Variación de la temperatura en el tanque de aireación



**Fuente:** Elaboración propia

### 7.3.9 Concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación.

El tratamiento de lodos activados se realiza por naturaleza en condiciones aeróbicas. Por lo tanto la transferencia de oxígeno al licor de mezcla y la cantidad de este disuelto en el licor de mezcla es de suma importancia para el correcto desarrollo del proceso.

En la gráfica 10 se analizaron los datos recolectados para la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación en el fondo y en el punto medio, a partir de ellos el programa estadístico permitió establecer el promedio de dichos valores encontrando que en el fondo se tiene una concentración de 0,07 mg/L de O<sub>2</sub> y en el medio 0,74 mg/L de O<sub>2</sub>. Dichos valores quedaron consignados en la Tabla 12.

En el caso de la concentración de oxígeno disuelto promedio en la superficie del tanque de aireación se establece en 0,94 mg/L. Es de resaltar que en los tres puntos se establecen valores máximos, estos son de 0,12- 1,24-1,36 mg/L de O<sub>2</sub> en el fondo, medio y superficie respectivamente.

Si se analizan detalladamente los valores promedio y los máximos encontrados en cada punto, se verifica que efectivamente las condiciones en el tanque de aireación no son homogéneas y no cumplen con el rango estipulado para un correcto tratamiento por medio del sistema de lodos activados el cual oscila entre 1,0 y 2,0 mg/L de O<sub>2</sub>. Se evidencia claramente una estratificación de los niveles de

oxígeno en el tanque de aireación, indicando las falencias en el sistema superficial empleado.

Lo anterior indica que un ambiente propicio para la proliferación de microorganismos filamentosos y por ende la generación de uno de los problemas operacionales que en la actualidad más afectan a las plantas de tratamiento que emplean este sistema, conocido como bulking.

Al encontrarse una concentración menor de 1,0 mg/L de O<sub>2</sub>, predomina la resistencia de la transferencia líquido a sólido, la falta de oxígeno trae como resultado un efluente turbio puesto que los protozoos, por ejemplo, no se desarrollan y se promueve el crecimiento de bacterias filamentosas, las cuales retardan la sedimentación del floc. Por otra parte, es importante un suministro adecuado de aire para mantener un contacto íntimo entre el residuo y el lodo activado y hacer que el proceso funcione, así como también para que los sólidos estén en suspensión y no permitir su asentamiento dentro del tanque de aireación.

Sin duda el punto con menos concentración de oxígeno disuelto fue el fondo del tanque de aireación donde se encontró un valor crítico de 0,03 mg/L de de O<sub>2</sub>.

### **7.3.10 Concentración de nutrientes**

La concentración de nutrientes en el afluente presentó concentraciones variables estableciéndose en promedio 75,07 mg/L de N y 11,79 mg/L de P. Con lo anterior se demuestra que efectivamente las concentraciones de nitrógeno son superiores a las encontradas con respecto al fósforo.

Estas concentraciones son claves para el proceso de lodos activados, ya que contribuyen con el crecimiento de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica.

### **7.3.11 Identificación de la presencia de microorganismos filamentosos.**

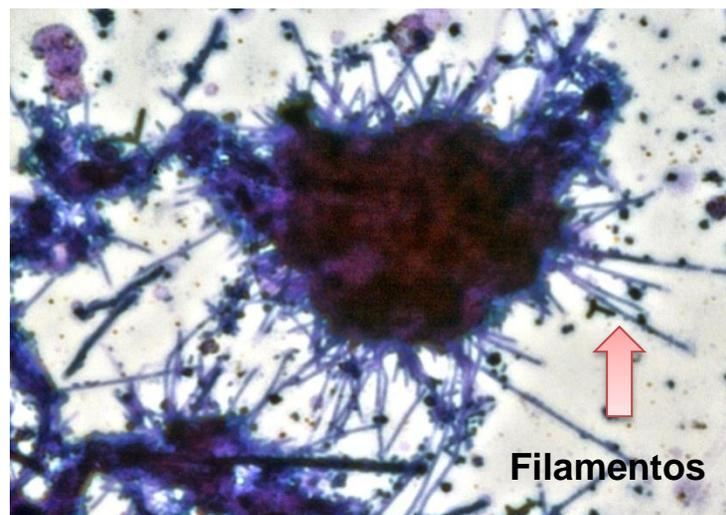
En los ensayos microscópicos del cultivo en fresco y empleando tinción Gram y Neisser se evidencia la presencia de microorganismos filamentosos en el lodo activado procedente del tanque de aireación, tal y como se muestra en la Ilustración 24.

Es de resaltar que en un sistema de tratamiento de lodos activados siempre se presentarán microorganismos de este tipo, los cuales cuando se encuentran en proporciones inferiores a los microorganismos floculantes son benéficos para el

tratamiento, ya que contribuyen a la formación y compactación del floc. Pero cuando se tiene un ambiente con bajas concentraciones de oxígeno disuelto como el observado en la PTAR de la empresa Alpina Popayán, el número de microorganismos filamentosos pueden aumentar considerablemente afectando la sedimentación de los lodos y generando pérdida de los mismos en el efluente final.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente y basándose en lo estipulado en la Tabla 1, la cual indica como la sedimentabilidad de los lodos se ven estrechamente relacionadas con el número de microorganismos filamentosos presentes en ellos. Se define que en el sistema de tratamiento objeto de estudio se tiene un grado de sedimentación 5, con presencia de mas de 20 microorganismos filamentosos por floc, generando afectación de la sedimentación.

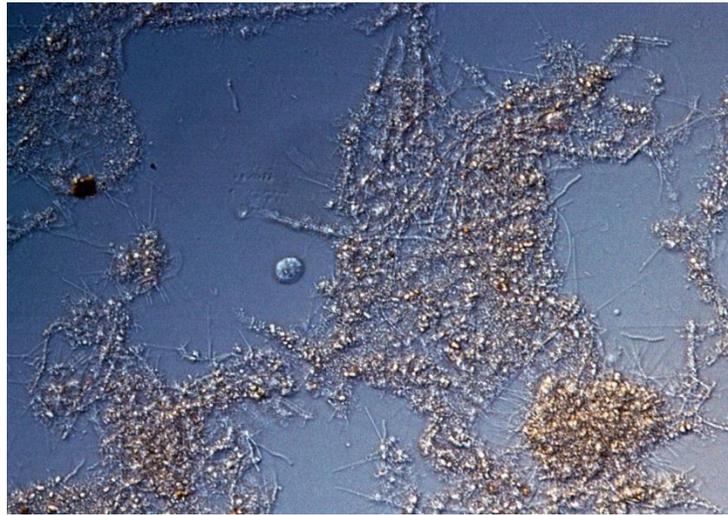
**Ilustración 24.** Lodo activado con presencia de microorganismos filamentosos  
Imagen captada a 100X empleando tinción Gram.



**Fuente:** Elaboración propia

En la Ilustración 25, se muestra la disgregación flocular ocasionada en el lodo debido al episodio de bulking filamentosos, la imagen fue captada en el objetivo de 40X con microscopio electrónico y cultivo en fresco.

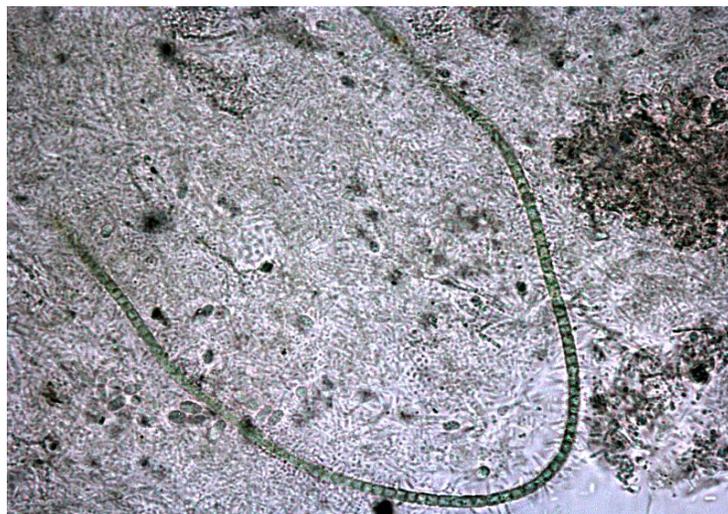
**Ilustración 25.** Disgregación flocular ocasionada por un episodio de bulking filamentoso.



**Fuente:** Elaboración propia

En la ilustración 26, se muestra uno de los microorganismos filamentosos identificados en el lodo activado. Su presencia se evidencio en el objetivo de 40 X en microscopio electrónico y en cultivo fresco.

**Ilustración 26.** *Beggiatoa sp.*



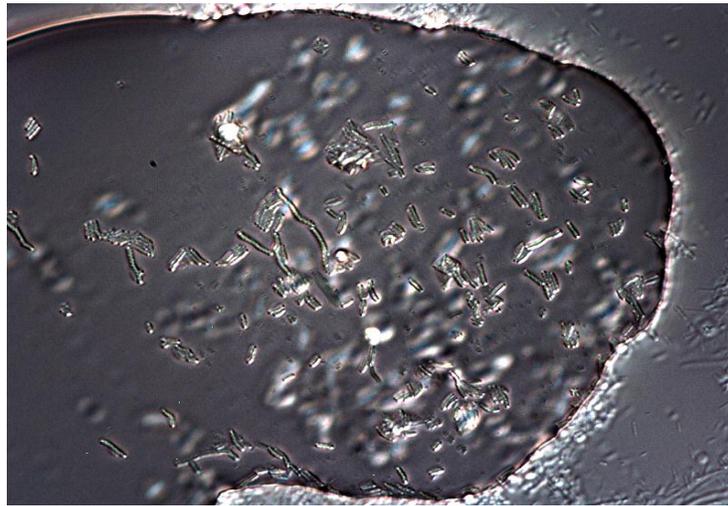
**Fuente:** Elaboración propia

En los análisis microscópicos realizados también fue posible observar algunos microorganismos bioindicadores de los lodos activados como los que se muestran a continuación.

- **Bacterias**

En la ilustración 27, se evidencia la presencia de bacterias del genero *Bacillus sp* en el lodo activado.

**Ilustración 27.** *Bacillus sp.*

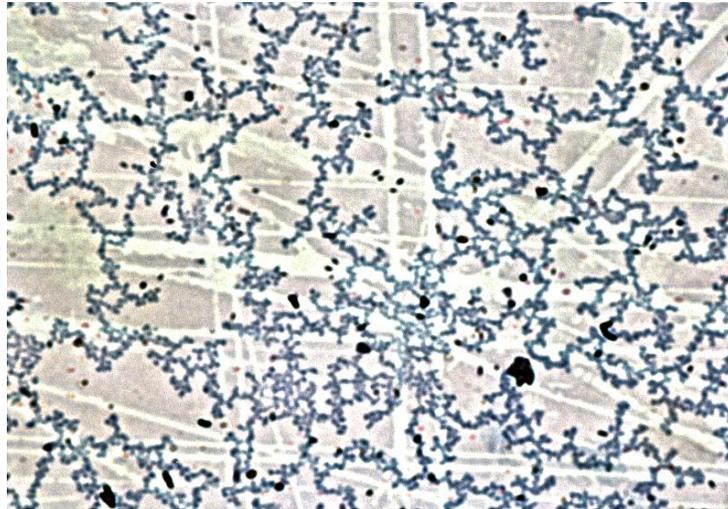


**Fuente:** Elaboración propia

Adicional a las muestras de lodos activados del tanque de aireación analizadas, se realizó un montaje de la espuma que se presentaba en dicha unidad, encontrando bacterias del genero *Streptococcus sp* , tal y como se muestra en la ilustración 28.

**Ilustración 28.** *Streptococcus* sp.

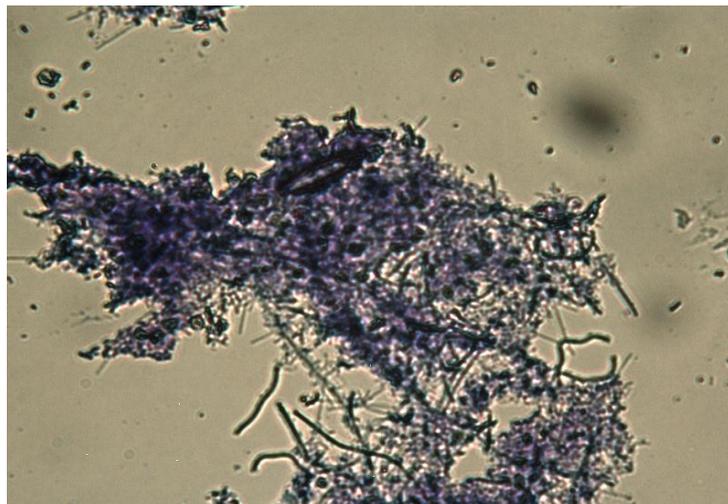
Imagen a 100X cultivo fresco.



**Fuente:** Elaboración propia

La ilustración 29, muestra microorganismos del género *Espirilos* encontrados en los lodos activados.

**Ilustración 29.** *Espirilos*



**Fuente:** Elaboración propia

- **Protozoos**

### **Amoeba**

Uno de los géneros de amoeba encontrados en el lodo activado de la PTAR de la planta Alpina Popayán es la *Arcella sp*, mostrada en la ilustración 30. Este microorganismo posee una teca circular que rodea la célula. Presenta un agujero ventral, por el que el individuo emite pseudópodos y se desarrolla masivamente en medios donde se producen procesos de nitrificación (Vilaseca, 2001).

**Ilustración 30.** *Arcella sp*.



**Fuente:** Elaboración propia

### **Ciliados fijos**

Dentro de los ciliados fijos se encuentra el género *Opercularia sp*, que es un protozoo ciliado peritrico, colonial, fijo a sustratos mediante pedúnculo no contráctil. Esta especie se desarrolla en medios con elevada carga de materia orgánica y baja concentración de oxígeno disuelto, así como en presencia de vertidos industriales (Vilaseca, 2001). (Ver ilustración 31).

**Ilustración 31.** *Opercularia* sp.



**Fuente:** Elaboración propia

En la ilustración 32, se encuentra la imagen correspondiente al género *Vorticella* sp, se encuentra en medios con cierta cantidad de materia orgánica y se desarrolla en sistemas de fangos activados cuando su funcionamiento es estable (Vilaseca, 2001).

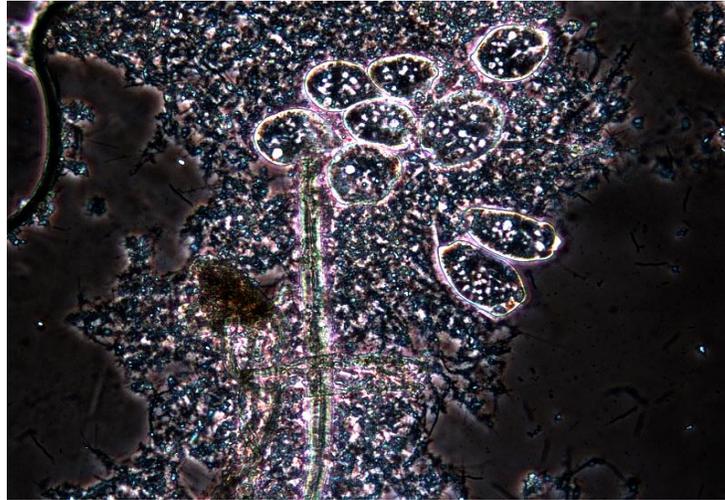
**Ilustración 32.** *Vorticella* sp.



**Fuente:** Elaboración propia

En la ilustración 33, se aprecia una colonia de *Zoothamnium sp* captada en microscopio electrónico empleando la técnica de contraste diferencial de interferencia.

**Ilustración 33.** *Zoothamnium sp.*



**Fuente:** Elaboración propia

La ilustración 34, muestra una colonia de *Epistylis sp* encontrada en los lodos activados.

**Ilustración 34.** *Epistylis sp.*

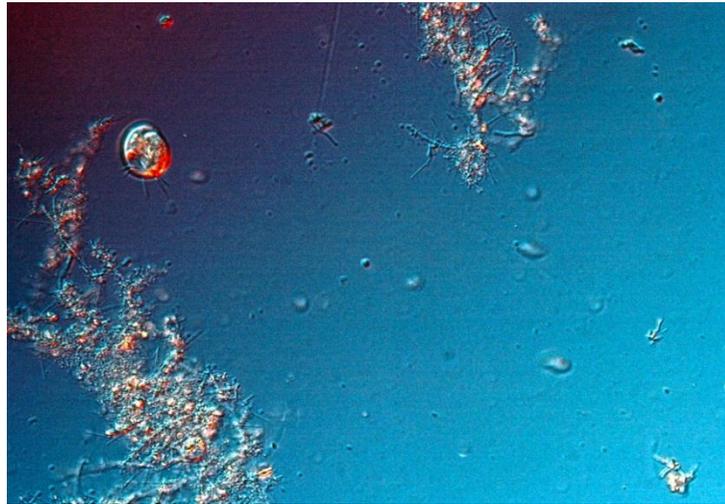


**Fuente:** Elaboración propia

## Ciliados reptantes

Dentro de los muestreos microscópicos realizados también se observó un microorganismo correspondiente al género *Aspidisca* sp, tal y como se aprecia en la ilustración 35.

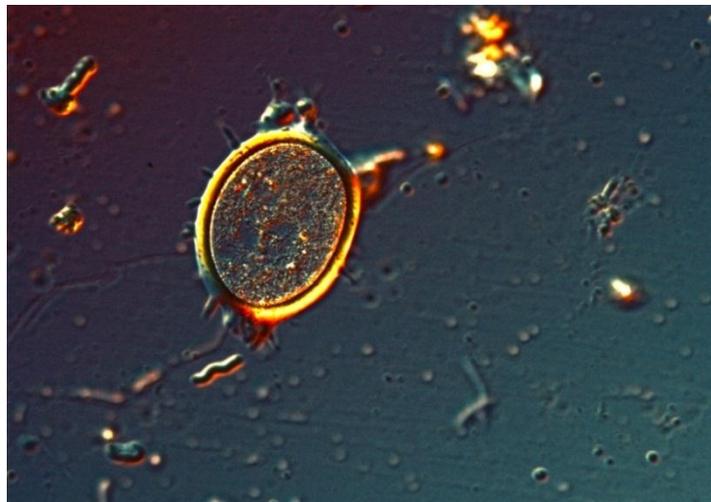
**Ilustración 35.** *Aspidisca* sp.



**Fuente:** Elaboración propia

En la ilustración 36, se muestra un microorganismo del género *Euplotes* sp.

**Ilustración 36.** *Euplotes* sp.



**Fuente:** Elaboración propia

## 8 CONCLUSIONES

- Las remociones concentraciones de los parámetros  $\text{DBO}_5$ , DQO, SST, se mantuvieron estables durante los dos estudios recientes realizados en la PTAR de la planta Alpina Popayán, mostrando una estabilidad en el proceso de lodos activados.
- Los valores de pH y temperatura obtenidos en el efluente final cumplen con la norma establecida en el Artículo 72 del Decreto 1594/88 para vertimiento a un cuerpo receptor. Aunque en la entrada a la PTAR hay fuerte fluctuación de pH, la neutralización es efectiva, logrando valores estables de pH en el reactor y en el efluente.
- Los microorganismos filamentosos siempre van a existir en los sistemas de lodos activados, es más, cuando se encuentran en minoría ayudan a que las bacterias floculadoras sedimenten más rápido debido a que con los filamentosos se forma una masa de mayor peso. Cuando las variables determinantes para que se de la formación excesiva de microorganismos filamentosos se salen de control, se origina el abultamiento filamentosos.
- Se estableció que las principales variables de proceso que garantizan el fenómeno de bulking filamentosos en la PTAR de la Empresa Alpina Productos Alimenticios S.A., es el déficit de oxígeno disuelto en el tanque de aireación y una baja relación F/M.
- Se encontró una marcada estratificación de los niveles de oxígeno disuelto en el reactor aerobio, desde concentraciones menores a  $1,0 \text{ mg/L O}_2$  en la superficie hasta valores críticos como  $0,03 \text{ mg/L O}_2$  en el fondo, indicando serias deficiencias en el sistema de aireación superficial.
- Una forma de prever los fenómenos es mediante un control microscópico, que se basa en la observación de bacterias filamentosas y bioindicadores, a través de los cuales se establece una correspondencia con las variables operacionales.
- En los análisis microscópicos realizados en el lodo activado de la PTAR de la planta Alpina Popayán, se destaca la presencia de microorganismos filamentosos y microorganismos bioindicadores característicos de los lodos activados como lo son bacterias y protozoarios.

- Dentro de los protozoarios encontrados se destacan las amebas (*arcella sp.*), ciliados fijos (*Epistylis sp.*, *opercularia sp.*, *vorticela sp.*, *zoothamnium sp.*), y ciliados reptantes (*Aspidisca sp.*, *euplotes sp.*), los cuales permiten identificar bajo que condiciones esta trabajando la PTAR. Se resalta la importancia de la presencia del microorganismo del género *opercularia sp.*, que se desarrolla en medios con bajo oxígeno disuelto lo que corrobora las deficiencias en la concentración de oxígeno en el tanque de aireación.
- Finalmente, dentro del estudio fue posible determinar el índice de biodegradabilidad ( $DBO_5/DQO$ ) específico para la industria objeto de estudio, destacando el tipo de agua residual y la importancia de tratarla bajo sistemas biológicos como es el caso del sistema de lodos activados.

## 9 RECOMENDACIONES

- El sistema de tratamiento de lodos activados empleado por la Empresa Alpina Productos Alimenticios S.A., con sede en la ciudad de Popayán requiere una mejora en el suministro de oxígeno disuelto en el tanque de aireación y mayor control en la variación de pH en el afluente del sistema. En el caso de la concentración de oxígeno disuelto se recomienda una distribución de tubería perforada en el fondo del tanque a modo de flautas con el fin de garantizar mejores condiciones en dicho punto.
- Para dar mayor eficacia al sistema de neutralización de pH en el afluente del sistema se recomienda mantener un stock de ácido sulfúrico concentrado al 98% con el fin de garantizar la oportuna neutralización del pH básico que generalmente se presenta.
- Para la neutralización de pH ácidos, se recomienda una optimización de las aguas de lavado del área de producción que generalmente son básicas y pueden ser fundamentales para la corrección de pH, evitando el empleo de otras sustancias.
- Por otra parte, es responsabilidad de cada una de las áreas contribuir con la calidad del líquido a tratar, para ello es vital reducir el número de incidentes como los derrames o pérdidas de producto y en el caso de que se presenten, brindar información oportuna al operario de la planta de tratamiento con el fin de determinar las medidas a seguir. Lo anterior también aplica para las descargas procedentes de los lavados de las cisternas las cuales generan variaciones considerables del pH en el afluente.
- Si al tomar las medidas correctivas correspondientes al suministro de oxígeno y las variaciones de pH se llegan a presentar episodios de bulking filamentoso, se recomienda realizar estudios posteriores para verificar la necesidad del empleo de productos químicos como el hipoclorito de sodio o el peróxido de hidrógeno.
- Es vital seguir realizando análisis microscópicos al lodo activado, ya que permite identificar el tipo de microorganismos presentes y por ende conocer bajo que condiciones esta operando el sistema. Es de resaltar que esta medida brinda mayor información que el índice IVL.

- Se recomienda realizar inducciones al personal de operaciones del área de la PTAR con respecto a los fenómenos de bulking y espumas, para que estos estén en conocimiento e interiorizados con el tema en cuestión. Esto considerando que las buenas prácticas operacionales resultan fundamentales para atacar estos problemas.
- Realizar el cambio, de ser necesario y mantenimientos periódicos a los sensores de oxígeno disuelto. De esta manera se determinará realmente cuanta es la concentración de OD en el licor de mezcla, lo que resulta clave para la prevención y control de bulking y espumas.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- ANÁLISIS AMBIENTAL. Caracterización de vertimientos líquidos Planta Alpina Popayán. 2013.
- APHA, AWWA & WPCF (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC.
- ARAGÓN, Carlos A. “Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales”. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente. 2009. 42 p.
- ARANGO, Liz y LÓPEZ, Juan David. Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque. Tesis de grado en Ingeniería Ambiental. Medellín. Universidad de Medellín. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental. 2011. 38-40 p.
- ARELLANO, Rodrigo. Evaluación de la proliferación de bulking en sistemas de tratamiento de lodos activos. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Concepción: Universidad del Bio-Bio. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Civil. 2005. 5 p.
- BUENDÍA, Inmaculada M., et al. Feasibility of anaerobic co-digestion as a treatment option of meat industry wastes. En: Bioresource Technology. March, 2009, vol. 100, No. 6, p.1903–1909.
- CERESO, Jose Antonio. Estación Depuradora de Aguas Residuales. Trabajo de grado en Ingeniería Técnica Industrial especialidad Química. España. Universidad Politécnica de Cataluña. 2011. 26-31 p.
- CONTRERAS, Katterine. Coltrobulking filamentoso en proceso de lodos activados con aireación extendida. Tesis en Ingeniería Civil Química. Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. 2010.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. Resolución No 0321 del 24 de agosto de 2009. Por el cual se otorga un permiso definitivo de vertimientos a la empresa Alpina productos Alimenticios S.A. Popayán.

- CRUZ, Jonnathan Jair. Determinación de la eficiencia de la estación depuradora de aguas residuales de en la empresa Proleche S.A del municipio de Chía. Trabajo de grado en Ingeniería de Produccion Agroindustrial. Bogotá D.C.: Universidad de la Sabana. Facultad de Ingeniería. Programa de Producción Agroindustrial. 2001. 4-6 p.
- GARCÍA, Oscar. Propuesta de Ingeniería básica para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la central termoeléctrica Valle de México. Trabajo de grado en Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. 2011. 11-13 p.
- GIL, Edicson J. El éxito de la Gestión Ambiental en Alpina S.A. Revista EAN No.62 enero-abril de 2008 p.73-88.
- GIL, Karina Alejandra. Incorporación de la variable ambiental en un industria de derivados lácteos. Tesis de grado en Ingeniería Química. Caracas: Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. 2003. 2 p.
- GONZÁLEZ, Marcelino de Jesús. Aspectos Medio Ambientales asociados a los procesos de la industria láctea. Mundo Pecuario, VIII, Nº 1, 16-32, 2012.
- INCOL LTDA. Ingenieros consultores. Manual de la PTAR. 1989. 14-17p.
- Jenkins D., Richard M. G. y Daigger G. T. (1993). Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 2ª. ed. Lewis Publishers, Nueva York, 193 p.
- Programa de Respuesta Ante Emergencias Alpina S.A. 2012.
- RAMÍREZ D. Plan de ahorro y uso eficiente del agua. Planta Alpina Popayán, 2010.
- REYES, Alan Michael. Análisis y control del abultamiento filamentoso en una planta de tratamiento de efluentes. Tesis de grado en Ingeniería Química. Coatzacoalcos: Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Programa Ingeniería Química. 2009. 7, 33, 43 p.
- ROMERO, Pablo María. Caracterización de la actividad de lodos de digestión anaerobia y su influencia sobre la reducción de producción de lodos. Trabo final de Maestría en Gestión Integral del Agua. Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente. 2011. 5-7 p.

- SALINAS, Gabriela. Control preventivo y correctivo del bulking filamentoso y espumas superficiales en el tratamiento biológico de aguas servidas. Tesis en Ingeniería Civil Química. Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. 2013.
- TORRESCANO, José Luis. Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados. Aquaforum. No. 52 2009. 2013.
- URTUBIA, Alejandra; REYES, Paula; SÁNCHEZ, Omar; Schiapacasse, María; CHAMY, Rolando. Determinación de las condiciones de oxígeno disuelto de un sistema de un sistema de lodos activados que permita la producción de lodos fácilmente biodegradables con alto contenido de PHB. XXX CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL 26 al 30 de noviembre de 2006, Punta del Este – Uruguay.
- VALLEJOS, Jeizon. Colaboración en la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Alpina Popayán, para establecer su eficiencia de remoción y el mejoramiento en los tiempos de deshidratación de los lodos producidos en la planta. Trabajo de grado en la modalidad de pasantía en Ingeniería Ambiental. Popayán. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil. Programa Ingeniería Ambiental. 2013.
- VELÁZQUEZ, María del Carmen. Organismos filamentosos y su relación con la degradación de materia orgánica y nutrientes bajo condiciones específicas de operación. Trabajo de grado en Maestro de Ingeniería Ambiental. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. División de estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de maestría y doctorado en ingeniería. 2006.
- VILASECA, M.M. "Observación Microscópica de Fangos Activados en los Tratamientos de Depuración Biológica", boletín INTEXTER (U.P.C), 2001, N°119, 67-72.
- VILEMA, Mayra Alejandra. Propuesta de aplicación de Producción más limpia en el proceso de elaboración de quesos en la fábrica de lácteos "Unión Libre" de la Parroquia 10 de Agosto, Provincia de Pastaza. Trabajo de grado en Ingeniería Ambiental. Universidad Estatal Amazónica. 2011.
- VIRACUCHA, Sandra Maribel. Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en un ingenio azucarero con la tecnología de lodos activados. Trabajo de grado en Ingeniería química. Quito. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Programa de Ingeniería Química. 2012. 12-16 p.

## **11 ANEXOS**

# **Anexo 1**

Datos obtenidos de las jornadas de monitoreo

Teniendo en cuenta que se realizó análisis estadístico mediante el programa Statgraphics, determinando de esta forma los datos lejanos de la tendencia normal. Se hizo descarte de datos atípicos y para efectos del presente trabajo se muestran en color rojo en las tablas correspondientes a la consolidación de los datos obtenidos durante las diversas jornadas de muestreo en la PTAR de la Empresa Alpina S.A.

**Tabla 16.** Consolidación de los parámetros de operación

<b>Fecha</b>	<b>DBO<sub>5</sub> Afluente</b>	<b>DBO<sub>5</sub> Efluente</b>	<b>DQO Afluente</b>	<b>DQO Efluente</b>	<b>SST Afluente</b>	<b>SST Efluente</b>
<b>DD/MM/AA</b>	<b>mg/L O<sub>2</sub></b>	<b>mg/L O<sub>2</sub></b>	<b>mg/L O<sub>2</sub></b>	<b>mg/L O<sub>2</sub></b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
09/05/2013	993	15	2500	271	585	55
20/05/2013	1036	5,4	2200	205	370	35
23/05/2013	910	79,3	2600	171	660	5
06/06/2013	717	52	1700	190	400	40
20/06/2013	490	63	1300	527	440	130
04/07/2013	473	20	2300	212	445	55
15/07/2013	1157	96	2500	365	640	60
18/07/2013	1157	40	3100	385	305	10
25/07/2013	557	76	2100	306	480	25
01/08/2013	790	17	2000	254	330	10
08/08/2013	476,7	66	2400	342	500	65
13/08/2013	720,5	31,9	4200	611	870	35
15/08/2013	630	14	2800	397	445	55
22/08/2013	1130	23	3300	426	460	20
29/08/2013	848,4	39,1	2400	359	580	15
13/09/2013	730	23,5	1700	417	580	55

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 17.** Consolidación datos de SST y SSV

Fecha	SST	SST	SSV	SSV	IVL
	Recirculación mg/L	Tanque mg/L (1500-4000)	Tanque aireaciónmg/l	Recirculación mg/L	mg/L
09/05/2013	4720	3020	2790	4360	331
20/05/2013	5730	3780	3540	5360	265
23/05/2013	3290	2880	2720	3150	347
06/06/2013	5100	2920	2640	4610	342
20/06/2013	8360	4820	4090	7640	207
04/07/2013	6710	4530	4190	6120	221
15/07/2013	10550	4830	4400	9830	207
18/07/2013	6400	3780	3620	5870	265
25/07/2013	9380	4350	4090	8660	230
01/08/2013	6820	2170	1980	6250	461
08/08/2013	10190	4890	4560	9430	204
13/08/2013	7050	3880	3580	6380	258
15/08/2013	6440	2920	2740	5960	342
22/08/2013	8230	4600	4350	7560	217
29/08/2013	7490	4490	4020	6630	223
13/09/2013	3990	2810	2410	3350	356

**Fuente:** Elaboración propia

$$IVL \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{Vol_{30minutos} \times 1000}{SSTLM} = \frac{1000 \times 1000}{3020} = 331 \frac{mg}{L}$$

$$Promedio IVL = 280 \frac{mg}{L}$$

**Tabla 18.** Datos de caudal

Fecha	CAUDAL	CAUDAL
	m3/día	m3/hora
09/05/2013	121	5,04
20/05/2013	126	5,25
23/05/2013	102	4,25
06/06/2013	80	3,33
20/06/2013	96	4,00
04/07/2013	119	4,96
15/07/2013	140	5,83
18/07/2013	105	4,38
25/07/2013	85	3,54
01/08/2013	108	4,50
08/08/2013	145	6,04
13/08/2013	90	3,75
15/08/2013	107	4,46
22/08/2013	73	3,04
29/08/2013	79	3,29
13/09/2013	140	5,83

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 19.** Datos de cargas volumétricas de entrada y salida de los parámetros de operación

CARGA VOLUMETRICA ENTRADA Kg/día			CARGA VOLUMETRICA SALIDA Kg/día		
SST	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST	DQO	DBO <sub>5</sub>
70,79	302,50	120,15	6,66	302,5	1,82
46,62	277,20	130,54	4,41	277,2	0,68
67,32	265,20	92,82	0,51	265,2	8,09
32,00	136,00	57,36	3,20	136,0	4,16
42,24	124,80	47,04	12,48	124,8	6,05
52,96	273,70	56,29	6,55	273,7	2,38
89,60	350,00	161,98	8,40	350,0	13,44
32,03	325,50	121,49	1,05	325,5	4,20
40,80	178,50	47,35	2,13	178,5	6,46
35,64	216,00	85,32	1,08	216,0	1,84
72,50	348,00	69,12	9,43	348,0	9,57
78,30	378,00	64,85	3,15	378,0	2,87
47,62	299,60	67,41	5,89	299,6	1,50
33,58	240,90	82,49	1,46	240,9	1,68
45,82	189,60	67,02	1,19	189,6	3,09
81,20	238,00	102,20	7,70	238,0	3,29

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 20.** Índice de biodegradabilidad (DBO<sub>5</sub>/DQO)

<b>DBO<sub>5</sub>/DQO Afluente</b>	<b>DBO<sub>5</sub>/DQO Efluente</b>
0,4	0,06
0,47	0,03
0,35	0,46
0,42	0,27
0,38	0,12
0,21	0,09
0,46	0,26
0,37	0,1
0,27	0,25
0,4	0,07
0,2	0,19
0,17	0,05
0,23	0,04
0,34	0,05
0,35	0,11
0,43	0,06

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 21.** Datos de Nitrógeno y Fósforo

<b>FECHA</b>	<b>NITRÓGENO (mg/L)</b>	<b>FÓSFORO (mg/L)</b>
09/05/2013	79	15
20/05/2013	52	11,5
23/05/2013	55	15
06/06/2013	99	15
20/06/2013	43	8,95
04/07/2013	98	7,65
15/07/2013	178	30,3
18/07/2013	89	18,9
25/07/2013	39	8,25
01/08/2013	47	12,15
08/08/2013	96	6,75
13/08/2013	52	11,5
15/08/2013	104	9
22/08/2013	79	11,55
29/08/2013	139	36,7
13/09/2013	55	13,9

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 22.** Mediciones de oxígeno disuelto

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>FONDO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	<b>MEDIO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	<b>SUPERFICIE (mg/L O<sub>2</sub>)</b>
06/05/2013	08:30	0,08	0,88	1,25
	11:50	0,07	0,79	1,44
	13:30	0,06	0,90	0,93
	16:16	0,05	0,80	1,07
08/05/2013	07:30	0,09	0,89	1,15
	11:00	0,04	0,83	1,04
	13:00	0,05	0,95	1,23
	16:00	0,07	0,80	0,97
09/05/2013	10:00	0,07	0,61	1,23
	12:00	0,05	0,57	0,94
	14:00	0,06	0,79	0,87
	16:00	0,08	0,98	1,09
10/05/2013	07:30	0,05	0,44	0,66
	11:00	0,05	0,44	0,39
	16:00	0,12	0,27	0,57
	17:00	0,10	0,46	0,60
15/05/2013	10:00	0,08	0,48	0,44
	12:00	0,10	0,69	0,80
	14:00	0,05	0,61	0,76
	16:00	0,07	0,58	0,70
16/05/2013	9:00	0,05	0,68	0,86
	10:00	0,04	0,42	0,73
	11:00	0,09	0,64	0,88
	13:30	0,06	0,29	0,59
17/05/2013	10:00	0,05	0,49	0,63
	12:00	0,07	0,44	0,68
	14:00	0,09	0,68	0,83
	16:00	0,07	0,60	0,77
20/05/2013	08:00	0,04	0,93	0,76
	11:00	0,04	1,17	0,74
	12:00	0,07	0,62	0,91
	16:00	0,08	0,79	0,97
22/05/2013	10:00	0,05	0,72	0,90
	14:00	0,08	0,37	0,92
	16:00	0,09	0,64	0,99
	17:00	0,03	0,80	1,36
23/05/2013	10:00	0,05	0,27	1,73
	12:00	0,08	0,44	1,92
	16:00	0,07	0,16	1,86
	17:00	0,10	0,48	0,87

Continuación Tabla 22.

FECHA	HORA	FONDO (mg/L O <sub>2</sub> )	MEDIO (mg/L O <sub>2</sub> )	SUPERFICIE (mg/L O <sub>2</sub> )
24/05/2013	09:00	0,04	1,20	1,20
	11:00	0,06	0,88	0,99
	13:00	0,05	0,17	0,73
	16:00	0,06	0,41	0,94
17/06/2013	08:00	0,07	0,47	0,94
	10:00	0,05	0,66	0,90
	11:00	0,19	0,55	0,34
	14:00	0,08	0,46	0,98
24/06/2013	09:00	0,07	0,71	0,90
	10:00	0,08	0,63	0,93
	14:00	0,08	0,65	0,91
	16:00	0,06	0,89	0,97
25/06/2013	09:00	0,09	0,11	0,86
	12:00	0,10	0,14	0,92
	14:00	0,05	0,49	0,99
	17:00	0,10	0,47	0,51
26/06/2013	08:30	0,08	0,68	1,07
	10:00	0,08	0,90	1,02
	13:30	0,07	0,64	1,01
	17:00	0,07	0,69	0,80
27/06/2013	09:00	0,07	0,85	0,90
	11:00	0,06	0,64	0,86
	13:00	0,09	0,47	1,08
	16:00	0,12	0,94	1,12
02/07/2013	08:30	0,04	0,86	1,08
	10:00	0,20	0,89	1,01
	13:00	0,12	0,93	1,17
	16:30	0,06	0,97	0,90
05/07/2013	09:00	0,06	1,08	1,20
	10:00	0,04	0,94	0,98
	14:00	0,03	0,09	0,90
	17:00	0,05	0,75	0,96
10/07/2013	10:00	0,08	0,51	0,77
	12:00	0,07	0,58	0,85
	14:00	0,09	0,76	0,77
	16:00	0,06	0,37	0,84
15/07/2013	09:00	0,09	0,71	0,99
	10:00	0,10	0,75	0,82
	12:00	0,05	0,64	1,10
	13:00	0,06	0,82	0,98

Continuación Tabla 22.

FECHA	HORA	FONDO (mg/L O <sub>2</sub> )	MEDIO (mg/L O <sub>2</sub> )	SUPERFICIE (mg/L O <sub>2</sub> )
16/07/2013	08:30	0,07	1,07	0,98
	10:00	0,10	0,90	0,86
	11:00	0,07	0,84	0,89
	16:00	0,06	0,43	0,84
17/07/2013	09:00	0,10	0,72	0,95
	12:00	0,09	1,24	0,90
	14:00	0,11	0,84	1,0
	16:00	0,05	0,44	0,64
18/07/2013	08:00	0,10	0,56	0,90
	10:00	0,07	0,46	0,83
	12:00	0,06	0,71	1,04
	16:00	0,10	0,51	0,54
22/07/2013	09:00	0,06	0,71	0,63
	11:00	0,10	0,68	0,84
	13:00	0,10	0,48	0,60
	17:00	0,04	0,65	1,02
23/07/2013	10:00	0,08	0,74	0,98
	13:00	0,06	0,83	0,99
	16:00	0,10	0,87	1,03
	17:00	0,05	0,84	0,96
24/07/2013	11:00	0,10	0,51	0,99
	13:00	0,09	0,75	1,01
	13:50	0,07	0,80	1,10
	17:00	0,08	0,64	0,84
25/07/2013	09:10	0,05	0,79	0,71
	11:00	0,09	1,32	0,80
	14:00	0,06	0,88	0,98
	16:30	0,10	1,45	1,55
29/07/2013	07:50	0,10	0,60	0,93
	09:00	0,07	0,97	1,03
	10:30	0,08	0,74	0,96
	13:00	0,12	0,80	0,99
30/07/2013	09:00	0,25	0,82	1,29
	11:00	0,09	0,78	0,96
	13:00	0,16	1,45	2,25
	17:00	0,17	1,20	1,59
31/07/2013	07:40	0,09	0,86	1,01
	09:30	0,06	0,63	0,90
	11:00	0,07	0,55	1,06
	14:00	0,08	0,67	1,07

Continuación Tabla 22.

FECHA	HORA	FONDO (mg/L O <sub>2</sub> )	MEDIO (mg/L O <sub>2</sub> )	SUPERFICIE (mg/L O <sub>2</sub> )
01/07/2013	08:00	0,09	0,70	0,87
	10:00	0,09	0,69	0,93
	12:00	0,04	0,87	2,00
	16:00	0,10	1,18	1,10
05/08/2013	09:00	0,18	0,95	1,30
	11:00	0,09	0,73	0,93
	16:00	0,08	0,61	0,95
	17:00	0,22	0,44	0,88
06/07/2013	08:00	0,07	0,79	0,81
	09:00	0,07	0,85	1,02
	10:00	0,08	0,57	0,93
	13:00	0,10	0,90	0,97
08/08/2013	09:20	0,08	0,65	0,80
	11:00	0,06	0,73	1,05
	12:00	0,08	0,75	1,13
	14:00	0,06	0,70	0,97
09/08/2013	08:00	0,06	0,69	0,80
	12:00	0,07	0,71	1,01
	15:00	0,08	0,59	0,94
	17:00	0,06	0,55	1,24
12/08/2013	08:00	0,24	0,77	1,08
	12:00	0,12	0,84	0,96
	13:00	0,08	0,67	1,12
	15:00	0,09	0,96	1,16
13/08/2013	07:50	0,11	0,68	1,04
	09:00	0,05	0,89	1,45
	11:00	0,09	0,75	1,27
	15:00	0,06	0,90	1,20
14/08/2013	08:00	0,29	0,87	1,16
	10:00	0,12	0,88	1,41
	13:00	0,08	0,65	1,09
	16:00	0,07	0,75	1,03
15/08/2013	10:00	0,29	0,90	1,44
	12:00	0,12	0,88	1,47
	16:00	0,08	0,76	1,42
	17:00	0,07	0,79	1,35
16/08/2013	09:00	0,09	1,24	0,97
	10:40	0,09	1,45	1,51
	12:00	0,07	0,79	1,01
	15:00	0,08	0,82	0,91

**Continuación Tabla 22.**

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>FONDO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	<b>MEDIO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	<b>SUPERFICIE (mg/L O<sub>2</sub>)</b>
20/08/2013	10:00	0,06	1,16	1,52
	12:00	0,06	0,90	0,99
	14:00	0,05	0,75	1,07
	16:00	0,09	0,69	0,94
21/08/2013	08:00	0,29	0,90	1,36
	10:00	0,05	0,84	0,59
	14:00	0,04	0,49	0,62
	15:00	0,05	0,52	0,82
22/08/2013	09:00	0,15	0,83	0,95
	11:00	0,09	0,61	0,74
	15:00	0,05	0,66	0,79
	17:00	0,10	0,82	0,93
23/08/2013	08:00	0,07	1,42	0,98
	10:00	0,10	1,09	1,28
	11:00	0,18	1,07	1,43
	13:00	0,09	0,98	0,96
29/08/2013	08:00	0,95	1,21	0,75
	10:00	1,27	1,34	0,89
	13:00	1,23	1,09	0,79
	15:00	0,93	1,11	0,86

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 23.** Mediciones de pH y temperatura

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
09/05/2013	06:00	1	30	11,4	8,2	28	21
	06:15	2	30	11,1	8,2	28	21
	06:30	3	30	11,4	8,2	28	21
	06:45	4	30	11,3	8,2	27	22
	07:00	5	30	11,2	8,2	28	21
	07:15	6	30	11,4	8,2	28	21
	07:30	7	30	11,4	8,2	28	21
	07:45	8	30	11,4	8,2	28	21
	08:00	9	30	11,2	8,1	28	22
	08:15	10	30	11,2	8,1	29	22
	08:30	11	30	11,1	8,1	29	21
	08:45	12	30	11,1	8,1	29	21
	09:00	13	30	11,0	8,1	28	22
	09:15	14	30	11,0	8,1	28	22
	09:30	15	30	10,9	8,1	28	22
	09:45	16	30	10,9	8,1	28	21
	10:00	17	30	10,9	8,1	28	22
	10:15	18	30	10,9	8,1	28	22
	10:30	19	30	10,8	8,1	28	23
	10:45	20	30	10,8	8,0	28	22
	11:00	21	30	10,7	8,0	28	22
	11:15	22	30	10,7	8,1	28	22
	11:30	23	30	10,6	8,1	29	23
	11:45	24	30	10,5	8,1	29	22
	12:00	25	30	10,4	8,1	29	22
	12:15	26	30	9,9	8,0	28	23
	12:30	27	30	9,8	8,0	27	23
	12:45	28	30	9,7	8,0	27	22
	13:00	29	30	10,0	8,0	26	22
	13:15	30	30	10,0	8,0	26	22
	13:30	31	30	10,3	8,0	26	22
	13:45	32	30	10,6	8,0	26	22
	14:00	33	30	10,5	8,0	26	23

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
20/05/2013	06:00	1	30	11,1	8,3	32	23
	06:15	2	30	11,1	8,2	32	23
	06:30	3	30	11,1	8,1	32	23
	06:45	4	30	11,1	8,1	32	23
	07:00	5	30	11,1	8,2	32	23
	07:15	6	30	11,1	8,2	32	23
	07:30	7	30	11,1	8,2	30	23
	07:45	8	30	10,0	8,1	30	23
	08:00	9	30	10,5	8,1	30	23
	08:15	10	30	10,5	8,1	30	23
	08:30	11	30	10,5	8,1	30	23
	08:45	12	30	10,5	8,1	28	23
	09:00	13	30	10,5	8,1	28	23
	09:15	14	30	10,3	8,1	27	22
	09:30	15	30	10,3	8,1	27	22
	09:45	16	30	10,1	8,2	26	22
	10:00	17	30	10,1	8,2	26	22
	10:15	18	30	10,1	8,2	26	22
	10:30	19	30	10,1	8,2	26	22
	10:45	20	30	10,1	8,2	26	22
	11:00	21	30	10,1	8,2	26	22
	11:15	22	30	10,1	8,2	26	22
	11:30	23	30	10,1	8,1	26	22
	11:45	24	30	10,5	8,0	26	22
	12:00	25	30	10,5	8,0	26	22
	12:15	26	30	10,9	8,0	26	22
	12:30	27	30	11,1	8,0	26	22
	12:45	28	30	11,1	8,0	26	22
	13:00	29	30	11,1	8,0	26	22
	13:15	30	30	11,1	8,0	26	22
	13:30	31	30	11,1	8,0	26	22
	13:45	32	30	11,1	8,0	26	23
	14:00	33	30	11,1	8,0	26	23

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
23/05/2013	06:00	1	30	10,2	7,9	32	22
	06:15	2	30	9,5	7,9	32	22
	06:30	3	30	9,8	7,9	32	22
	06:45	4	30	6,9	7,9	34	22
	07:00	5	30	6,6	7,9	34	22
	07:15	6	30	4,6	8,0	34	22
	07:30	7	30	5,2	8,0	34	22
	07:45	8	30	5,4	7,9	34	22
	08:00	9	30	5,8	7,9	34	22
	08:15	10	30	6,9	7,9	34	22
	08:30	11	30	6,9	7,9	34	22
	08:45	12	30	6,4	7,9	34	22
	09:00	13	30	6,5	7,9	34	22
	09:15	14	30	6,8	8,0	34	23
	09:30	15	30	7,2	8,0	34	23
	09:45	16	30	9,7	8,0	32	22
	10:00	17	30	9,7	8,0	32	22
	10:15	18	30	9,7	8,0	32	22
	10:30	19	30	10,0	7,9	33	22
	10:45	20	30	10,0	8,0	34	23
	11:00	21	30	10,0	8,0	34	23
	11:15	22	30	9,9	8,0	31	22
	11:30	23	30	9,9	8,0	31	22
	11:45	24	30	9,9	8,0	31	22
	12:00	25	30	9,9	8,0	31	22
	12:15	26	30	9,9	8,0	31	22
	12:30	27	30	9,9	8,0	31	22
	12:45	28	30	9,9	8,0	31	22
	13:00	29	30	9,9	8,0	31	22
	13:15	30	30	9,9	8,0	31	22
	13:30	31	30	9,9	8,0	31	22
	13:45	32	30	9,9	8,0	31	22
	14:00	33	30	9,9	8,0	31	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
06/06/2013	06:00	1	30	11,8	7,6	35	19
	06:15	2	30	11,6	7,6	34	19
	06:30	3	30	11,4	7,6	34	19
	06:45	4	30	11,6	7,6	34	19
	07:00	5	30	11,6	7,6	34	19
	07:15	6	30	11,7	7,9	33	20
	07:30	7	30	11,7	8,0	33	20
	07:45	8	30	11,7	8,2	33	20
	08:00	9	30	11,7	8,2	33	20
	08:15	10	30	11,6	8,1	33	20
	08:30	11	30	11,6	8,2	31	20
	08:45	12	30	11,5	8,3	31	20
	09:00	13	30	11,5	8,3	31	20
	09:15	14	30	11,5	8,3	30	20
	09:30	15	30	11,5	8,4	30	20
	09:45	16	30	11,5	8,4	31	20
	10:00	17	30	11,4	8,4	30	20
	10:15	18	30	11,4	8,4	30	21
	10:30	19	30	11,4	8,4	29	21
	10:45	20	30	11,4	8,5	32	21
	11:00	21	30	11,3	8,4	32	22
	11:15	22	30	11,3	8,4	32	22
	11:30	23	30	11,3	8,4	32	22
	11:45	24	30	11,3	8,4	32	22
	12:00	25	30	11,3	8,4	30	22
	12:15	26	30	11,3	8,4	30	21
	12:30	27	30	11,1	8,4	30	20
	12:45	28	30	11,1	8,4	31	21
	13:00	29	30	11,1	8,4	31	22
	13:15	30	30	11,1	8,4	31	22
	13:30	31	30	11,1	8,4	31	22
	13:45	32	30	11,1	8,4	31	22
	14:00	33	30	11,1	8,4	31	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
20/06/2013	06:00	1	30	10,5	8,0	23	20
	06:15	2	30	10,6	8,0	24	20
	06:30	3	30	10,5	8,0	24	20
	06:45	4	30	11,3	8,1	24	20
	07:00	5	30	11,3	8,1	24	20
	07:15	6	30	11,3	8,1	27	20
	07:30	7	30	12,0	8,1	27	20
	07:45	8	30	12,1	8,1	29	22
	08:00	9	30	8,5	8,1	24	21
	08:15	10	30	11,3	8,2	28	21
	08:30	11	30	9,3	8,2	27	21
	08:45	12	30	9,3	8,2	27	21
	09:00	13	30	8,9	8,4	26	21
	09:15	14	30	9,3	8,4	27	21
	09:30	15	30	10,4	8,4	28	22
	09:45	16	30	10,2	8,4	27	21
	10:00	17	30	10,3	8,4	27	21
	10:15	18	30	10,3	8,3	27	22
	10:30	19	30	10,3	8,3	27	22
	10:45	20	30	10,3	8,3	27	22
	11:00	21	30	10,2	8,3	26	22
	11:15	22	30	10,1	8,0	26	22
	11:30	23	30	10,3	8,2	23	22
	11:45	24	30	10,5	8,3	27	22
	12:00	25	30	10,5	8,2	26	22
	12:15	26	30	10,5	8,2	26	22
	12:30	27	30	10,7	8,2	26	22
	12:45	28	30	11,0	8,2	27	22
	13:00	29	30	11,0	8,2	27	22
	13:15	30	30	11,0	8,2	27	22
	13:30	31	30	10,9	8,2	27	22
	13:45	32	30	11,0	8,2	27	22
	14:00	33	30	10,8	8,1	27	23

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
04/07/2013	06:00	1	30	11,3	8,0	29	19
	06:15	2	30	11,0	8,0	30	20
	06:30	3	30	10,9	8,0	30	20
	06:45	4	30	10,9	8,0	30	20
	07:00	5	30	10,4	8,0	30	20
	07:15	6	30	10,1	8,0	31	20
	07:30	7	30	10,7	8,0	27	20
	07:45	8	30	11,7	8,0	29	20
	08:00	9	30	11,8	8,0	28	20
	08:15	10	30	10,1	8,0	27	20
	08:30	11	30	6,8	8,0	29	20
	08:45	12	30	2,3	8,1	27	20
	09:00	13	30	3,6	8,1	27	20
	09:15	14	30	10,9	8,1	28	20
	09:30	15	30	11,1	8,1	28	20
	09:45	16	30	11,2	8,2	27	20
	10:00	17	30	11,1	8,2	28	20
	10:15	18	30	11,2	8,1	27	21
	10:30	19	30	11,0	8,1	26	21
	10:45	20	30	11,0	8,1	26	21
	11:00	21	30	10,9	8,1	26	21
	11:15	22	30	10,9	8,1	27	21
	11:30	23	30	10,9	8,1	27	21
	11:45	24	30	11,4	8,1	28	21
	12:00	25	30	11,7	8,1	28	21
	12:15	26	30	11,6	8,0	28	21
	12:30	27	30	11,3	8,1	29	22
	12:45	28	30	11,3	8,1	29	22
	13:00	29	30	11,0	8,1	29	22
	13:15	30	30	11,0	8,1	30	22
	13:30	31	30	11,0	8,1	30	22
	13:45	32	30	10,9	8,1	30	22
	14:00	33	30	10,8	8,2	30	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
15/07/2013	06:00	1	30	11,3	7,7	27	23
	06:15	2	30	11,3	7,7	27	23
	06:30	3	30	11,3	7,7	27	23
	06:45	4	30	11,3	7,7	27	23
	07:00	5	30	11,3	7,7	27	23
	07:15	6	30	11,3	7,7	27	23
	07:30	7	30	10,9	7,8	28	23
	07:45	8	30	11,1	7,8	28	23
	08:00	9	30	10,6	7,7	27	23
	08:15	10	30	10,6	7,7	27	23
	08:30	11	30	10,6	7,7	27	23
	08:45	12	30	10,6	7,7	27	23
	09:00	13	30	10,6	7,7	27	22
	09:15	14	30	10,6	7,7	27	22
	09:30	15	30	10,6	7,7	27	22
	09:45	16	30	10,6	7,7	27	22
	10:00	17	30	10,6	7,7	27	22
	10:15	18	30	12,0	7,7	27	22
	10:30	19	30	12,0	7,7	27	22
	10:45	20	30	12,0	7,7	27	22
	11:00	21	30	12,0	7,7	27	22
	11:15	22	30	12,0	8,2	27	22
	11:30	23	30	12,0	8,2	27	22
	11:45	24	30	12,0	8,2	27	22
	12:00	25	30	12,0	8,2	27	22
	12:15	26	30	12,0	8,2	27	22
	12:30	27	30	12,0	8,2	27	22
	12:45	28	30	12,0	8,2	27	22
	13:00	29	30	12,0	8,2	27	22
	13:15	30	30	12,0	8,2	27	22
	13:30	31	30	12,0	8,2	27	22
	13:45	32	30	12,0	8,2	27	22
	14:00	33	30	12,0	8,2	27	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
18/07/2013	06:00	1	30	10,7	7,8	26	20
	06:15	2	30	10,7	7,7	26	20
	06:30	3	30	10,9	7,7	27	20
	06:45	4	30	11,1	7,7	27	20
	07:00	5	30	10,6	7,7	27	20
	07:15	6	30	10,6	7,7	28	20
	07:30	7	30	11,0	7,7	26	21
	07:45	8	30	11,0	7,8	26	20
	08:00	9	30	10,7	7,8	27	21
	08:15	10	30	10,6	7,8	25	20
	08:30	11	30	10,7	7,8	25	21
	08:45	12	30	10,8	7,8	26	21
	09:00	13	30	11,0	7,8	27	21
	09:15	14	30	11,1	7,9	27	21
	09:30	15	30	11,1	7,8	27	21
	09:45	16	30	11,0	7,8	28	21
	10:00	17	30	11,3	7,8	28	21
	10:15	18	30	11,8	7,8	29	21
	10:30	19	30	11,9	7,8	27	21
	10:45	20	30	11,9	7,8	26	21
	11:00	21	30	11,8	7,8	26	22
	11:15	22	30	11,7	7,9	26	22
	11:30	23	30	11,8	7,9	28	22
	11:45	24	30	10,6	7,9	28	22
	12:00	25	30	10,6	7,9	28	22
	12:15	26	30	10,6	7,9	28	22
	12:30	27	30	10,7	7,9	28	22
	12:45	28	30	10,9	7,9	28	22
	13:00	29	30	10,6	7,9	28	22
	13:15	30	30	10,3	7,9	28	22
	13:30	31	30	10,2	7,9	29	22
	13:45	32	30	10,2	7,9	29	23
	14:00	33	30	10,0	7,9	29	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
25/07/2013	06:00	1	30	10,8	7,5	28	20
	06:15	2	30	10,8	7,5	28	20
	06:30	3	30	10,8	7,5	28	20
	06:45	4	30	10,8	7,5	28	20
	07:00	5	30	10,8	7,5	28	20
	07:15	6	30	10,8	7,5	28	20
	07:30	7	30	10,8	7,5	28	20
	07:45	8	30	10,8	7,5	28	20
	08:00	9	30	10,8	7,5	28	20
	08:15	10	30	10,8	7,5	28	20
	08:30	11	30	10,3	7,5	27	21
	08:45	12	30	10,3	7,5	27	21
	09:00	13	30	10,9	7,8	27	21
	09:15	14	30	10,9	7,8	27	21
	09:30	15	30	10,9	8,1	28	21
	09:45	16	30	10,9	8,1	28	21
	10:00	17	30	11,6	8,0	30	21
	10:15	18	30	11,6	8,0	30	21
	10:30	19	30	11,6	8,0	30	21
	10:45	20	30	11,6	8,0	30	21
	11:00	21	30	11,5	8,0	29	21
	11:15	22	30	11,5	8,0	29	21
	11:30	23	30	11,1	8,0	30	22
	11:45	24	30	11,1	8,0	30	22
	12:00	25	30	11,1	8,0	30	22
	12:15	26	30	9,8	8,0	30	22
	12:30	27	30	9,8	8,0	30	22
	12:45	28	30	9,8	8,0	30	22
	13:00	29	30	11,0	7,8	31	22
	13:15	30	30	11,0	7,8	31	22
	13:30	31	30	11,0	7,8	31	22
	13:45	32	30	11,0	7,8	31	22
	14:00	33	30	11,0	7,8	31	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
01/08/2013	06:00	1	30	8,9	7,8	26	20
	06:15	2	30	8,4	7,7	26	20
	06:30	3	30	8,4	7,7	26	20
	06:45	4	30	7,4	7,7	28	20
	07:00	5	30	7,2	7,7	28	20
	07:15	6	30	8,3	7,7	27	20
	07:30	7	30	9,0	7,7	27	20
	07:45	8	30	10,0	7,7	27	20
	08:00	9	30	10,1	7,7	26	20
	08:15	10	30	9,9	7,8	28	21
	08:30	11	30	9,5	7,8	28	21
	08:45	12	30	9,0	7,8	27	21
	09:00	13	30	9,2	7,8	26	21
	09:15	14	30	9,0	7,8	27	21
	09:30	15	30	9,3	7,8	27	21
	09:45	16	30	9,5	7,8	26	21
	10:00	17	30	9,5	7,8	26	21
	10:15	18	30	9,5	7,8	26	21
	10:30	19	30	9,2	7,8	26	21
	10:45	20	30	9,0	7,8	26	21
	11:00	21	30	8,9	7,8	26	21
	11:15	22	30	8,6	7,8	26	21
	11:30	23	30	8,0	7,8	26	21
	11:45	24	30	7,6	7,8	27	21
	12:00	25	30	7,3	7,8	27	21
	12:15	26	30	7,1	7,8	27	21
	12:30	27	30	8,5	7,8	28	21
	12:45	28	30	9,9	7,8	28	21
	13:00	29	30	10,6	7,8	26	21
	13:15	30	30	10,4	7,8	26	21
	13:30	31	30	10,4	7,9	26	21
	13:45	32	30	10,4	7,8	26	21
	14:00	33	30	10,4	7,8	26	21

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
08/08/2013	06:00	1	30	2,5	7,9	27	22
	06:15	2	30	2,5	7,9	27	22
	06:30	3	30	2,5	7,9	27	22
	06:45	4	30	2,5	7,9	27	22
	07:00	5	30	2,5	7,9	27	22
	07:15	6	30	2,5	7,9	27	22
	07:30	7	30	2,5	7,9	27	22
	07:45	8	30	2,9	7,8	28	22
	08:00	9	30	2,9	7,8	28	22
	08:15	10	30	2,9	7,8	28	22
	08:30	11	30	2,9	7,8	28	22
	08:45	12	30	2,9	7,9	28	22
	09:00	13	30	2,9	7,9	28	22
	09:15	14	30	2,9	7,8	28	22
	09:30	15	30	2,9	7,8	28	22
	09:45	16	30	2,9	7,8	28	22
	10:00	17	30	10,7	7,9	29	22
	10:15	18	30	10,7	7,9	29	22
	10:30	19	30	11,1	7,9	29	22
	10:45	20	30	11,1	7,9	29	22
	11:00	21	30	9,5	7,9	30	22
	11:15	22	30	9,5	7,9	30	22
	11:30	23	30	7,4	7,8	30	22
	11:45	24	30	7,4	7,8	30	22
	12:00	25	30	8,2	7,8	30	22
	12:15	26	30	8,2	7,8	30	22
	12:30	27	30	8,2	7,8	30	22
	12:45	28	30	8,2	7,8	30	22
	13:00	29	30	8,2	7,8	30	22
	13:15	30	30	8,2	7,8	30	22
	13:30	31	30	8,2	7,8	30	22
	13:45	32	30	8,2	7,8	30	22
	14:00	33	30	8,2	7,8	30	22

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
13/08/2013	06:00	1	30	11,9	7,7	25	21
	06:15	2	30	11,9	7,7	26	21
	06:30	3	30	11,8	7,8	27	21
	06:45	4	30	2,7	7,8	26	21
	07:00	5	30	2,7	7,8	26	21
	07:15	6	30	2,7	7,8	26	21
	07:30	7	30	2,8	7,8	26	21
	07:45	8	30	2,8	7,8	26	21
	08:00	9	30	2,9	7,8	26	21
	08:15	10	30	2,8	7,8	26	21
	08:30	11	30	2,8	7,8	26	21
	08:45	12	30	2,9	7,9	26	21
	09:00	13	30	5,9	7,8	28	21
	09:15	14	30	5,9	7,8	28	21
	09:30	15	30	5,9	7,8	28	21
	09:45	16	30	5,9	7,8	28	21
	10:00	17	30	6,2	7,7	28	21
	10:15	18	30	6,6	7,8	28	22
	10:30	19	30	7,1	7,8	28	22
	10:45	20	30	7,1	7,8	27	21
	11:00	21	30	7,1	7,8	27	21
	11:15	22	30	7,1	7,6	27	21
	11:30	23	30	7,1	7,6	27	21
	11:45	24	30	7,1	7,7	27	21
	12:00	25	30	7,1	7,8	27	21
	12:15	26	30	7,2	7,8	27	21
	12:30	27	30	7,1	7,8	27	21
	12:45	28	30	7,3	7,8	27	21
	13:00	29	30	7,4	7,8	26	21
	13:15	30	30	7,4	7,8	27	21
	13:30	31	30	7,4	7,8	27	21
	13:45	32	30	7,4	7,8	27	21
	14:00	33	30	7,4	7,8	27	21

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
15/08/2013	06:00	1	30	11,9	8,0	29	20
	06:15	2	30	11,2	8,1	30	21
	06:30	3	30	10,9	8,1	30	21
	06:45	4	30	10,7	8,1	31	21
	07:00	5	30	10,9	8,1	32	21
	07:15	6	30	10,4	8,1	32	21
	07:30	7	30	11,0	8,1	32	21
	07:45	8	30	11,5	8,1	28	20
	08:00	9	30	10,4	8,1	29	20
	08:15	10	30	10,3	8,2	29	21
	08:30	11	30	12,4	8,2	32	22
	08:45	12	30	12,4	8,2	32	22
	09:00	13	30	12,3	8,2	31	22
	09:15	14	30	12,1	8,2	32	22
	09:30	15	30	12,0	8,3	31	22
	09:45	16	30	2,2	8,3	31	22
	10:00	17	30	2,2	8,2	31	20
	10:15	18	30	2,2	8,2	32	22
	10:30	19	30	2,2	8,2	32	22
	10:45	20	30	2,3	8,1	31	22
	11:00	21	30	2,4	8,2	31	22
	11:15	22	30	3,0	8,2	31	22
	11:30	23	30	8,0	8,2	30	22
	11:45	24	30	8,5	8,2	30	22
	12:00	25	30	10,0	8,3	31	23
	12:15	26	30	10,0	8,3	30	23
	12:30	27	30	10,2	8,3	32	23
	12:45	28	30	10,2	8,3	29	23
	13:00	29	30	10,4	8,3	29	23
	13:15	30	30	10,2	8,3	29	24
	13:30	31	30	10,0	8,3	32	24
	13:45	32	30	10,2	8,3	31	23
	14:00	33	30	10,3	8,2	31	23

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
22/08/2013	06:00	1	30	11,6	7,6	27	21
	06:15	2	30	11,6	7,6	27	21
	06:30	3	30	11,6	7,6	27	21
	06:45	4	30	11,6	7,6	27	21
	07:00	5	30	11,6	7,6	27	21
	07:15	6	30	11,6	7,6	27	21
	07:30	7	30	11,2	7,7	28	21
	07:45	8	30	11,2	7,7	28	21
	08:00	9	30	11,1	7,8	28	21
	08:15	10	30	11,1	7,8	28	21
	08:30	11	30	11,1	7,8	29	21
	08:45	12	30	11,1	7,8	29	21
	09:00	13	30	10,7	7,8	27	20
	09:15	14	30	10,7	7,8	27	20
	09:30	15	30	10,2	7,7	27	21
	09:45	16	30	10,2	7,7	27	21
	10:00	17	30	10,2	7,8	27	21
	10:15	18	30	10,2	7,7	27	21
	10:30	19	30	10,2	7,7	27	21
	10:45	20	30	10,2	7,7	27	21
	11:00	21	30	10,2	7,7	27	21
	11:15	22	30	10,2	7,7	27	21
	11:30	23	30	10,2	7,7	27	21
	11:45	24	30	10,2	7,7	28	21
	12:00	25	30	10,2	7,7	28	21
	12:15	26	30	10,2	7,7	27	21
	12:30	27	30	10,2	7,7	28	21
	12:45	28	30	10,2	7,7	27	21
	13:00	29	30	10,2	7,8	27	21
	13:15	30	30	10,2	7,8	27	21
	13:30	31	30	10,1	7,8	27	21
	13:45	32	30	10,1	7,7	27	21
	14:00	33	30	10,1	7,7	27	21

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
29/08/2013	06:00	1	30	11,9	8,0	27	20
	06:15	2	30	11,6	8,0	26	20
	06:30	3	30	11,4	8,0	26	20
	06:45	4	30	11,4	8,0	26	20
	07:00	5	30	2,6	8,0	26	19
	07:15	6	30	2,6	8,0	26	19
	07:30	7	30	2,9	8,1	26	19
	07:45	8	30	3,2	8,1	28	19
	08:00	9	30	6,1	8,0	31	19
	08:15	10	30	6,4	7,8	30	19
	08:30	11	30	6,9	7,9	31	20
	08:45	12	30	6,9	7,9	29	20
	09:00	13	30	6,8	7,9	29	20
	09:15	14	30	7,0	7,8	29	19
	09:30	15	30	10,0	7,9	28	20
	09:45	16	30	10,0	7,9	28	20
	10:00	17	30	9,6	7,9	28	20
	10:15	18	30	9,6	7,9	28	20
	10:30	19	30	9,8	7,8	28	20
	10:45	20	30	9,8	7,8	28	20
	11:00	21	30	9,8	7,8	28	20
	11:15	22	30	9,8	7,8	28	20
	11:30	23	30	9,6	7,9	29	21
	11:45	24	30	9,6	7,9	29	21
	12:00	25	30	9,6	7,9	29	21
	12:15	26	30	9,6	7,9	29	21
	12:30	27	30	9,7	7,8	29	21
	12:45	28	30	9,7	7,8	29	21
	13:00	29	30	9,6	7,8	29	21
	13:15	30	30	9,6	7,7	28	21
	13:30	31	30	9,7	7,9	28	21
	13:45	32	30	9,6	7,9	29	21
	14:00	33	30	9,6	7,9	29	21

**Continuación Tabla 23.**

CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES							
LUGAR: PTAR PLANTA ALPINA POPAYÁN							
FECHA	HORA	NÚMERO DE MUESTRAS	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	pH		TEMPERATURA	
				ENTRADA A	SALIDA	ENTRADA (°C)	SALIDA (°C)
13/09/2013	06:00	1	30	10,7	8,2	40	21
	06:15	2	30	10,7	8,2	40	21
	06:30	3	30	10,7	8,2	40	21
	06:45	4	30	10,7	8,2	40	21
	07:00	5	30	10,5	8,2	39	21
	07:15	6	30	11,0	8,2	30	21
	07:30	7	30	10,9	8,3	36	22
	07:45	8	30	10,0	8,3	39	22
	08:00	9	30	9,8	8,3	40	22
	08:15	10	30	9,7	8,3	38	22
	08:30	11	30	9,9	8,3	37	22
	08:45	12	30	9,8	8,2	37	22
	09:00	13	30	9,6	8,2	40	22
	09:15	14	30	9,7	8,2	38	23
	09:30	15	30	9,4	8,2	39	23
	09:45	16	30	9,4	8,3	38	23
	10:00	17	30	9,3	8,2	39	24
	10:15	18	30	9,5	8,2	39	24
	10:30	19	30	9,7	8,2	40	24
	10:45	20	30	9,4	8,2	37	24
	11:00	21	30	11,0	8,2	37	24
	11:15	22	30	11,3	8,2	39	24
	11:30	23	30	11,1	8,2	40	24
	11:45	24	30	10,9	8,2	36	24
	12:00	25	30	11,2	8,2	37	24
	12:15	26	30	11,2	8,2	37	24
	12:30	27	30	10,8	8,2	37	24
	12:45	28	30	11,0	8,2	38	25
	13:00	29	30	10,9	8,3	39	25
	13:15	30	30	10,9	8,3	40	25
	13:30	31	30	10,9	8,3	39	24
	13:45	32	30	10,9	8,2	40	24
	14:00	33	30	10,8	8,2	40	24

**Elaboración:** Elaboración propia

**Tabla 24.** Mediciones de pH y temperatura en el tanque de aireación

<b>TANQUE DE AIREACIÓN</b>			
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>pH</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>
09/05/2013	09:00	8,0	22
	10:00	8,0	23
	14:00	8,0	23
	16:00	8,0	22
20/05/2013	08:00	8,4	22
	11:00	8,1	22
	16:00	8,1	23
	17:00	8,1	23
23/05/2013	13:00	8,0	23
	14:00	8,1	23
	15:00	8,0	24
	16:00	8,1	24
06/06/2013	08:20	7,9	19
	10:30	8,2	19
	12:00	8,6	24
	14:00	8,1	22
20/06/2013	09:00	9	20
	11:00	9	21
	13:40	8,2	22
	15:00	8,2	22
04/07/2013	09:15	8,1	20
	13:30	8,5	22
	15:30	8,1	22
	17:00	8,0	22
15/07/2013	08:40	7,7	21
	10:00	7,9	22
	11:24	7,9	23
	17:00	7,6	24
18/07/2013	10:00	7,9	22
	11:15	8,0	22
	13:00	7,9	23
	15:00	7,9	23
25/07/2013	09:00	8,0	22
	10:45	8,1	22
	13.20	7,9	23
	14:50	8,0	22
01/08/2013	11:00	7,8	21
	13:00	7,7	22
	15:40	7,9	23
	17:00	7,7	23

**Continuación Tabla 24.**

<b>TANQUE DE AIREACIÓN</b>			
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>pH</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>
08/08/2013	09:00	7,7	22
	10:15	7,8	22
	15:00	7,7	22
	17:00	7,7	22
13/08/2013	08:00	8,2	20
	09:00	8,3	21
	10:30	7,6	21
	11:45	7,4	21
15/08/2013	09:00	8,4	20
	10:30	8,6	21
	13:00	8,0	23
	16:00	8,2	24
22/08/2013	09:00	7,7	21
	11:30	7,8	21
	13:00	7,8	21
	14:00	7,8	21
29/08/2013	08:30	7,7	19
	10:20	7,3	19
	14:00	7,2	21
	16:00	7,9	21
13/09/2013	09:00	8,0	20
	10:00	8,0	21
	13:00	8,1	21
	15:00	8,2	21

**Fuente:** Elaboración propia

## **Anexo 2**

Método para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

## **DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO- DQO POR KIT NANOCOLOR MÉTODO 028 Y 029 CON FOTOMETRO PF-12**

Alcance: Este método está diseñado para la determinación de DQO para el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Alpina Popayán.

### **INSTRUCCIONES ESPECÍFICAS**

#### **1. PRINCIPIO**

Determinación fotométrica de la concentración de cromo (III) tras oxidación de 30 min con dicromato potásico/ ácido sulfúrico/ sulfato de plata a 160 °C.

#### **2. APARATOS**

Bloque calefactor Nanocolor  
Tubos de reacción  
Pipeta de embolo con puntas  
Agua destilada

#### **3. REACTIVOS**

Tubo de test de DQO 1500: ácido sulfúrico 63%, sulfato de mercurio < 0.5 % de mercurio y dicromato potásico < 0.2 % de cromo.

Tubo de test de solución neutro "NULL"

Reactivo DQO 1500(0) R1: contiene ácido sulfúrico 95% y dicromato potásico <0.2%

Reactivo DQO 1500(0) R2: contiene ácido sulfúrico < 15% y sulfato de mercurio <10% de mercurio.

#### **4. PROCEDIMIENTO**

##### **PROCEDIMIENTO PARA EL EFLUENTE 100-1500 DQO**

- Tomar una celda y verificar que no tenga rayones, esté limpia y seca
- Adicionar 2.0 mL DQO 1500(0) R1 y 0.2 mL DQO 1500(0) R2.
- Mantener el tubo inclinado, cubrir lentamente el contenido con:

2 mL de muestra para un rango de 100-1500 mg/mL DQO (sin mezclar)

- Enroscar fuertemente el tapón del tubo. Sujetar
- Colocarlo en el recipiente de seguridad
- Encender el bloque calefactor NANOCOLOR.
- Agitar con precaución (el tubo se calienta) y colocar la muestra en el bloque calefactor, esperar un tiempo de 30 min a una temperatura de 160 ° C. Al finalizar el tiempo seleccionado, dejar la muestra en el bloque calefactor por 10 min.
- Sacarlo y agitarlo, si esta todavía caliente dejarlo enfriar a temperatura ambiente.
- Limpiar y secar el tubo por el exterior.
- Prender el fotómetro PF-12
- Elegir el método “DQO efluente” digitando en el teclado el número del método (029)
- Este mide un rango de 100-1500 mg/L de DQO
- El número de filtro se ajusta automáticamente
- Limpiar el tubo con un papel suave, verificando a través de una fuente de luz.
- Colocar el tubo en el compartimiento y después de cumplido el tiempo de reacción 1 minuto oprima la tecla <M>
- Lea el valor que aparece en la pantalla del equipo y regístrelo en mg/L de DQO.

### **PROCEDIMIENTO PARA EL AFLUENTE**

- Abrir el tubo del test, manteniéndolo inclinado
- Cubrir lentamente con 0.2 mL de solución de muestra
- Enroscar fuertemente el tapón del tubo del test
- Colocarlo en el recipiente de seguridad
- Encender el bloque calefactor NANOCOLOR.
- Agitar y colocar la muestra en el bloque calefactor ajustando la temperatura a 160 ° C y a un tiempo de 30 min. Al finalizar el tiempo seleccionado, dejar la muestra en el bloque calefactor por 10 min.
- Sacarlo y agitarlo, si esta todavía caliente dejarlo enfriar a temperatura ambiente.
- Limpiar y secar el tubo por el exterior.
- Prender el fotómetro PF-12
- Elegir el método “DQO afluente” digitando en el teclado el número del método (028)
- Este mide un rango de 1000-15000 mg/L de DQO

- El número de filtro se ajusta automáticamente
- Limpiar el tubo con un papel suave, verificando a través de una fuente de luz.
- Colocar el tubo en el compartimiento y después de cumplido el tiempo de reacción 1 minuto oprima la tecla **<M>**
- Lea el valor que aparece en la pantalla del equipo y regístrelo en mg/L de DQO.

## **Anexo 3**

Instructivo para la determinación de sólidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

## **1. OBJETIVO**

Este instructivo tiene por objeto dar las instrucciones para la determinación de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos volátiles (SSV) y sólidos sedimentables (SS) en aguas.

## **2. PRINCIPIO**

Los análisis de sólidos son importantes en el control físico y biológico del agua en los procesos de tratamientos de aguas residuales.

## **3. REACTIVOS Y EQUIPOS**

- Balanza analítica de precisión de indicación (0.1 mg/ 0.01 mg)
- Desecador
- Cápsulas de porcelana
- Guantes de nitrilo
- Pinzas
- Bomba de vacío
- Matraz de succión
- Plancha de calentamiento
- Cono de Imhoff

## **4. INSTRUCCIONES**

### **4.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) SECOS A 103-105 °C**

- Hacer el montaje del equipo de filtración con el respectivo filtro.
- Aplicando vacío, lavar el filtro con tres porciones de 10 a 20 mL de agua destilada, descartar las soluciones de lavado.
- Aplicar el vacío por dos minutos adicionales para eliminar toda el agua del filtro.
- Transferir el filtro con el crisol a una estufa colocada a 130-105° C
- Secar el filtro y el crisol durante una hora
- Llevar a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente
- Pesar inmediatamente antes de ser usado
- Hacer de nuevo el montaje del esquema de filtración y filtrar nuevamente un volumen de muestra.

- Pasar el crisol a la estufa y secar durante una hora a 130-105° C
- Transferir al desecador durante 30 min
- Pesar y registrar el valor correspondiente.

#### **4.2 SÓLIDOS VOLÁTILES (SV) A 550°C**

- Incinerar el residuo producido en el apartado anterior hasta peso constante en una mufla a 550° C, durante 20 minutos.
- Enfriar el sistema hasta alcanzar 100°C aproximadamente
- Transferir a desecador durante 30 min
- Pesar y registrar el valor correspondiente

#### **4.3 SÓLIDOS SEDIMENTABLES**

Llenar un cono Imhoff hasta la marca de un litro con agua bien mezclada y dejar en reposo por 35 min. Agitar suavemente la muestra cerca al lugar del cono con una varilla, reportar la cantidad de sólidos en mL/L.

## **Anexos 4**

Determinación de nutrientes en el afluente

## DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES EN EL AFLUENTE

### 1. NITRÓGENO:

Test 028 Nanocolor  
Rango 5-220 mg/ L N  
Solución A y B  
T<sub>NB</sub>220

#### Procedimiento

##### a) Descomposición (A)

- Abrir el tubo solución A y agregar 500 µL de la muestra del afluente
- Luego agregar una cucharada rasa de naranja de reactivo
- Llevarlo a ebullición a 120°C por 30 min
- Sacar del bloque calefactor, agitar brevemente y dejar enfriar
- Abrir el tubo y añadir una cucharada rasa negra de reactivo de compensación, cerrarlo y agitar bien.

##### b) Análisis (bulto B)

- Abrir el tubo del test Nitrógeno total T<sub>NB</sub>220
- Añadir 500 µL de solución de compensación y 500µL de R2, cerrar y mezclar.
- Limpiar el tubo del test por la parte exterior y medir después de 10 min con Fotómetro PF-12.

### 2. FÓSFORO

0.01-1.50 mg/L P  
Dilución  
Test 076  
Nanocolor

#### Procedimiento

- Se realiza la dilución correspondiente
- Agregar al tubo de ensayo 4 mL de la dilución Y UN Nanofix fósforo total R2
- Llevar al bloque calefactor a 120°C POR 30 MIN
- Dejar enfriar
- Luego agregar 200µL del reactivo R4 y mezclar
- Limpiar el test por la parte exterior y medir después de 10 min con Fotómetro PF-12.

## **Anexos 5**

Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

## DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Para la realización de esta prueba se emplea el método respirometrico, el cual realiza la medición mediante un sensor Oxitop.

### 1. PROCEDIMIENTO:

- Se ubica el volumen de muestra seleccionado en la botella
- Se coloca el agitador dentro de la botella con muestra
- Adicionar cinco perlas de hidróxido de sodio en el beaker de caucho
- Colocar el beaker de caucho en la boca de la botella; si por alguna razón el hidróxido de sodio cae dentro del líquido, descarte la muestra, lave la botella e intente de nuevo.
- Cierre las botellas con la tapa sensor y colóquelas sobre el sistema de agitación.
- Verifique que los agitadores funcionen correctamente. Presione simultáneamente las teclas M y S del sensor OXITOP para activar el registro.
- Para consultar en cualquier momento el resultado de la DBO, presione la tecla M y la pantalla se iluminará mostrando el resultado.
- Para leer los valores almacenados presione sucesivamente la tecla S
- Después de cada prueba lave muy bien el sistema

### 2. CÁLCULO Y REPORTE DE RESULTADOS

Lea directamente de la pantalla del sensor OXITOP el valor reportado. Multiplique este valor por el factor de dilución. Reporte el resultado como mg/L de O<sub>2</sub>.

### 3. DILUCIÓN Y DOSIFICACIÓN DEL INHIBIDOR DE NITRIFICACIÓN

Volumen de muestra (mL)	Rango medida (mg/L)	Factor	Inhibidor nitrificación (gotas)
432	0-40	1	9
365	0-80	2	7
250	0-200	5	5
164	0-400	10	3
97	0-800	20	2
43.5	0-2000	50	1

# **Anexos 6**

Instructivo para la tinción de microorganismos

## 1. COLORACIONES DIFERENCIALES

Las coloraciones diferenciales utilizan dos o más colorantes, que permiten contrastar o diferenciar los organismos según el color que adquieren. Existen una gran variedad de técnicas de coloración, siendo las de Gram y Ziehl-Neelsen las más empleadas en bacteriología.

## 2. TINCIÓN DE GRAM

Procedimiento

- Con el asa tomar una porción de la muestra
- Hacer el frotis, secar y fijar al calor
- Teñir el frotis durante 1 minuto con cristal violeta
- Lavar con agua destilada
- Añadir la solución de yodo y dejar reposar durante 1 minuto
- Lavar con agua destilada
- Decolorar con acetona o una mezcla de partes iguales de acetona y alcohol por 10 segundos
- Lavar con agua destilada
- Hacer la coloración de contraste con safranina durante 1 minuto
- Lavar con agua destilada
- Observar al microscopio

## 3. TINCIÓN DE ZIEHL NEELSEN

Procedimiento

- Cubra la preparación con fucsina fenicada sobre agua hirviendo durante 5 minutos. Adicione colorante si se requiere.
- Una vez enfriada la preparación, decolore con la solución de ácido alcohol durante 15 a 20 segundos.
- Lave con agua destilada
- Cubra la preparación con el colorante de contraste azul de metileno, durante 30 segundos.
- Lave con agua, drene los excesos y seque la preparación al aire mediante la utilización de papel especial para tales fines. Observe al microscopio.

# **Anexos 7**

Instructivo para cálculo de parámetros de operación

## 1. MÉTODO DE CÁLCULO DE CARGAS APLICADAS AL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

$$Carga\ aplicada\ DBO_5 = \frac{Q \times DBO_5}{1000}$$

**Fuente:**Incol LTDA, 1989.

Como ejemplo de cálculo de la carga aplicada al sistema, se toman los datos correspondientes al muestreo realizado el 09 de mayo del 2013. Por tanto:

Caudal: 121 m<sup>3</sup>/d  
DBO<sub>5</sub>: 993 mg/L de O<sub>2</sub>

$$Carga\ aplicada\ DBO_5 = \frac{121 \times 993}{1000} = 120,15\ Kg/día$$

## 2. MÉTODO DE CÁLCULO DE LA RELACION F/M PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

Se asume:

Caudal: 107,25 m<sup>3</sup>/d (Tabla 10)  
DBO<sub>5</sub>: 800,975 mg/L de O<sub>2</sub> (Tabla 4)  
SSVLM: 3482,5 mg/L (Tabla 9)  
Volumen en servicio del tanque de aireación: 190 m<sup>3</sup>

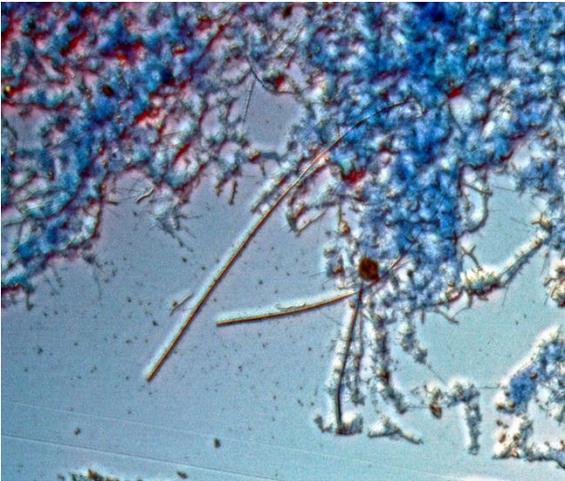
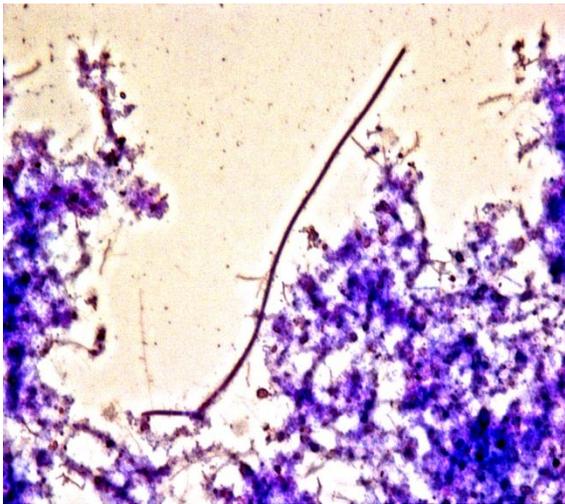
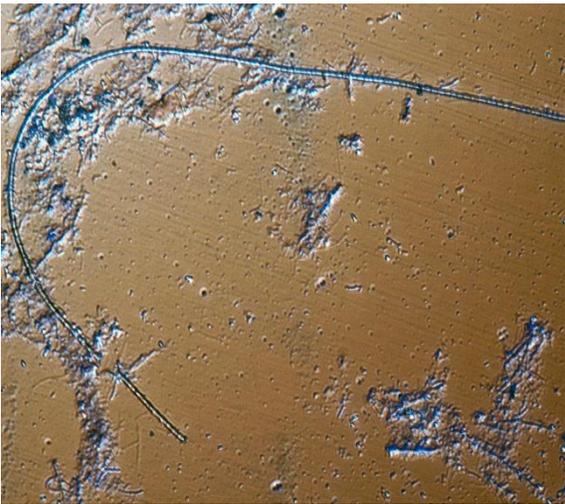
$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times DBO_5}{V \times SSVLM} = \frac{107,25 \times 800,975}{190 \times 3482,5} = 0,13 \frac{Kg\ DBO_5}{Kg\ SSVLM\ x\ d}$$

**Fuente:**Incol LTDA, 1989.

## **Anexos 8**

Microorganismos encontrados en los lodos activados

**Microorganismos filamentosos**

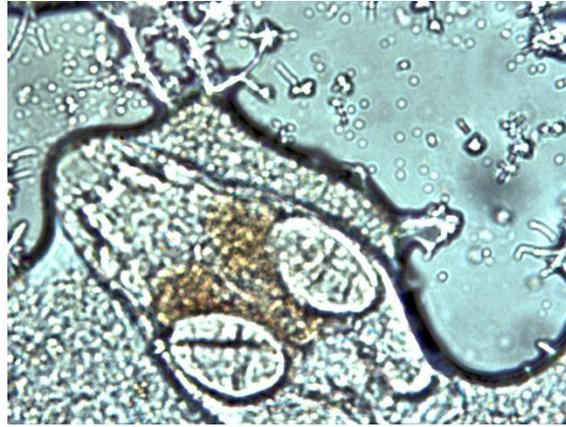


## Amoebas

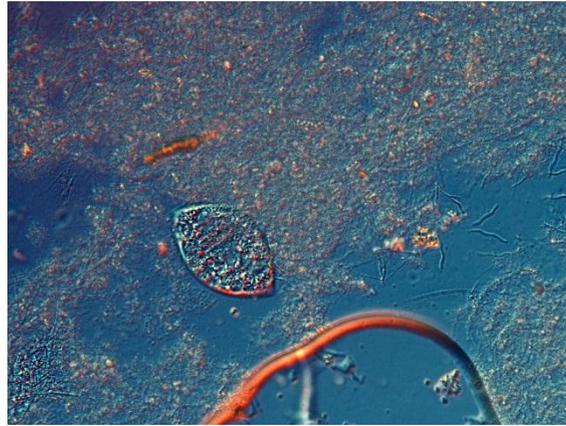


## Ciliados





**Otros microorganismos**



## **Anexo 9**

Glosario de términos

## GLOSARIO

**AFLUENTE:** Agua residual que entra o ingresa al sistema de tratamiento.

**BIOINDICADOR:** (bacteria) Especie que nos entrega información sobre cierta característica del ambiente en el que se encuentran.

**BULKING FILAMENTOSO:** Hinchamiento de los lodos debido al crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos.

**BULKING NO FILAMENTOSO:** Hinchamiento de los lodos debido a microorganismos no filamentosos (ejemplo: zooglea).

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno. Es un parámetro que estima la cantidad de oxígeno que se requiere para que una población de microorganismos en un tiempo dado y a una temperatura dada oxide la materia orgánica biodegradable en una muestra de agua.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno. Es un parámetro que estima la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica o inorgánica presente en una muestra de agua mediante un oxidante fuerte.

**EFLUENTE:** Agua residual que resulta y/o sale del sistema de tratamiento.

**ESPONJAMIENTO DE LODOS:** Abultamiento o hinchamiento de lodos, provocando una mala sedimentabilidad y problemas en su separación del agua residual tratada.

**FLOC:** Conjunto de sustancias orgánicas e inorgánicas que van aglomerándose gracias a la acción de las bacterias presentes en el reactor, y que por su diferencia de densidad con el agua, y su incremento en peso, tiende a sedimentar.

**F/M:** Relación Alimento/Microorganismos; por sus siglas en inglés Food/Microorganisms. Parámetro de control, así como la edad de los lodos, para muchas plantas de tratamiento de aguas residuales de lodos activados.

**HONGOS FILAMENTOSOS:** Microorganismos que crecen en forma de filamentos o cadenas y que se caracterizan por crecer y causar problemas en sistemas de lodos activados con pH bajo.

**ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS:** Se define como el volumen (en mililitros) ocupado por 1 gramo de lodo, después de 30 minutos de sedimentación, en una probeta graduada.

**LAVADO DE UN REACTOR:** Pérdida de biomasa en el efluente, con la consecuente pérdida, de eficiencia del reactor. Entre las causas más comunes está: el bulking filamentoso, el levantamiento del lodo en el sedimentador por burbujas de N<sub>2</sub> gaseoso y caudales pico o tiempos de retención hidráulicos mas bajos de los que soporta el sistema en particular.

**LODO ACTIVADO:** También llamado lodo, fango, biomasa, o licor mixto, se refiere al conjunto de microorganismos encargados del tratamiento del agua residual.

**MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS:** Se refiere a hongos y bacterias caracterizadas por su forma de crecimiento: en forma de cadenas y filamentos. Su abundancia y crecimiento excesivo puede acarrear problemas de Bulking filamentoso. Son deseables en correctas proporciones, por cuanto dan sustento al floc y son buenos consumidores de materia orgánica.

**NUTRIENTES:** Compuestos inorgánicos u orgánicos, minerales o metales en concentraciones trazas. Se pueden dividir en macro (nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), carbono (C), y azufre (S)) y micronutrientes (magnesio (Mg), calcio (Ca), manganeso (Mn), hierro (Fe), entre otros).

**OXÍGENO DISUELTO (OD):** Forma disponible de oxígeno para los microorganismos. Su concentración depende de muchos factores, entre ellos la temperatura, la presión atmosférica, el grado de actividad microbiana, la cantidad de microorganismos, la presencia de compuestos que desplacen el oxígeno (dióxido de carbono y compuestos de azufre), grasas, aceites, detergentes y efectividad en la aireación. El rango óptimo de oxígeno disuelto está entre 1 y 2 mg/L. Por debajo de este rango tiende a favorecerse el crecimiento de microorganismos filamentosos. Por encima del mismo tiende a desperdiciarse energía en aireación.

**pH:** Indica tendencias hacia la acidez o la alcalinidad. El rango óptimo de pH está comprendido entre 7,5 y 8,5 unidades de pH. Valores de pH por debajo de 6,5 pueden favorecer el crecimiento de hongos filamentosos y otros microorganismos favorecedores del bulking. Un pH por encima de 9 unidades de pH puede tener efectos inhibitorios sobre la biomasa.

**SEDIMENTACIÓN:** (decantación) Proceso por el cual las partículas mas pesadas que el agua son removidas por acción de la gravedad.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST):** Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales cuyo tamaño de partícula no pasa el filtro estándar de fibra de vidrio para este parámetro.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (SSV):** Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, capaces de volatilizarse por efecto de la calcinación a 550°C en un tiempo de 20 a 30 minutos.