

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA"**

Presentada por:

**Bisseth Nicole Murillo Carrión**

Trabajo Monográfico para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**LIMA - PERÚ**

**2018**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA"**

Presentada por:

**Bisseth Nicole Murillo Carrión**

Trabajo Profesional para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

---

Ph. D. Sergio Pacsi Valdivia

**PRESIDENTE**

---

Mg. Sc. Victor Miyashiro Kiyon

**MIEMBRO**

---

Dra. Rosemary Vela Cardich

**MIEMBRO**

---

Dra. Rosemary Vela Cardich

**ASESORA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, que me ha dado la fortaleza de continuar a pesar de las dificultades, por su infinito amor y bondad.

De igual forma dedico este trabajo a mis padres Jorge Murillo y Haydee Carrión por haberme forjado como la persona que soy, por sus consejos, paciencia, apoyo incondicional y el sacrificio realizado para llegar a ser una profesional, los admiro y amo mucho.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis profesores Rosemary Vela y Lizardo Visitación, por su apoyo y paciencia para orientarme y dedicar una parte de su tiempo a la revisión de mi trabajo monográfico.

A mis padres por haberse preocupado siempre por mí, por brindarme su apoyo incondicional e impulsarme a seguir adelante.

A mis hermanos Luis, Saeila y Richard por compartir conmigo los momentos más importantes de mi vida.

A mis sobrinos Juan Diego, Luciana, Gianfranco y Micaela por llenar de alegría mi vida.

A mi esposo Manuel por su apoyo y confianza.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo General .....	2
1.1.2. Objetivos Específicos .....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Aguas Residuales.....	3
2.2. Aguas Residuales Industriales.....	4
2.3. Composición de las Aguas Residuales .....	4
2.4. Características de las Aguas Residuales .....	7
2.4.1. Características Físicas .....	8
2.4.2. Características Químicas .....	9
2.4.3. Características Biológicas.....	10
2.5. Criterios para la Selección de una Tecnología de Tratamiento.....	11
2.6. Marco Legal .....	11
2.7. Parámetros utilizados para medir el Grado de Contaminación de las Aguas Residuales.....	13
2.7.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	13
2.7.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	13
2.7.3. Carbono Orgánico Total (COT).....	14
2.7.4. Sólidos en Suspensión (SS) .....	14

2.7.5. Oxígeno Disuelto (OD) .....	14
2.8. Tratamiento de Aguas Residuales .....	14
2.9. Clasificación del Tratamiento de las Aguas Residuales .....	15
2.9.1. Tratamiento Preliminar.....	17
2.9.2. Tratamiento Primario .....	17
2.9.3. Tratamiento Secundario.....	18
2.9.4. Tratamiento Terciario o Avanzado .....	19
2.9.5. Desinfección .....	20
2.9.6. Manejo de Lodos.....	20
2.10. Tecnologías Aerobias para el Tratamiento de las Aguas Residuales .....	22
2.10.1. Sistemas de Lagunas .....	22
2.10.2. Sistemas de Discos Biológicos .....	22
2.10.3. Filtro Sumergido Aerobio.....	23
2.10.4. Reactor Aerobio Acoplado a Membranas .....	23
2.11. Tecnologías Anaerobias para el Tratamiento de las Aguas Residuales .....	25
2.11.1. Tanque Séptico.....	25
2.11.2. Tanque Imhoff.....	25
2.11.3. Lagunas Anaerobias .....	25
2.11.4. Tecnología de los Lodos Activados .....	26
2.12. Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales .....	27
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
3.1. Materiales .....	29
3.2. Metodología.....	29
3.3. Descripción del Proceso Productivo .....	29
3.3.1. Molienda Húmeda.....	30
3.3.2. Almidón Nativo.....	30
3.3.3. Almidones Modificados .....	30
3.3.4. Almidón Ácido Modificado Acetilado ó DEMCROS MOD .....	30
3.3.5. Almidón Modificado Catiónico - DEMCAT.....	31

3.3.6.	Almidón Modificado Fosfatado ó Acetilado ó DEMCROS FA.....	31
3.3.7.	Almidón Modificado Oxidado - Oxidado .....	31
3.3.8.	Refinación de Glucosa.....	31
3.3.9.	Color Caramelo .....	31
3.3.10.	Extracción de Aceite .....	32
3.3.11.	Refinación de Aceite .....	32
3.3.12.	Gluten de Maíz.....	32
3.3.13.	Mezclas Especiales.....	32
3.4.	Descripción del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales	
	Industriales .....	34
3.5.	Unidades del Proceso de Tratamiento .....	34
3.5.1.	Poza de Recepción .....	35
3.5.2.	Poza de Sedimentación.....	35
3.5.3.	Poza de Ecuilización.....	36
3.5.4.	Poza Pulmón .....	36
3.5.5.	Poza de Aireación.....	37
3.5.6.	Sedimentador Secundario o Decantador.....	38
3.5.7.	Poza de Desinfección del Efluente .....	39
3.5.8.	Sistema de Concentración de Lodos (TAR 6.2) .....	40
3.6.	Características de los Efluentes Industriales por Procesos .....	40
3.7.	Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales ...	59
3.7.1.	Parámetros Operacionales.....	59
3.7.2.	Parámetros de Control .....	60
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>66</b>
4.1.	Comportamiento del Caudal del Afluente.....	73
4.2.	Comportamiento de la DQO del Afluente.....	74
4.3.	Comportamiento de la DQO en el Tratamiento Primario .....	76
4.4.	Comportamiento de la DBO <sub>5</sub> en el Tratamiento Primario .....	78
4.5.	Comportamiento de la DQO a la Salida del Decantador Secundario .....	81
4.6.	Comportamiento de los SSV en el Reactor Biológico.....	82

V.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
VI.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
VII.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>88</b>
VIII.	<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Tipos de Aguas Residuales.....	3
Tabla N°2: Composición de algunas Aguas Residuales de la Industria Alimentaria .....	5
Tabla N°3: Principales Constituyentes de la Aguas Residuales.....	6
Tabla N°4: Normas Nacionales Vigentes de Aguas Residuales.....	12
Tabla N°5: Características de Lodos generados en una Planta de Tratamiento .....	21
Tabla N°6: Etapas de Tratamiento de las Aguas Residuales.....	24
Tabla N°7: Procesos de Tratamiento Avanzado y Eficiencias de Remoción.....	27
Tabla N°8: Eficiencias de Remoción de los Sistemas de Tratamiento .....	28
Tabla N°9: Parámetros de Diseño de la Planta de Tratamiento de fábrica de producción..... de Almidones .....	34
Tabla N°10: Esquema del Proceso de Tratamiento de Lodos Activados de fábrica de..... producción de almidones .....	41
Tabla N°11: Resultados de Operación de Planta de Tratamiento de Lodos Activados de fábrica de almidones .....	68
Tabla N°12: Tiempo de Retención Hidráulica en cada unidad de la Planta de Tratamiento..... de Aguas Residuales Industriales de Lodos Activados de fábrica de almidones	70
Tabla N°13: Parámetros de Operación de Reactor Biológico .....	71
Tabla N°14: Eficiencia de Remoción de Carga Orgánica en el Reactor Biológico de la..... Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales .....	71
Tabla N°15: Comparación de la Eficiencia Obtenida en el Sistemas de Tratamiento de..... Lodos Activados de la fábrica de producción de almidones y las tecnologías..... disponibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Industriales .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Esquema Conceptual de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales...	15
Figura N°2: Esquema de Clasificación de los Procesos para el Tratamiento de las..... Aguas Residuales .....	16
Figura N°3: Flujo de Procesos de Molienda Húmeda.....	33
Figura N°4: Poza de Recepción.....	35
Figura N°5: Poza de Sedimentación Primaria de tres cámaras .....	35
Figura N°6: Poza de Ecuación .....	36
Figura N°7: Poza de Ecuación .....	36
Figura N°8: Poza Pulmón .....	37
Figura N°9: Poza Pulmón .....	37
Figura N°10: Poza de Aireación.....	38
Figura N°11: Poza de Aireación.....	38
Figura N°12: Poza de Sedimentación Secundaria .....	39
Figura N°13: Poza de Desinfección.....	39
Figura N°14: Sistema DAF y cuchara de recolección de lodos .....	40
Figura N°15: Proceso de Evaporador de Agua de Cocimiento .....	42
Figura N°16: Proceso de Molienda Húmeda.....	43
Figura N°17: Proceso de Agua de Lavado de la Centrifuga .....	44
Figura N°18: Proceso de Dorclones.....	45
Figura N°19: Proceso de Merco de Gluten .....	46
Figura N°20: Proceso de Refinería de Aceite.....	47
Figura N°21: Proceso de Torre de Enfriamiento de Refinería de Aceite.....	48
Figura N°22: Proceso de Almidones Modificados ó TEX.....	49
Figura N°23: Proceso de Almidones Modificados - APRE.....	50
Figura N°24: Proceso de Almidones Modificados - DCROS .....	51
Figura N°25: Proceso de Almidones Modificados - DCAT .....	52
Figura N°26: Proceso de Almidones Modificados - OXI.....	53
Figura N°27: Proceso de Refinería de Glucosa.....	54
Figura N°28: Proceso de Lavado de Prensa ó Refinería de Glucosa.....	55
Figura N°29: Proceso de Jarabe Invertido.....	56
Figura N°30: Proceso de Color Caramelo.....	57

Figura N°31: Proceso de Parada de Planta.....	58
Figura N°32: Registro del Caudal Afluyente .....	73
Figura N°33: Registro del Caudal Afluyente ó Histograma .....	74
Figura N°34: Registro de la DQO del Afluyente .....	75
Figura N°35: Registro de la DQO del Afluyente - Histograma .....	75
Figura N°36: Registro de la DQO del Pozo Ecuilizador.....	76
Figura N°37: Registro de la DQO del Pozo Ecuilizador - Histograma.....	77
Figura N°38: Registro de la DQO del Pozo Pulmón .....	77
Figura N°39: Registro de la DQO del Pozo Pulmón - Histograma .....	78
Figura N°40: Registro de la DBO <sub>5</sub> del Pozo Ecuilizador.....	79
Figura N°41: Registro de la DBO <sub>5</sub> del Pozo Pulmón .....	79
Figura N°42: Registro de la DBO <sub>5</sub> del Pozo Ecuilizador - Histograma.....	80
Figura N°43: Registro de la DBO <sub>5</sub> del Pozo Pulmón - Histograma .....	81
Figura N°44: Registro de la DQO a la Salida del Decantador .....	81
Figura N°45: Registro de SSV en el Reactor Biológico .....	92

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: LMP, VMA Y ECA AGUA.....	90
Anexo N°2: Formato de Reporte Diario de la Planta de Tratamiento de Aguas.....	
Residuales.....	92
Anexo N°3: Control Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	
de Lodos Activados.....	93

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación denominado evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria tiene como objetivo evaluar el sistema de tratamiento existente en una industria procesadora de almidón.

De los monitoreos realizados entre los años 2012 y 2016 en la planta de tratamiento de aguas residuales, se evaluaron los parámetros de DBO5, DQO, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, pH que permitieron establecer la eficiencia de remoción de materia orgánica y se comparó con la eficiencia de remoción teórica que se obtienen con otras alternativas de tratamiento.

Se concluye que la tecnología de lodos activados de la planta de tratamiento de agua residuales utilizada en la fábrica de producción de almidones a pesar de tener una eficiencia de remoción por encima del 97% debe ser complementado con un tratamiento anaerobio debido a las altas cargas orgánicas de sus afluentes.

**Palabras Clave:** Lodos Activados, afluente, efluente, DBO5, DQO, eficiencia de remoción.

## **SUMMARY**

The purpose of this research work called evaluation of the wastewater treatment system in the food industry is to evaluate the existing treatment system in a starch processing industry. From the monitoring carried out between 2012 and 2016 in the wastewater treatment plant, the parameters of BOD5, COD, Sedimentable Solids, Total Suspended Solids, pH that allowed to establish the efficiency of removal of organic matter were evaluated and compared with the theoretical removal efficiency obtained with other treatment alternatives. It is concluded that the technology of activated sludge from the wastewater treatment plant used in the starch production factory despite having a removal efficiency above 97% must be complemented with an anaerobic treatment due to the high organic loads of its tributaries.

**Keywords:** Activated sludge, effluent, effluent, BOD5, COD, removal efficiency.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes y fundamentales para nuestra vida y para el desarrollo de todas nuestras actividades. Con el crecimiento de la población dada en los últimos años y el auge del desarrollo industrial, se ha incrementado su consumo y la generación de efluentes domésticos e industriales; acentuándose la contaminación de la mayoría de las fuentes de agua disponibles. Esto debido al manejo inadecuado de las aguas residuales de origen urbano e industrial que son depositados en los cuerpos de agua con altas concentraciones de compuestos contaminantes que afectan la salud pública y el medio ambiente.

Esta situación ha llevado a desarrollar diversas tecnologías de tratamiento para tratar las aguas residuales industriales teniendo como principal objetivo el reducir las cargas contaminantes presentes en el agua y llevarlas a concentraciones aceptables para su vertimiento en un cuerpo receptor o a la red de alcantarillado cumpliendo así con los estándares establecidos por la ley nacional, los cuáles serán supervisados por entidades reguladoras, para asegurar el cumplimiento de las normas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales industriales generadas por la empresa privada.

El tratamiento de las aguas residuales incorpora procesos físicos, químicos y biológicos con la finalidad de remover los contaminantes presentes en las aguas residuales.

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales generadas en la industria alimentaria es obtener un efluente final de buena calidad de acuerdo a su disposición final.

La fábrica procesadora de almidones cuenta con un sistema de lodos activados construida en el año 2004, que debido al incremento de la producción de los últimos años el sistema está resultando insuficiente para el tratamiento de las aguas residuales industriales que se generan con elevadas cargas orgánicas, se encuentran al límite de los parámetros de diseño, generando altas cantidades de lodo y mayor consumo de energía, incrementando así los costos de operación de la planta de tratamiento.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo General

Evaluar el tratamiento de aguas residuales industriales en una planta de tratamiento de una industria procesadora de almidones.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Describir el proceso de tratamiento experimental en la industria procesadora de almidón.
- Comparar la eficiencia del sistema de tratamiento experimental con la eficiencia teórica de las tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales.
- Evaluar el comportamiento temporal de los parámetros de control del efluente tratado en el sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria procesadora de almidón.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Aguas Residuales

Las Aguas residuales son aguas cuya calidad original ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes por lo requieren de un tratamiento previo para su vertimiento a un cuerpo natural de agua o descargada al sistema de alcantarillado.

Existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales dependerá de su origen, en el Tabla N°1 se detallan los siete tipos de aguas residuales, su definición y características.

**Tabla N°1: Tipos de Aguas Residuales**

Tipo de Agua Residual	Definición	Características
Domestica	Producido en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones.
Municipal	Son las transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población.	Contiene materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
Agua residual industrial	Las resultantes de las descargas de industrias	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos Industriales.
Agua Negra	Contiene orina y heces	Alto contenidos de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos.

.... Continuación.

Agua Amarilla	Es la orina transportada con o sin agua.	Alto contenido de nutrientes, productos farmacéuticos, hormonas y alta concentración de sales.
Agua Café	Agua con pequeña cantidad de heces y de orina	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos.
Agua Gris	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras	Tiene pocos nutrientes y agentes patógenos y, por el contrario presentan máxima carga de productos para el cuidado personal y detergentes.

---

FUENTE: (ROMERO R, 2000)

## 2.2. Aguas Residuales Industriales

Las aguas residuales son el resultado de las actividades industriales y procesos asociados que emplean agua como parte fundamental de sus procesos de fabricación, donde sus características dependerán del tipo de industrias que la generan, las cuales incorporarán diferentes contaminantes ya que cada tipo de industria va a constituir un caso especial debido a sus procesos e insumos que emplee, y esto se da ya que a pesar de ser efluentes generados del mismo tipo de industria, hay mucha variabilidad en sus procesos por lo que resulta complejo hacer una caracterización por sectores.

## 2.3. Composición de las Aguas Residuales

La composición de las aguas residuales es muy variable y estas dependerán del tipo de industria que la genere, pudiendo recibir sales inorgánicas, metales pesados, detergentes, jabones, materia orgánica, etc., algunos de los cuales pueden ser transformados en este medio

líquido por la acción de microorganismos, por reacciones bioquímicas y también por reacciones químicas.

Los vertidos generados por el sector alimentario y agroalimentario se caracterizan en general por una elevada carga orgánica biodegradable, un contenido moderado de sólidos en suspensión y la escasa o nula presencia de contaminantes tóxicos y/o peligrosos. La cantidad de materia orgánica que aportan los distintos sectores es extremadamente variada, estando además condiciona en cada sector por la materia prima y el proceso productivo que se aplique.

En el Tabla N°2, se muestra como varia la composición de los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos en Suspensión y el pH en aguas residuales dependiendo del tipo de industria alimentaría que la genera.

**Tabla N°2: Composición de algunas aguas residuales de la industria alimentaria**

<b>Industria</b>	<b>DBO<sub>5</sub> ( mg/l)</b>	<b>DQO ( mg/l)</b>	<b>Sólidos en Suspensión (mg/l)</b>	<b>pH</b>
Cervecerías	850	1,700	90	4 - 6
Destilerías	7,000	10,000	Bajo	-
Procesamiento de Leche	600 ó 1,000	150 ó 250	200 - 400	Ácido
Enlatadoras (cítricos)	2,000	-	-	Ácido
Mataderos y Frigoríficos	1,500 ó 2,500	200 ó 400	800	7
Desechos Agrícolas	1,000- 2,000	500 ó 1,000	1,500 ó 3,000	7.5 ó 8.5
Procesamiento de Aves	500 - 800	600 ó 1,050	450 - 800	6.5 - 9

FUENTE: CEPIS (2002).

En el Tabla N°3 se presentan los principales constituyentes que se deben eliminar de las aguas residuales industriales que generan las diversas industrias.

**Tabla N°3: Principales constituyentes de las aguas residuales**

CONTAMINANTES	IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Forman depósitos de lodo y favorecen las condiciones anaerobias cuando son descargados a los ecosistemas.
Materia orgánica	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general, se miden en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento a un cuerpo de agua, reduce en este el oxígeno disuelto y desarrolla condiciones anaerobias.
Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto al carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados en los cuerpos de agua generan crecimiento excesivo de algas y condiciones anaerobias.
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos que causan alteraciones genéticas, mutaciones, además son cancerígenos.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de las aguas residuales, Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Se encuentran en las aguas residuales provenientes de industrias, pueden ser removidos y reutilizados.

í ..Continuación.

Compuestos orgánicos disueltos	El calcio, sodio y sulfato, son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ligeramente alta comparada con el agua de beber</li><li>• Variación acorde al año (estaciones)</li><li>• Influye en la actividad microbiana</li><li>• Influye en la solubilidad de los gases</li><li>• Influye en la viscosidad</li></ul>
Color	Aguas frescas: ligeramente gris Aguas sépticas: gris oscuro o negro

---

FUENTE: Ingeniería de Aguas Residuales de METCALF & EDDY (2003)

#### 2.4. Características de las Aguas Residuales

Para seleccionar la tecnología adecuada para el tratamiento que recibirán las aguas residuales de una actividad industrial, es esencial conocer las características físicas, químicas y biológicas de las mismas ya que de acuerdo a esto se seleccionará el tipo de tecnología acorde a la composición del agua residual y a la calidad final que se desea obtener en el tratamiento.

Debemos tener claro que no todas las aguas residuales son iguales, los componentes de las mismas son diferentes de acuerdo al uso que hayan tenido.

Existen tres características fundamentales que nos ayudarán en el estudio para la depuración de aguas residuales, estas características son:

- Físicas,
- Químicas y,
- Biológicas

Para el análisis de las aguas residuales existen métodos cuantitativos, los que sirven para determinar la composición química del agua residual, entre estos métodos cuantitativos se puede citar el físico-químico, gravimétrico y volumétrico, así mismo existen métodos cualitativos, los mismos que sirven para conocer sus características físicas y biológicas.

El agua residual en general consta de diversos contaminantes, los cuales tienen diferentes características. A continuación, se describen las principales características.

#### 2.4.1. Características Físicas

Entre las principales características físicas presentes en el agua residual está la cantidad de sólidos presentes (suspendidos, sedimentables, disueltos), olor, temperatura, color, turbidez y densidad.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Las aguas residuales contienen sólidos suspendidos y disueltos (minerales y orgánicos). Para medirlos, se toma una muestra de agua residual y se pasa a través de un filtro de fibra de vidrio con poros de un diámetro de una micra y luego se lleva a secar a una temperatura de entre 105-130 °C. Para determinar los SST se hace por diferencia de peso entre peso de filtro más la muestra seca y el peso del filtro inicial sin muestra. Los valores de SST se muestran en ppm (mg de sólidos por litro de agua).
- **Sólidos Disueltos Totales (SDT):** Su biodegradación es difícil y lleva mucho tiempo. Son tóxicos para los microorganismos, plaguicidas, residuos industriales, celulosa, fenol, etc. Las fuentes primarias de SDT son la industria siderúrgica, la fabricación farmacéutica, las operaciones mineras, la extracción de petróleo y gas, las centrales eléctricas, los vertederos y las instalaciones de procesamiento de alimentos.
- **Olor:** El olor de las aguas residuales es el resultado de los gases que se liberan cuando la materia orgánica se descompone. El olor de las aguas residuales frescas puede tolerarse mejor que el olor de las aguas residuales viejas esto se debe a que estas últimas contienen principalmente sulfuro de hidrógeno, generado por la actividad de bacterias anaerobias. Si las aguas residuales reciben suficiente aire y oxígeno, las bacterias anaerobias detienen su actividad y las bacterias aerobias asumen la descomposición de la materia orgánica en las aguas residuales. El gas más importante generado por la actividad de las bacterias aerobias

es el dióxido de carbono. Por lo tanto, si se inyecta suficiente cantidad de oxígeno en las aguas residuales, se vuelven inodoras.

- **Temperatura:** La temperatura en las aguas residuales es un factor muy importante, que se ve afectado por las actividades biológicas que se den en las aguas residuales, por lo general es más elevada a la temperatura del ambiente, dependiendo de la geografía del sitio la temperatura de las aguas residuales varía entre 10°C a 20°C.
- **Color:** El color de las aguas residuales indican su edad. Las aguas residuales frescas son grises, pero, después de algún tiempo, se vuelven oscuras y negras cuando los materiales orgánicos que contiene se descomponen.
- **Turbidez:** La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión, finamente divididas: arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas, entre otras.

#### 2.4.2. Características Químicas

Las características químicas que las aguas residuales pueden presentarse detallan a continuación.

- **Materia Orgánica Biodegradable:** La materia orgánica biodegradable incluye proteínas, azúcares y grasas. Las proteínas forman la mayoría de estas sustancias con aproximadamente el 65%, y la cantidad más baja de estas materias es la grasa de aproximadamente el 10%. Si las aguas residuales contienen sustancias orgánicas causan el consumo del oxígeno disuelto y crean una situación indeseable. Para medir la concentración de sustancias orgánicas biodegradables en el agua residual se utilizan algunos parámetros como la DQO, DBO<sub>5</sub> y el COT.
- **Materia Orgánica No Biodegradable:** Algunos materiales orgánicos son compuestos orgánicos no biodegradables o casi biodegradables con alta toxicidad.
- **Materia Inorgánica:** Debido a que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos que se le dé al agua, se recomienda examinar la naturaleza de alguno de ellos.

- **Nutrientes:** Las aguas residuales contienen nitrógeno y fósforo de desechos humanos, alimentos y detergentes. La alta concentración de nitrógeno y fósforo en el medio acuático causa la eutrofización, que degrada la calidad del agua y mata a los animales acuáticos.

El nitrógeno, recibe el nombre de bioestimulante y es básico para la síntesis de proteínas, su contenido total está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito, nitrato; y el fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos.

- **Grado de Acidez:** El grado de acidez de las aguas residuales dependerá de las actividades industriales que lo generen y del proceso de putrefacción que se pueda presentar, en este último caso se producen los gases ácidos y el valor del pH de las aguas residuales disminuye hasta volverse ácido. Cuanta más alta sea la temperatura del medio ambiente, más pronto se iniciará el proceso de putrefacción. Bajo condiciones relativamente normales, la putrefacción comienza de 3 a 4 horas después de generada el agua residual.

- **Metales pesados:** Los metales pesados más tóxicos en las aguas residuales son el arsénico, el plomo, el mercurio, el cadmio, el cromo, el cobre, el níquel y el zinc. Debido a la alta solubilidad de los metales pesados en los ambientes acuáticos, los metales pesados pueden ser absorbidos por los organismos vivos. Cuando entran en la cadena alimenticia, los metales pesados pueden acumularse en el cuerpo humano. Si los metales entran en el cuerpo humano más allá de la concentración permitida, pueden causar serios problemas de salud tales como problemas de aprendizaje, cáncer e incluso la muerte.

#### 2.4.3. Características Biológicas

Se tomará conocimientos de los principales grupos de microorganismos biológicos y organismos patógenos presentes en las aguas residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.

- **Patógenos:** Incluye bacterias, virus, protozoos y helmintos, su existencia en las aguas residuales causa enfermedades contagiosas. Debido a la diferencia en las condiciones de salud de las personas que viven en países industrializados y en desarrollo, el contenido de patógenos es notablemente diferente y por lo tanto las opciones de tratamiento adecuadas también son diferentes. La eliminación de helmintos huevos, bacterias y virus es

comúnmente alcanzado por pozas de estabilización de aguas residuales y otros procesos naturales de tratamiento. Sin embargo, cuando se utilizan procedimientos más convencionales o intensivos en energía (por ejemplo, lodos activados), generalmente se requieren métodos de desinfección tales como cloración, ozonización y radiación UV para la inactivación de patógenos.

## 2.5. Criterios para la Selección de una Tecnología de Tratamiento

La finalidad de tratar las aguas residuales es lograr separar del líquido los constituyentes indeseables, o la alteración de sus propiedades físico, químicas o biológicas con la finalidad de alcanzar niveles aceptables con los límites de descarga a un cuerpo receptor, a la red de alcantarillado o por el tipo de reutilización que se destinará. En la mayoría de los casos, los constituyentes son separados en forma de sólidos, por lo que los procesos de tratamiento y disposición de lodos son de suma importancia dado que son parte significativa de los costos iniciales y de operación de las plantas de tratamiento.

En la actualidad se cuenta con una serie de alternativas de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, la selección de la alternativa más adecuada se determinará a partir de los siguientes criterios:

- **Calidad del Agua Residual:** Se determinará a partir de una caracterización del agua residual para así evaluar las características físicas, químicas y biológicas.
- **Variabilidad de la descarga:** Se determinará teniendo en cuenta los máximos y mínimos caudales registrados.
- **Grado de Tratamiento o Calidad Final del Agua a Tratar:** La mayoría de procesos de tratamiento son factibles de ser diseñados para diversos grados de efectividad, lo que dependerá del punto de descarga, si será a un cuerpo receptor natural, al sistema de alcantarillado o si se reutilizara.

## 2.6. Marco Legal

En el Perú la gestión de los recursos hídricos está regulado por la ley de recursos hídricos, Ley N° 29338 donde se establece en el artículo N°2 que todas las aguas sin excepción alguna, son de propiedad del Estado y su dominio es inalienable e imprescriptible y que no hay

propiedad privada de las aguas ni derechos adquiridos sobre ellas, también se establece que por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares y que la concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.

En el Tabla N° 4, se detallan las principales normas vigentes en nuestro país, referidas a la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla N°4: Normas Nacionales Vigentes de Aguas Residuales**

Norma	Descripción
R.J. N°224-2013- ANA	Nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas, disposiciones y modificaciones.
D.S. N°021-2009-VIVIENDA Y D.S. N°003-2011-VIVIENDA	Decreto de aprobación de los valores máximos admisibles (VMA) para la descarga al alcantarillado público y su reglamento.
D.S. N°003-2010-MINAM	Definición de los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales.
Reglamento nacional de edificaciones, NORMA OS.090	Planta de tratamiento de aguas residuales. Define estándares de diseño para diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales.
D.S. N.º 022-2009-VIVIENDA MODIFICA NORMA OS.090	Incorpora el tratamiento preliminar avanzado y el emisor submarino con vertimiento al mar.
D.S. N.º 002-2008-MINAM	Aprueban los estándares de calidad ambiental para agua (ECA AGUA).

FUENTE: Elaboración propia

Las normas que establecen los parámetros de control dependerán del tipo de Industria a la que pertenecen y de la entidad gubernamental fiscalizadora, en el Anexo 1 se muestra los parámetros establecidos en los ECAØ, LMP y los VMA, donde los dos primeros corresponden a vertimiento del agua tratada a un cuerpo receptor natural y el tercero al vertimiento a la red de alcantarillado.

## 2.7. Parámetros utilizados para medir el Grado de Contaminación de las Aguas Residuales

### 2.7.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

La DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los organismos biológicos aeróbicos para descomponer el material orgánico presente en una muestra de agua dada a cierta temperatura durante un período de 5 días. Entre los organismos vivos en las aguas residuales hay dos grupos de bacterias que ayudan en las plantas de tratamiento de agua. El primer grupo son las bacterias aerobias que absorben el oxígeno disuelto en las aguas residuales y oxidan los materiales orgánicos y los convierten en compuestos minerales estables. En estas interacciones se produce el gas CO<sub>2</sub> y aumenta el número de bacterias. El segundo grupo son bacterias anaeróbicas que obtienen el oxígeno requerido por la descomposición de las sales en las aguas residuales. En estas interacciones se produce ácido sulfúrico y metano, por lo tanto, se acompaña de hedor.

### 2.7.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad total de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica biodegradable y no biodegradable. En este método se utiliza un producto químico oxidante fuerte como permanganato de potasio o dicromato de potasio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua en condiciones ácidas. La DQO es un parámetro importante de la calidad del agua porque, al igual que la DBO, proporciona un índice para mostrar si las aguas residuales descargadas tendrán un efecto sobre el medio receptor o no. Los niveles más altos de DQO significan una mayor cantidad de material orgánico en las aguas residuales, lo que reducirá los niveles de oxígeno disuelto. Una reducción del oxígeno disuelto puede conducir a condiciones anaeróbicas, lo cual es peligroso para las formas de vida acuática. La prueba de la DQO se utiliza a menudo como una alternativa a la DBO debido a la menor duración del tiempo de prueba. Pero se debe considerar que, dependiendo

del tipo de oxidante, tal vez todas las materias orgánicas, especialmente detergentes y jabones en las aguas residuales, no se oxidan completamente con este método y por lo tanto la exactitud de este método es baja.

#### 2.7.3. Carbono Orgánico Total (COT)

En este método, los compuestos orgánicos que contienen carbono en el agua residual se miden y se usan a menudo como un indicador no específico de la calidad del agua. Esto requiere la conversión de material carbonoso en CO<sub>2</sub> usando calor, radiación ultravioleta, oxidación química y luego se mide el CO<sub>2</sub> producido.

#### 2.7.4. Sólidos en Suspensión (SS)

Los sólidos suspendidos forman parte de los materiales externos totales en las aguas residuales, cuya cantidad de medición es importante para predecir la cantidad de lodo en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Los sólidos suspendidos en las aguas residuales son sedimentables o no sedimentables.

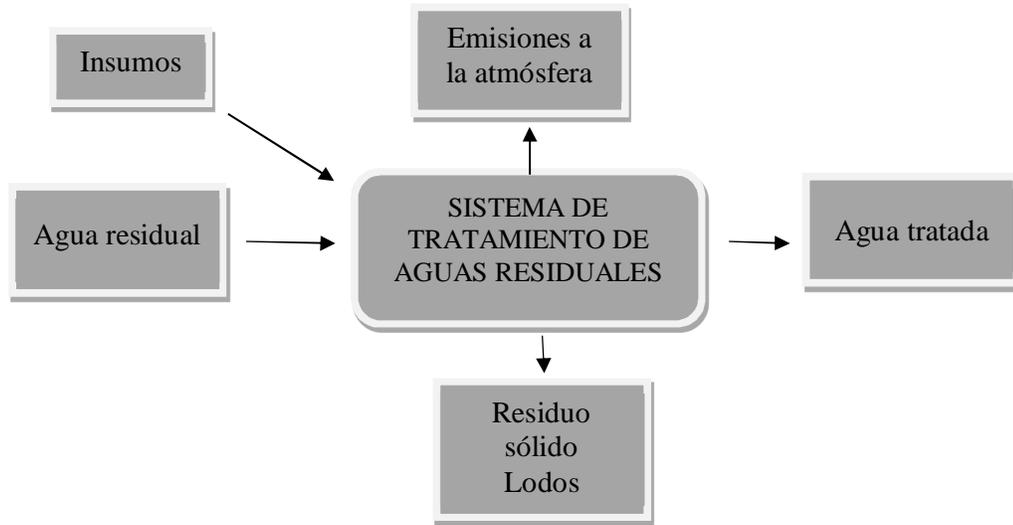
#### 2.7.5. Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en las aguas residuales provoca actividades de bacterias aeróbicas y previene las actividades de las bacterias anaerobias; por lo tanto, evita producir olores desagradables. Por lo tanto, la cantidad de oxígeno disuelto en las aguas residuales no debe caer por debajo de 1,5 mg/lt. Esto es muy importante en los tanques de aireación de aguas residuales.

### 2.8. Tratamiento de las Aguas Residuales

Un sistema de tratamiento de aguas residuales cumple con el esquema conceptual que se presenta en la Figura 1, donde el objetivo de depurar el agua residual se logra mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, que serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Dependiendo de ello, es posible generar emisiones gaseosas a la atmósfera e, invariablemente, la producción de material de desecho que puede ser un residuo sólido, o semisólidos en forma de lodos. El requerimiento de insumos tales como energía

eléctrica y reactivos químicos, se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento.

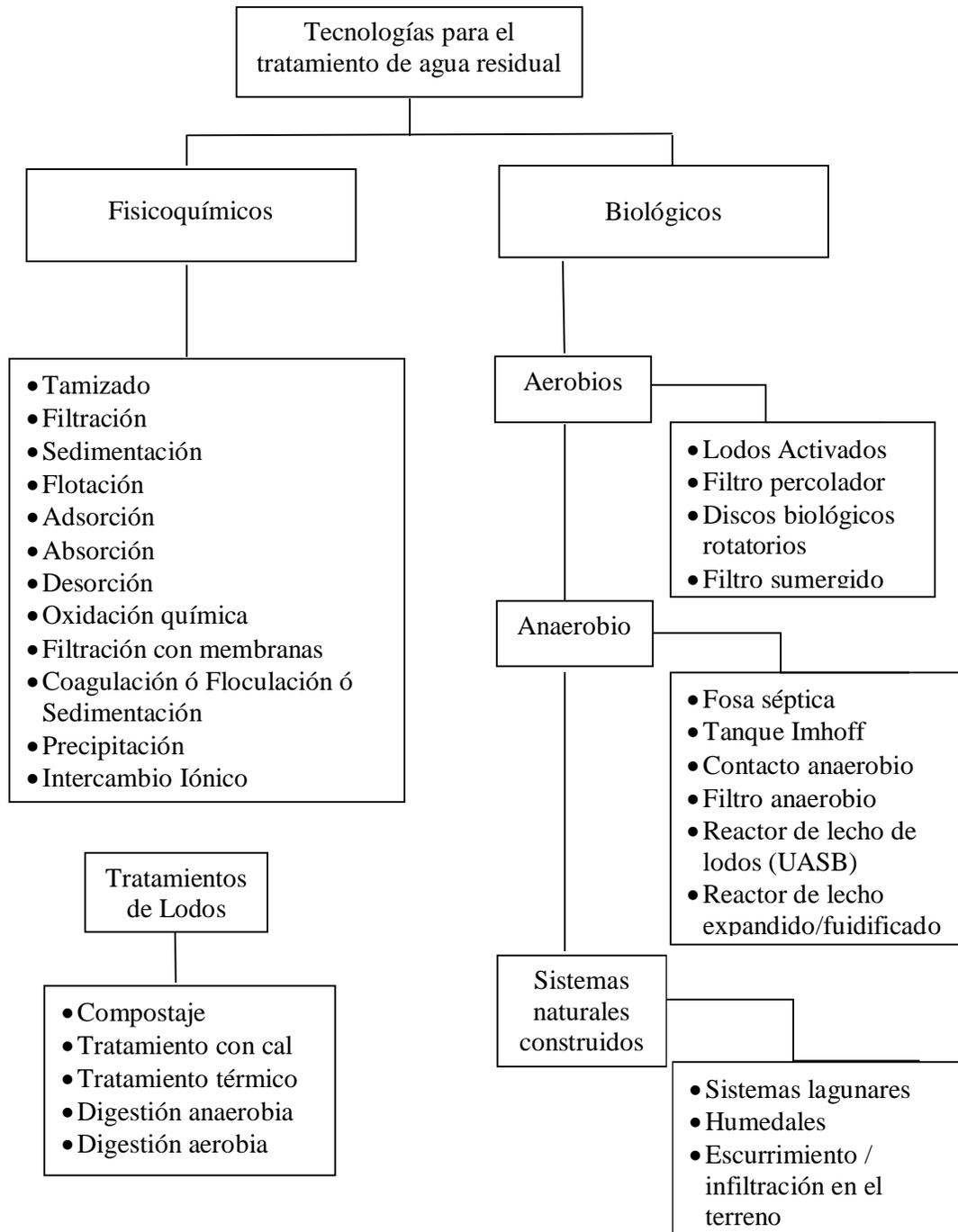


**Figura 1: Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales**

En la figura 2 se muestra un esquema con las tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales. En esta figura se pueden diferenciar dos grandes grupos, en el primer grupo están los tratamientos fisicoquímicos, los cuales hacen uso de procesos físicos y procesos químicos y en el segundo grupo están los tratamientos biológicos, que involucran la degradación o transformación del material orgánico por medio de microorganismos.

## 2.9. Clasificación del Tratamiento de las Aguas Residuales

Los niveles de tratamiento se clasifican en etapas de tratamiento, que comprenden: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento avanzado o terciario, desinfección y disposición de lodos.



**Figura 2: Esquema de clasificación de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales**

FUENTE: Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales Municipales, Universidad autónoma de México (2013)

### 2.9.1. Tratamiento Preliminar

El tratamiento preliminar se utiliza para la eliminación de los sólidos flotantes de gran y mediano volumen, que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento. El tratamiento se efectúa por medio de rejillas, desarenadores, flotadores o desgrasadores.

En esta etapa también se incluye la medición y regulación del caudal afluente de la planta de tratamiento. Es importante que las plantas de tratamiento estén diseñadas para tratar un volumen de agua con máximos y mínimos, por lo que deben instalarse sistemas de regulación para asegurar que el caudal que ingrese al sistema de tratamiento sea uniforme.

En algunos casos se incluye en esta etapa la pre aireación, cuya función será la eliminación de los compuestos volátiles presentes en el agua residual, que se caracterizan por generar malos olores, y el aumento del contenido de oxígeno en el agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

### 2.9.2. Tratamiento Primario

En esta etapa una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual por medios físicos o mecánico. En esta etapa también se logrará remover una fracción importante de la carga orgánica que puede representar entre el 25% y el 40% de la  $DBO_5$  y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario.

Entre las tecnologías de tratamiento primario tenemos:

- Sedimentación primaria
- Flotación
- Precipitación química
- Filtros gruesos
- Oxidación química

- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

### 2.9.3. Tratamiento Secundario

En esta etapa se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción. Esta etapa se da luego de ser acondicionadas las aguas residuales por un tratamiento primario.

En esta etapa los contaminantes presentes en las aguas residuales son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

En este proceso se convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta por las células microbianas, en sólidos sedimentables que forman flóculos, los cuales son separados normalmente por sedimentación.

Los procesos biológicos que se pueden desarrollar se dividen en dos grupos; los anaerobios y los aerobios. El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana, es decir, una baja producción de lodos. Y el proceso aerobio utiliza para la síntesis celular una mayor cantidad de energía del sustrato, por lo que hay una mayor generación de biomasa como lodo no estabilizado, cuyo tratamiento y disposición final incrementa los costos de tratamiento.

La tecnología de tratamiento más utilizado son los lodos activados y los filtros percoladores. En la actualidad son muchas las modificaciones que se han realizado a estos procesos que son utilizados para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y lagunas aireadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico.

Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia de remoción de la  $DBO_5$  entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

a) Filtración biológica:

- Baja capacidad: Filtros clásicos.
- Alta capacidad: Filtros comunes, Biofiltros, Aero-filtros y Accelo-filtros.

b) Lodos activados:

- Convencional
- Alta capacidad
- Contacto de estabilización
- Aeración prolongada

c) Lagunas:

- Estabilización: Aerobia, Facultativa y Maduración.
- Aireada: Mezcla completa, Aireada facultativa, Facultativa con aeración mecánica y Difusión de aire.

d) Otros:

- Anaeróbicos: Contacto, filtro anaerobio, reactor anaeróbico de flujo ascendente.
- Oxígeno puro: Unox / linde.
- Discos rotatorios.

#### 2.9.4. Tratamiento Terciario o Avanzado

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el objetivo de complementarlo y eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable.

Las sustancias o compuestos comúnmente removidos en esta etapa son:

- Fosfatos y nitratos.
- Huevos y quistes de parásitos.
- Sustancias tenso activas.
- Algas.
- Bacterias y virus (desinfección).
- Sólidos totales y disueltos.

Los procesos de tratamiento de esta categoría están conformados por procesos físicos, químicos y biológicos.

#### 2.9.5. Desinfección

En esta etapa se busca reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro.

#### 2.9.6. Manejo de Lodos

La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante que debemos considerar para una buena elección de una tecnología de tratamiento.

En las plantas de tratamiento los contaminantes se transforman en lodo, que varían según el tipo de planta. Los lodos que provienen de la sedimentación primaria representan entre el 0.22% y el 0.93% del volumen de agua residual y el contenido de sólidos volátiles esta entre el 63% al 83%, y se denominan lodos primarios.

Los lodos provenientes de la sedimentación secundaria, varían en función de los procesos y se denominan lodos secundarios. Los lodos resultantes de los filtros percoladores muestran

un rendimiento de 0.08% a 0.10% del caudal tratado y el contenido de sólidos volátiles es del 60% en promedio. Los lodos activados comúnmente presentan rendimiento del 1.2 al 1.5 del volumen de agua tratado con un contenido de humedad de 97% al 99%.

Los procesos típicos de manejo de lodos son: la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda que son los más empleados para la reducción de la materia orgánica, y la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad.

**Tabla N°5: Características de Lodos Generados en una Planta de Tratamiento**

TIPO DE LODO	ASPECTO	OLOR	SECADO	HUMEDAD (%)
<b>Primario</b>	Pardo y Pegajoso	Fuerte	Difícil	95% - 97.5%
<b>Secundario</b>				
Filtro Biológico	Ceniciento floculento	Medio	Medio	92% -95%
Lodo Activado	Marrón floculento	Suave	Difícil	98.5% - 99.5%
Precipitación Química	Ceniciento gelatinoso	Fuerte	Difícil	93% - 95%
Lodo Séptico	Negro	Fuerte	-	-
Lodo Digerido	Negro Homogéneo Granular	Suave	Fácil	Sedimentador Primario 87% Filtro Biológico 90% Lodos Activados 93% Precipitación Química 90%

FUENTE: CEPIS (2002).

En el Tabla N°5 se muestran las características de un lodo primario y un lodo secundario, y se detallan las características del lodo secundario que se obtienen de los procesos de tratamiento de las aguas residuales más comunes.

En el Tabla N°6 se muestran las diferentes alternativas disponibles para cada etapa de tratamiento de las aguas residuales, cuya elección dependerá de las características de nuestros efluentes y la calidad final que se busca obtener.

## 2.10. Tecnologías Aerobias para el Tratamiento de las Aguas Residuales

### 2.10.1. Sistemas de Lagunas

En estos sistemas las bacterias y algas interactúan para degradar la materia orgánica. Dándose en el primer caso el consumo de la materia orgánica y oxígeno produciendo CO<sub>2</sub>, en el segundo caso consumen CO<sub>2</sub> y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo cual permite mantener las concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas en la zona superior de la laguna.

Está conformado por:

- Lagunas facultativas, cuya profundidad varía entre 1 a 2 metros de profundidad, cuenta con un área superior aerobia y un área inferior anaerobia.
- Lagunas de oxidación, cuya profundidad es menor a 1 metro, no hay presencia de zonas anaerobias y se caracteriza por reducir la concentración de microorganismos patógenos.
- Lagunas anaerobias, su profundidad varía entre los 3 y 5 metros y es empleado para retener los sólidos suspendidos y material flotante.
- Lagunas aireadas, su profundidad varía entre los 2 y 5 metros y se les suministra oxígeno mediante mecanismos de aireación artificial.

### 2.10.2. Sistemas de Discos Biológicos

A este sistema también se le conoce como biodiscos y consiste en un empaque circular giratorio en el cual se encuentra la biomasa adherida.

Por lo general se trabaja con sistemas en serie de dos o tres tanques de discos biológicos, logrando obtener altas eficiencias de remoción de materia orgánica y de nitrificación, alcanzando eficiencias de remoción de DBO<sub>5</sub> entre el 90 al 95%.

Se recomienda utilizar esta tecnología en climas fríos por su mayor versatilidad que otros, ya que cuenta con una cubierta como protección.

Esta tecnología evita la difusión forzada de oxígeno en el agua y el ahorro de energía eléctrica.

### 2.10.3. Filtro Sumergido Aerobio

El sistema consiste de un tanque que contienen elementos plásticos, cerámicos o piedras de tamaño pequeño cuya función es proveer un área para la adherencia de los microorganismos y se encuentra sumergido en el agua residual. Este sistema se requiere la incorporación de oxígeno al sistema mediante difusores colocados en el fondo del reactor y acoplados a un sistema de compresión de aire.

Este sistema es adecuado cuando se manejan caudales muy variables, ya que la biomasa está adherida a los elementos plásticos que se encuentran inmóviles dentro del reactor, resistiendo el paso del agua a mayor velocidad del flujo de agua.

### 2.10.4. Reactor Aerobio Acoplado a Membranas

Este sistema es conocido como reactor biológico de membranas, consta de un sistema compacto que se integran al acoplar un reactor biológico completamente mezclado con membranas de microfiltración que retiene partículas de hasta 0.1 micras o ultrafiltración que retienen partículas de hasta 0.01 micras.

La ventaja de la utilización de este sistema es la alta calidad de agua obtenida libre de sólidos suspendidos y de microorganismos patógenos y de ser una instalación compacta. La desventaja es el costo de las membranas y su frecuente taponamiento por lo que debe de realizar limpiezas frecuentes y una vida útil corta de máximo 3 años.

**Tabla N°6: Etapas de Tratamiento de las Aguas Residuales**

TRATAMIENTO PRELIMINAR	TRATAMIENTO PRIMARIO		TRATAMIENTO SECUNDARIO		TRATAMIENTO Terciario	DESCARGA	MANEJO DE LODOS	
	Químico	Físico	Remoción materia orgánica y coloidal	Remoción de sólidos suspendidos			Tratamiento	Disposición final
1. Desbaste: (* Rejas (* Rejillas (* Cedazos	1. Neutralización	1. Flotación	1. Lodos Activados (* Convencional (* Alta capacidad (* Contacto de estabilización (* Aireación Prolongada	1. Sedimentación	1. Coagulación / Sedimentación	1. Cuerpo receptor (* Río (* Lago (* Mar	1. Digestión aeróbica	1. Incineración
2. Trituradores	2. Coagulación / Sedimentación	2. Sedimentación (* Tanque Imhoff (* Tanque Séptico	2. Filtración Biológica		2. Filtración	2. Controlado	2. Digestión anaeróbica (* En una etapa (* En dos etapas	2. Relleno Sanitario
3. Separación de Aceites y Grasas	3. Cloración		3. Discos Rotatorios		3. Adsorción carbón activado	3. Aplicación en Suelo (* Evaporación (* Infiltración (* Evapotranspiración	3. Centrifugación	3. Acondicionador de suelo
4. Homogenización	4. Adición de Nutrientes		4. Proceso Unox/Linde		4. Intercambio Iónico	4. Aplicación en Suelo (* Evaporación (* Infiltración (* Evapotranspiración	4. Espesamiento	4. Compost
			5. Laguna de Estabilización		5. Destilación	5. Aplicación en Suelo (* Evaporación (* Infiltración (* Evapotranspiración	5. Filtración al vacío	
			6. Laguna Aireada		6. Ósmosis inversa	6. Aplicación en Suelo (* Evaporación (* Infiltración (* Evapotranspiración	6. Lavado (elutriación)	
			7. Anaeróbica (* Por contacto (* Filtro anaeróbico (* RAFA		7. Electrodiálisis	7. Aplicación en Suelo (* Evaporación (* Infiltración (* Evapotranspiración	7. Lagunas	
					8. Aplicación en suelo	8. Lechos de secado	8. Lechos de secado	
					9. Cloración u ozonización			

FUENTE: CEPIS (2002).

## 2.11. Tecnologías Anaerobias para el Tratamiento de las Aguas Residuales

### 2.11.1. Tanque Séptico

Pueden ser considerados como un digestor convencional a pequeña escala. Su uso se encuentra limitado a tratar las aguas residuales domésticas; generalmente, en zonas rurales o bien en áreas urbanas en donde no existe el servicio de alcantarillado. Los tanques sépticos, permiten la sedimentación y la eliminación de flotantes, actuando también como un digestor anaerobio.

En los lodos sedimentados se realiza la digestión anaerobia en condiciones desfavorables, debido a la falta de mezclado y a la temperatura del ambiente. Estas limitaciones se ven reducidas en cierto grado por el largo tiempo de residencia del lodo dentro del sistema, normalmente de uno a dos años.

### 2.11.2. Tanque Imhoff

Es un sistema que puede considerarse como un paso adelante al tanque séptico. Este sistema consiste en separar la zona de sedimentación de la de retención y digestión del lodo. Su objetivo es incrementar la capacidad de tratamiento del sistema para dar servicio a un mayor número de usuarios en comparación a un tanque séptico.

Tiene por lo general una forma rectangular con una tolva en la parte inferior, y está integrado por una cámara superior que recibe el agua residual y que tiene la función de separar los sólidos de rápida sedimentación.

### 2.11.3. Lagunas Anaerobias

Este es otro proceso rústico que se emplea principalmente para aguas residuales industriales cuya temperatura de sus aguas sea mayor a la temperatura del ambiente y tenga presencia de sólidos suspendidos sedimentables.

Las lagunas anaerobias consisten en tanques de hasta 10 metros de profundidad normalmente sin cubierta para captar el biogás.

#### 2.11.4. Tecnología de Lodos Activados

El principio básico del tratamiento de lodos activados consiste en un tratamiento biológico donde las aguas residuales que se tratan ingresan a un tanque aireado donde se mezclan con un cultivo de microorganismos llamado lodos activados, donde la materia orgánica logra estabilizarse biológicamente bajo condiciones aerobias. El medio aerobio se obtiene con el uso de un sistema mecánico de aireadores o el uso de inyectoros de aire.

Un sistema de lodos activados debe comprender:

- Un reactor biológico que se utilizara para mezclar las aguas residuales a tratar con los microorganismos existentes.
- Un tanque sedimentador cuya función será la recepción de las aguas residuales mezcladas en el reactor biológico para separar los sólidos y obtener un efluente clarificado.
- Un sistema de inyección de oxígeno y lograr mantener un rango aceptable para activar las bacterias.
- Un sistema de retorno de lodos cuyo propósito es el de mantener una elevada concentración de microorganismos en el reactor biológico, retornando parte de los sólidos biológicos (lodos) sedimentables al reactor biológico.

El funcionamiento eficiente del sistema de Lodos Activados se basa en mantener un buen equilibrio entre los contaminantes a eliminar presentes en las aguas residuales, la biomasa y el nivel de oxígeno mantenido en el reactor.

Los controles que se realizan en la operación se enfocan en el cumplimiento de 3 objetivos primordiales:

- 1) Controlar la cantidad y la calidad de la biomasa presente en el reactor biológico, para lo cual se debe medir los sólidos totales, sólidos sedimentables y el índice volumétrico de lodos.

- 2) Controlar la cantidad del oxígeno disponible en el reactor biológico, para lo cual se medirá la concentración de oxígeno disuelto.
- 3) Controlar la calidad del afluente y el efluente del reactor biológico, para lo cual se medirá el caudal a la entrada y a la salida, DQO, DBO<sub>5</sub>, SS, N y P.

## 2.12. Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

En el Tabla N°7, se detallan los procesos de tratamiento avanzado más comunes y sus eficiencias de remoción que logran obtenerse en ocho parámetros evaluados en el tratamiento de aguas residuales.

**Tabla N°7: Procesos de Tratamiento Avanzado y Eficiencia de Remoción**

PROCESOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN				
	SS	DBO <sub>5</sub>	DQO	Norg.	PO4
Ósmosis Inversa	95% - 98%	95% - 99%	90% - 95%	95% - 99%	95% - 99%
Carbón Activado	80% - 90%	70% - 90%	60% - 75%	50% - 90%	-
Precipitación Química	60% - 80%	75% - 90%	60% - 70%	60% - 50%	90% - 95%
Precipitación Química en Lodo Activado	80% - 95%	90% - 95%	85% - 90%	30% - 40%	30% - 40%
Intercambio Iónico	-	40% - 60%	30% - 50%	80% - 95%	85% - 98%
Electroquímico	80% - 90%	50% - 60%	40% - 50%	80% - 85%	80% - 85%
Oxidación Química	-	80% - 90%	65% - 70%	-	-
Asimilación Bacteriana	80% - 85%	75% - 95%	60% - 80%	30% - 40%	10% - 20%
Lagunas	-	50% - 75%	40% - 60%	50% - 90%	0.50

FUENTE: CEPIS (2002).

En el Tabla N°8 se muestra las eficiencias de remoción que brindan los de los diferentes procesos de tratamiento.

**Tabla N°8: Eficiencia de Remoción de los Sistemas de Tratamiento**

<b>PROCESO</b>	<b>DBO5</b>	<b>DQO</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>
<b><i>Tratamiento Preliminar</i></b>			
Cribado fino	5% - 10%	5% - 10%	2% - 20%
Cloración crudo o sedimentado	15% - 30%	-	-
<b><i>Tratamiento Primario</i></b>			
Sedimentación simple	25% - 40%	20% - 35%	40% - 70%
Precipitación química	50% - 85%	40% - 70%	70% - 90%
<b><i>Tratamiento Secundario</i></b>			
Filtros percoladores	50% - 95%	50% - 80%	50% - 92%
Lodos activados	55% - 95%	50% - 80%	55% - 95%
Lagunas Primarias	75% - 85%	60% - 70%	85% - 95%
Lagunas Secundarias	90% - 95%	80% - 70%	85% - 95%
Lagunas Terciarias	85% - 95%	60% - 70%	85% - 95%

FUENTE: CEPIS (2002).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### 3.1. Materiales

- Lápices
- Borrador
- Cuaderno de apuntes
- Lápiz
- Tajador
- Laptop marca Toshiba
- Cámara fotográfica marca Sony
- Impresora marca Epson
- Memoria USB

#### 3.2. Metodología

Para realizar la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados de la fábrica dedicada a la producción de almidones, se recopiló información de los reportes diarios de la planta de tratamiento de las aguas residuales correspondiente a los 5 años evaluados (del año 2012 al año 2016); se revisó el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, el informe de la caracterización de las aguas residuales procedentes de la producción de almidones y los procedimientos correspondiente a los procesos de producción de almidones.

#### 3.3. Descripción del Proceso Productivo

Planta industrial que cuenta con dos líneas principales de producción, la molienda húmeda y la molienda seca. El producto principal obtenido de la molienda húmeda es el almidón. Siendo el proceso de Molienda Húmeda el que impacta directamente en los efluentes que ingresan al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

### 3.3.1. Molienda Húmeda

La industrialización del maíz para la obtención del almidón y sus derivados, está basado en el proceso denominado Molienda Húmeda.

### 3.3.2. Almidón Nativo

En este proceso se da la recepción del grano de maíz para ser limpiado y almacenado en tanques, donde se adiciona una solución de ácido sulfuroso a concentraciones mayores a 1000 ppm como dióxido de azufre, la temperatura se controla a 50 °C con un tiempo de contacto mayor a 30 horas.

### 3.3.3. Almidones Modificados

A la suspensión de almidón de maíz nativo se adiciona ácido clorhídrico hasta llevarlo a un pH menor a 3.5 y con una temperatura controlada mayor a 45 °C se logra la ruptura del enlace glucosídico de la cadena del almidón amilopectina, quedando la cadena de almidón amilosa.

Este cambio en la estructura de las cadenas del almidón, permite obtener pastas de menor viscosidad empleando mayores concentraciones de sólidos, lo cual no sería posible empleando almidón nativo.

### 3.3.4. Almidón Ácido Modificado Acetilado ó DemcrosMod

A la suspensión de almidón se le adiciona ácido clorhídrico hasta llegar a un pH menor a 3.5 y se lleva a una temperatura mayor a 45° C. Se deja reaccionar hasta obtener un almidón ácido modificado de fluidez alcalina.

Este almidón modificado logra pastas de baja viscosidad que son estables al enfriarse y se caracteriza por la formación de películas flexibles, resistentes a la abrasión mecánica.

### 3.3.5. Almidón Modificado Catiónico ó Demcat

La suspensión del almidón nativo de maíz con una solución alcalinizante de hidróxido de sodio es llevada hasta un pH 11. Una vez alcanzado el pH deseado se adiciona lentamente el reactivo Cationizante - Base amonio cuaternario.

### 3.3.6. Almidón Modificado Fosfatado-Acetilado ó Demcros Fa

La suspensión del almidón nativo de maíz, es alcalinizado con carbonato de sodio a un pH mayor a 10.5. Se adicionan fosfatos y posteriormente se agrega acetato de vinilo monómero (VAM), lográndose en esta etapa las reacciones de fosfatación y esterificación en los grupos oxidrilos de las moléculas de almidón.

### 3.3.7. Almidón Modificado Oxidado ó Oxidado

En esta etapa, se producen simultáneamente reacciones de oxidación e hidrólisis que llegan a romper el anillo piránico por los carbonos 2 y 3 dando dialdehídos o diacetonas. Terminadas las reacciones, la suspensión es neutralizada con ácido clorhídrico a un pH 5.0 - 7.0. Luego es lavado, secado y finalmente envasado.

### 3.3.8. Refinación de Glucosa

En el proceso de refinación es filtrada, tratada con carbón activado (doble blanqueado) y para mejorar su estabilidad se adiciona bisulfito de sodio.

Pasa por un filtro pulidor antes de ser evaporada hasta una concentración de sólidos del 81 %, posteriormente es almacenada o envasada directamente para su despacho.

### 3.3.9. Color Caramelo

Este proceso permite obtener tres tipos de Color Caramelo: Regular, Carga Positiva y Doble Strench. Al azúcar que se emplea, según sea el tipo de caramelo a producir, se le adiciona el catalizador correspondiente. Luego son sometidos a un proceso de caramelización con temperatura y presión controlada, hasta obtener el poder tintoreal requerido.

### 3.3.10. Extracción de Aceite

El Germen de maíz proveniente del proceso de Molienda Húmeda, es tratado en un tanque acondicionador a 110 - 115 °C con la finalidad de facilitar la extracción del aceite.

### 3.3.11. Refinación de Aceite:

El aceite crudo de maíz obtenido por extrusión mecánica del Germen de Maíz, pasa por diferentes etapas de refinamiento tales como el Desgomado, en la cual la adición de ácido fosfórico permite eliminar los fosfolípidos.

### 3.3.12. Gluten de Maíz

Las proteínas que mantienen encerrados a los granos de almidón se desnaturalizan, lo cual permite posteriormente la separación de la fracción carbohidratada (almidón). Una vez separado el germen, el grano es molido. La fibra es separada por tamices, obteniéndose una suspensión de almidón con proteínas. Por centrifugas de altas velocidades se logra la separación de la proteína Gluten del almidón. Donde finalmente es secado y finalmente envasado.

### 3.3.13. Mezclas Especiales

Las materias primas y aditivos, se adicionan al mezclador según formulación del producto solicitado. El tiempo de mezcla debe ser como mínimo de 80 minutos. Cumplido el tiempo se evalúan las características requeridas del producto y de estar conforme se procede al envasado.

En la figura N°3 se muestra el diagrama de flujo del proceso productivo que comprende el proceso completo de Molienda Húmeda.

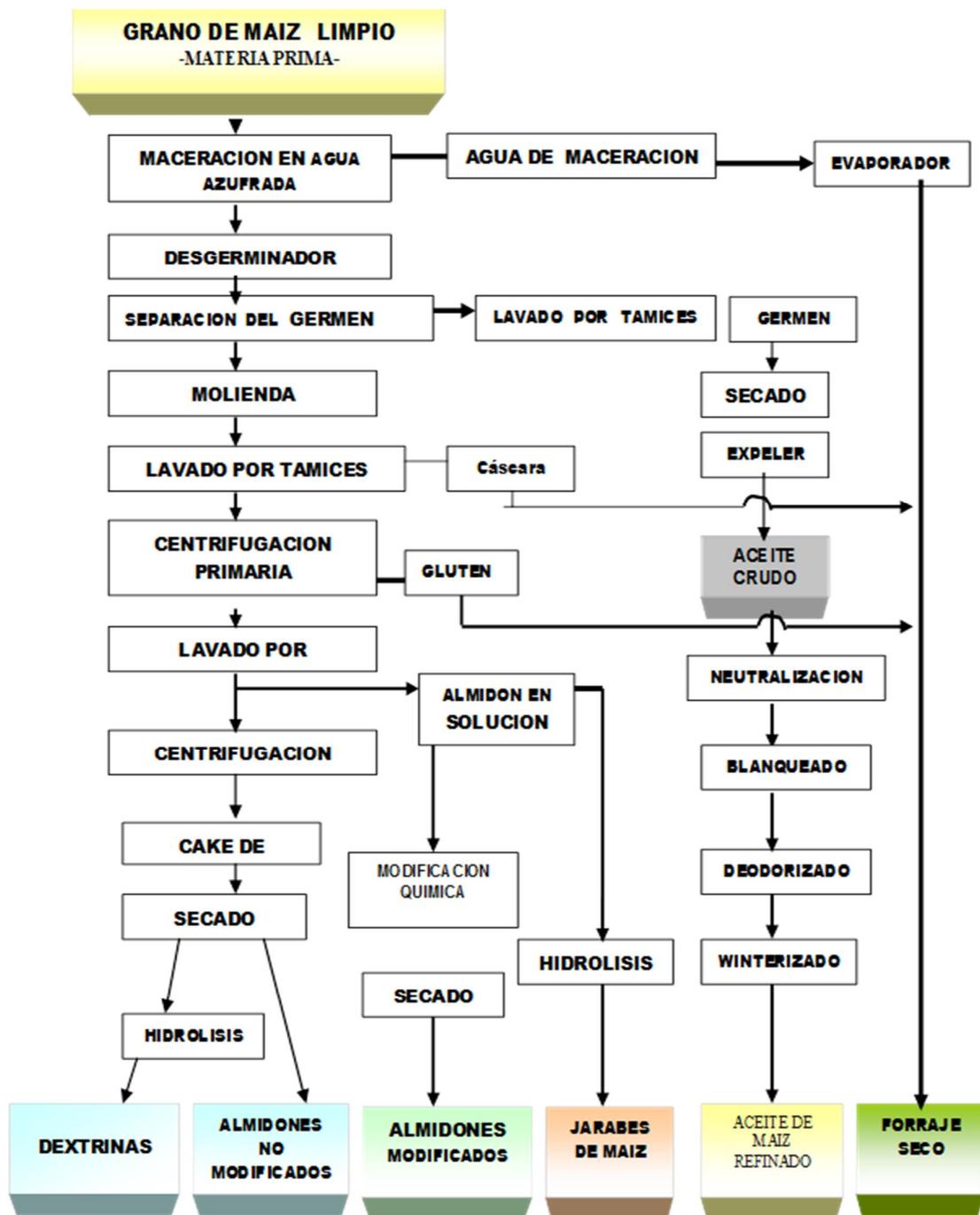


Figura N°3: Flujo de Procesos de Molienda Húmeda

FUENTE: Fábrica de Producción de Almidones (2012).

### 3.4. Descripción del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

La Planta Industrial de procesamiento de almidones cuenta con una planta de tratamiento para aguas residuales industriales desde el año 2004, donde son tratados todos los efluentes industriales generados de su proceso productivo.

El sistema de tratamiento empleado en la industria que se evaluará es el de lodos activados, el cual es un proceso de tratamiento biológico por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un reactor biológico; los lodos generados por el mismo proceso son posteriormente separados en una unidad de sedimentación secundaria y recirculados al reactor biológico con la finalidad de mantener una cantidad constante de sólidos suspendidos volátiles; el agua residual tratado y clarificado es desinfectado para su posterior reutilización o vertido al río.

En el Tabla N°9 se muestra los parámetros de diseño de la planta de tratamientos de aguas residuales industriales de la fábrica procesadora de almidones.

**Tabla N°9: Parámetros de diseño de planta de tratamiento de fábrica de producción de almidones**

PARÁMETROS	UNIDADES	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
Caudal	m <sup>3</sup> /d	200	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	4000	200	95%
NH <sub>3</sub>	mg/l	600	100	83%
SO <sub>2</sub>	mg/l	15	0	100%

FUENTE: Elaboración propia

### 3.5. Unidades del Proceso de Tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la planta de producción de almidones está compuesta por las siguientes unidades:

### 3.5.1. Poza de Recepción

Todas las aguas residuales industriales que requieren tratamiento llegan a esta unidad donde se homogenizan con la finalidad que el agua a tratar tenga las mismas características y caudal. Esta poza tiene una capacidad de  $3.6 \text{ m}^3$ .

El afluente es bombeado en forma intermitente, cada vez que el nivel de agua activa el sensor, que ocurre cuando la capacidad es igual a  $2 \text{ m}^3$ . En esta unidad se obtienen valores de pH menores a 5 y de  $\text{SO}_2$  que frecuentemente sobrepasan el valor de  $7 \text{ mg/L}$ .



**Figura N°4: Poza de recepción.**

### 3.5.2. Poza de Sedimentación

Tiene una capacidad aproximada de  $108 \text{ m}^3$ , comprende tres cámaras de  $36 \text{ m}^3$  de capacidad cada una, donde la materia en suspensión sedimenta por gravedad. El afluente tiene las mismas características de la poza de recepción.



**Figura N°5: Poza de sedimentación primaria de 3 cámaras.**

### 3.5.3. Poza de Ecuación

Los problemas operacionales causados por fluctuaciones diarias en flujos de aguas residuales son eliminados por medio de la ecuación de flujos o regulación de flujos. En esta poza se regula el ciclo de entrada diaria y promedia los extremos de calidad y cantidad para proveer al reactor de aireación una descarga a razón constante. Un proceso de agitación es incluido en esta etapa para prevenir la deposición de sólidos y la generación de condiciones sépticas (anaeróbicas). Esta poza tiene una capacidad de 108 m<sup>3</sup>, cuyas dimensiones se aprecian en el siguiente Tabla, y recibe las aguas de la poza de sedimentación. A la salida de esta se modifican las condiciones químicas del afluente para su tratamiento: regulación de pH y regulación de SO<sub>2</sub>.



**Figura N°6 y N°7: Poza de ecuación.**

### 3.5.4. Poza Pulmón

Esta unidad tiene una capacidad de 250 m<sup>3</sup>, se le denomina poza pulmón porque permite amortiguar las oscilaciones de flujo que normalmente se presentan en las diferentes unidades de tratamiento. Su funcionamiento tiene dos objetivos:

- Mantener un volumen seguro y constante de agua residual, que permita suplir cualquier exceso o defecto de caudal de agua que se puedan presentar en las otras unidades de tratamiento. Para ello cuenta con dispositivos, como bombas y válvulas, que permiten direccionar los flujos de agua según sea necesario.

- Mantener o mejorar el contenido de oxígeno existente en la masa de agua, respecto a la existente en la Poza de equalización, para lo cual tiene un aireador superficial.



**Figura N°8 y N°9: Poza Pulmón**

#### 3.5.5. Poza de Aireación

En esta unidad se llevan a cabo una serie de procesos que tienen por finalidad aportar las cantidades necesarias de oxígeno al sistema biológico de tal forma que se desarrollen los microorganismos capaces de convertir la materia soluble e insoluble.

El tanque tiene una capacidad útil de 1,500 m<sup>3</sup> y comprende los siguientes componentes:

- Válvula de control automático que permite el control de flujo de ingreso de agua proveniente de la Poza de equalización o de la Poza pulmón, según sean las características del efluente.
- Sistema de aireación compuesto por tres (03) equipos aireadores superficiales de funcionamiento intermitente: dos (02) de eje vertical de 40 Hp cada uno y uno (01) de eje inclinado de 30 HP.
- Tuberías de distribución de aire, solo existe una tubería principal que va conectada a la bomba con su correspondiente aireador.

Para controlar la eficiencia de tratamiento se toma periódicamente muestras de agua de esta unidad y se mide el Oxígeno Disuelto (OD). Los resultados se anotan en registros físicos y electrónicos que permiten una mejor evaluación histórica. Siempre se controla que el OD en esta unidad este entre el rango de 1,5 a 3,0 mg/l.

Para la determinación de sólidos sedimentables se aplica la Prueba del Cono Imhoff, por la cual se agrega 1 Litro de lodo al cono y al cabo de 30 minutos del inicio de la prueba se mide la cantidad de lodo que ha quedado depositado.

Cuando hay déficit de lodos en esta unidad, se incrementa la recirculación directa desde la Poza de Sedimentación, midiendo el caudal a través de un vertedero existente.



**Figura N°10 y N°11: Poza de Aireación.**

### 3.5.6. Sedimentador Secundario o Decantador

Los objetivos de los sedimentadores secundarios para lodos activados son: producir un efluente suficientemente clarificado para ajustarse a las normas de calidad de descarga y concentrar los sólidos biológicos para minimizar la cantidad de lodos que se habrán de manejar.

Esta unidad comprende 6 cámaras de 12 m<sup>3</sup> de capacidad cada una, cuyo fondo termina en tolva a efectos de facilitar la concentración de lodos que luego son retirados mediante el uso de una bomba neumática que permite recircular parte de este caudal a la poza bilógica y el exceso se deriva a la poza de concentrado de lodos.



**Figura N°12: Poza de Sedimentación Secundaria.**

Los Sedimentadores trabajan con aproximadamente  $\frac{1}{3}$  de altura de lodos en el fondo con la finalidad de que sirva de lecho filtrante al agua que ingresa. Un buen régimen de purgas de fondo debe permitir que en todo momento exista flujo superior en 4 de las 6 unidades.

#### 3.5.7. Poza de Desinfección del Efluente

Recibe las aguas provenientes del Sedimentador Secundario que es desinfectada con hipoclorito de calcio para bajar la carga microbiana. Esta poza cuenta con un agitador mecánico que permite homogeneizar la solución desinfectada y luego el efluente es vertido al río, aunque algunas veces también es utilizado para regar las áreas verdes de la empresa.



**Figura N°13: Poza de Desinfección.**

### 3.5.8. Sistema de Concentración de Lodos (TAR 6.2)

Consta de un Sistema DAF que incorpora micro burbujas que atrapa el lodo y le permite flotar, luego el lodo es recogido con una cuchara que lo deposita en una poza de recepción. Aquí se almacena temporalmente y luego es bombeada a un tanque cisterna de mayor capacidad. Finalmente, los lodos son dispuestos en un relleno sanitario para lo cual se cuenta con un contrato con una EPS de Residuos Sólidos registrada en DIGESA.



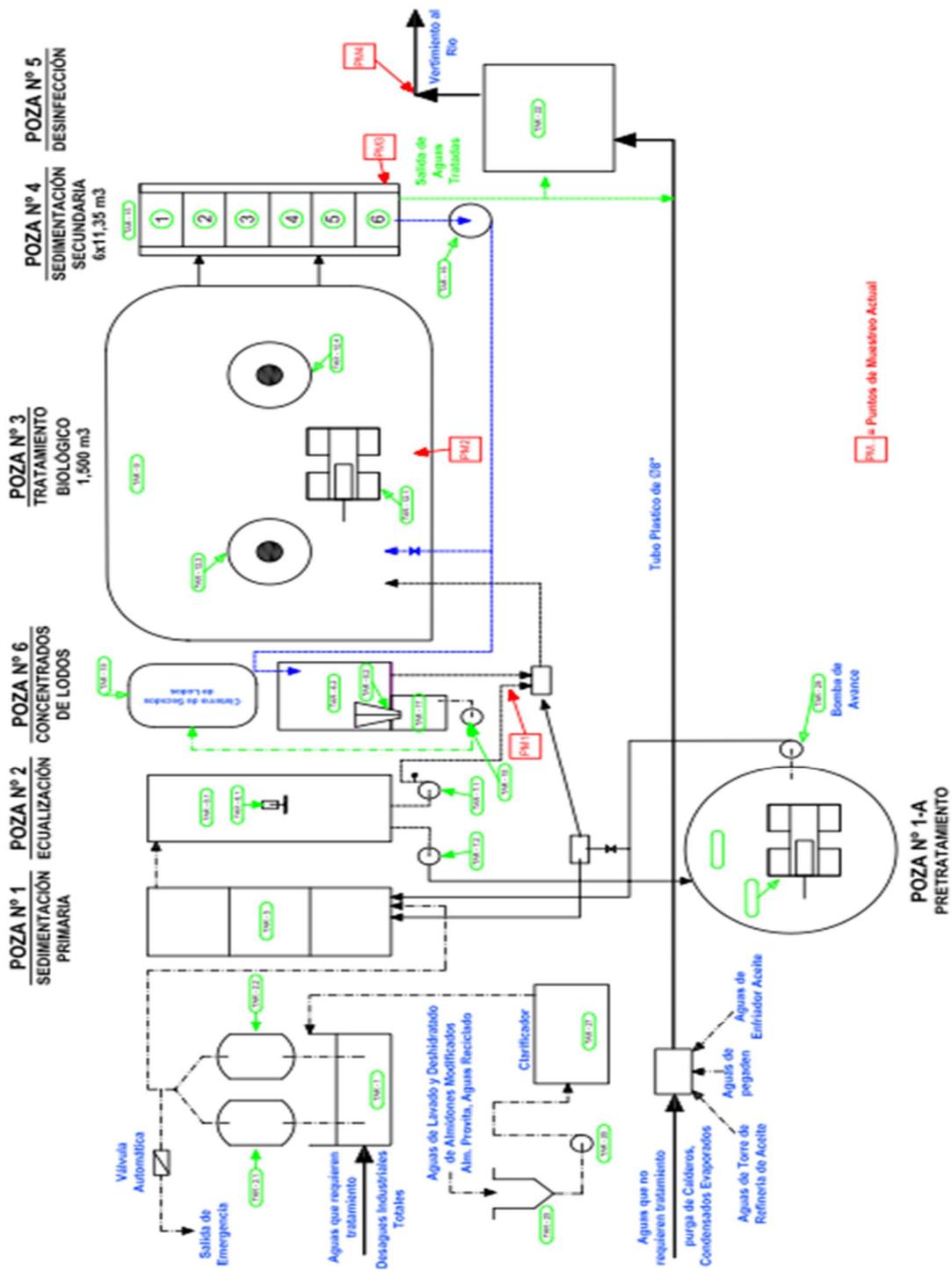
**Figura N°14: Sistema DAF y cuchara de recolección de lodos.**

En el Tabla N°10 se muestra un esquema de todo el sistema de tratamiento, iniciando desde la recepción de efluentes hasta su descarga final. También se ha identificado los puntos de monitoreo que se utilizan para el control diario de la operación de la planta de tratamiento.

### 3.6. Características de los Efluentes Industriales por Procesos

En el año 2011 se realiza una caracterización detallada de los efluentes industriales generados en cada proceso productivo de la planta de producción de almidones, con la finalidad de identificar los procesos más críticos que afecten el sistema de tratamiento de lodos activados, porque generen efluentes con elevada concentración de carga orgánica, aceites y grasas, sólidos volátiles, sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal, fósforo total, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos volátiles.

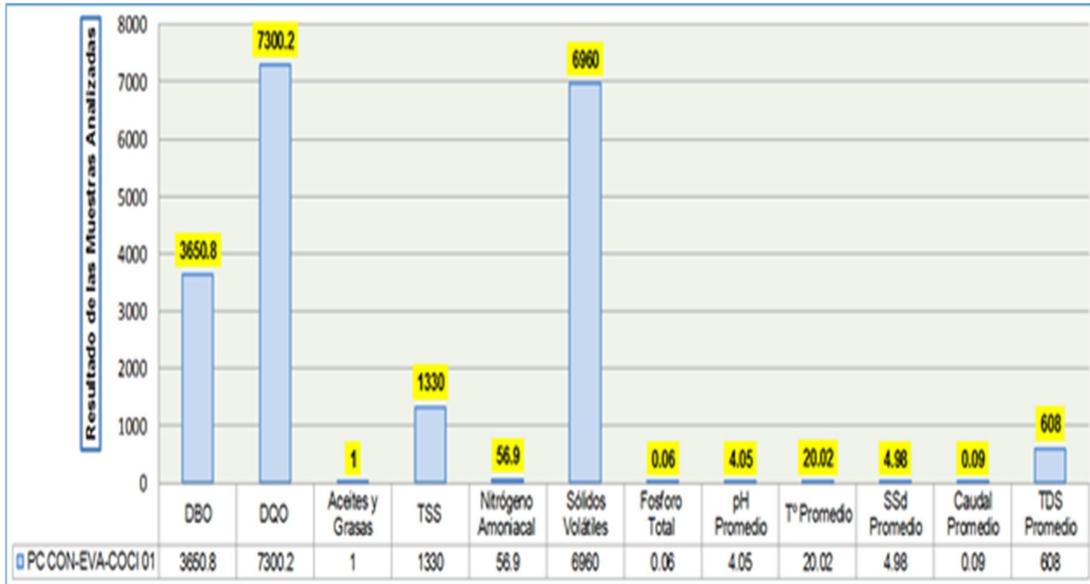
Tabla N°10: Esquema del Procesos de Tratamiento de Lodos Activados de Fábrica de Producción de Almidones



FUENTE: *Fábrica de Producción de Almidones (2012).*

Se considera también la medición de caudal y pH por procesos ya que estos parámetros también afectan el óptimo funcionamiento del sistema de lodos activados.

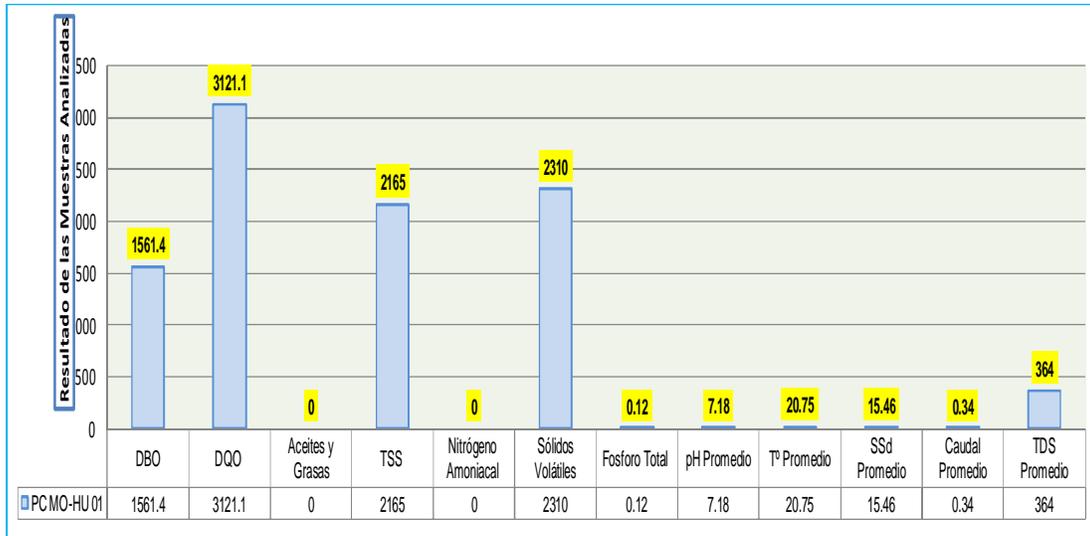
A continuación, se muestran los gráficos con los resultados obtenidos del monitoreo realizado en cada proceso productivo.



**Figura N°15: Proceso de Evaporador de Agua de Cocimiento (Muestra compuesta)**

De la figura N°15 se aprecia que:

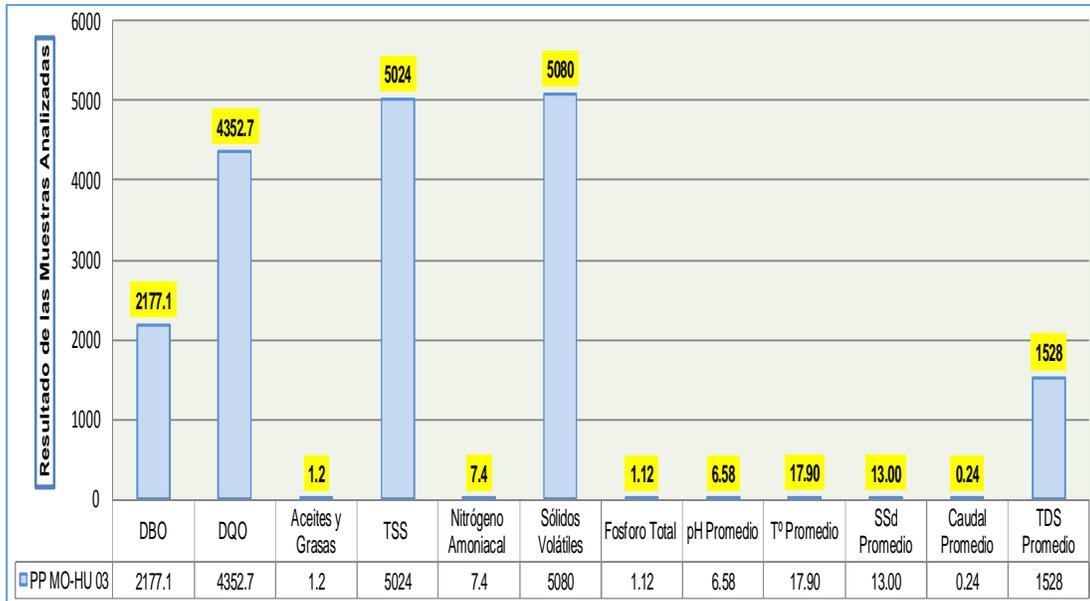
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia orgánica, en su mayoría suspendida, con un pH ácido.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 1,938mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°16: Proceso de Molienda Húmeda (Muestra compuesta)**

De la figura N°16 se aprecia que:

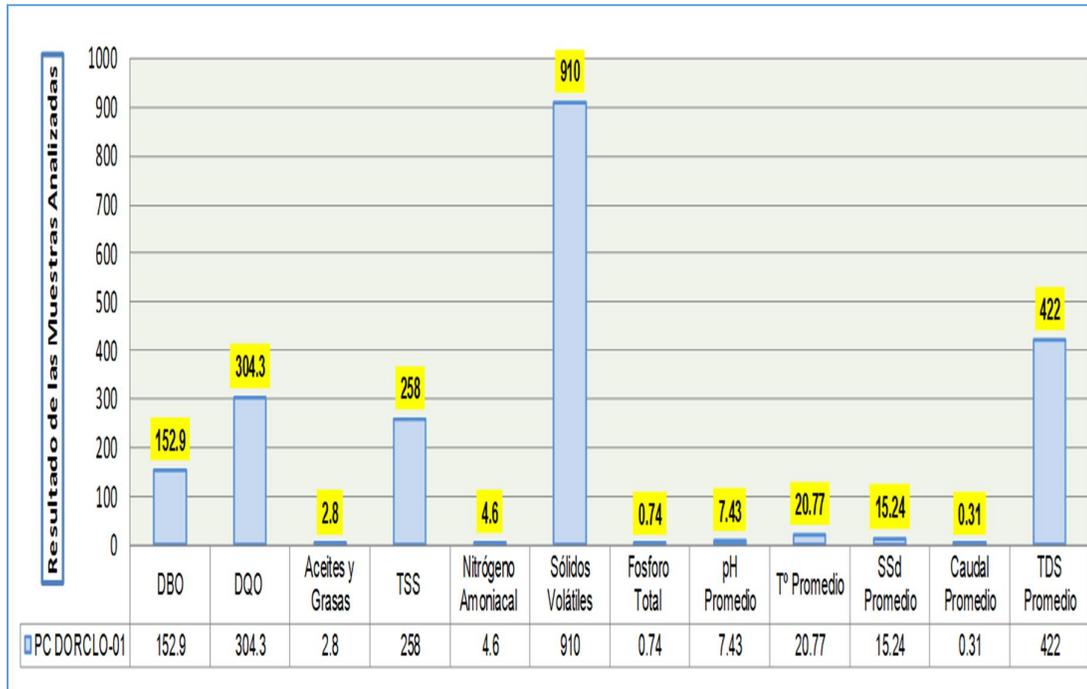
- La DQO es dos veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un alto contenido de materia orgánica en suspensión, que necesita un aglomerante para sedimentar.
- Los sólidos suspendidos totales tienen un valor de 2165 mg/L.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 2529mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totalesó Sólidos Volátiles, la cual es: 219mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°17: Proceso de Agua de Lavado de la Centrifuga (Muestra Puntual)**

De la figura N°17 se aprecia que:

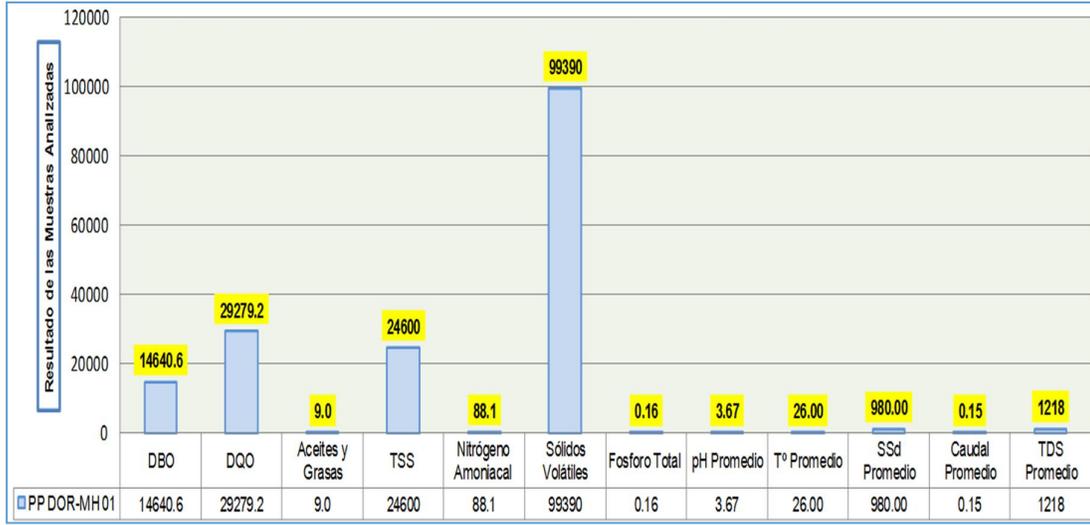
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia organica, la cual en su mayoria es suspendida y de tipo volatil, debido a que los sólidos volátiles tienen un valor de 5080 mg/L y los sólidos suspendidos totales tienen el valor de 5024 mg/L.
- El pH es ligeramente ácido, en este caso se encontró que el nitrógeno y el fosforo tiene un valor de 6 a 1, lo cual es indicador de presencia de nutrientes para un tratamiento biológico.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 6552 mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totales ó Sólidos Volátiles, la cual es: 1472 mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.0.



**Figura N°18: Proceso de Dorclones (Muestra compuesta)**

De la Figura N°18 se aprecia que:

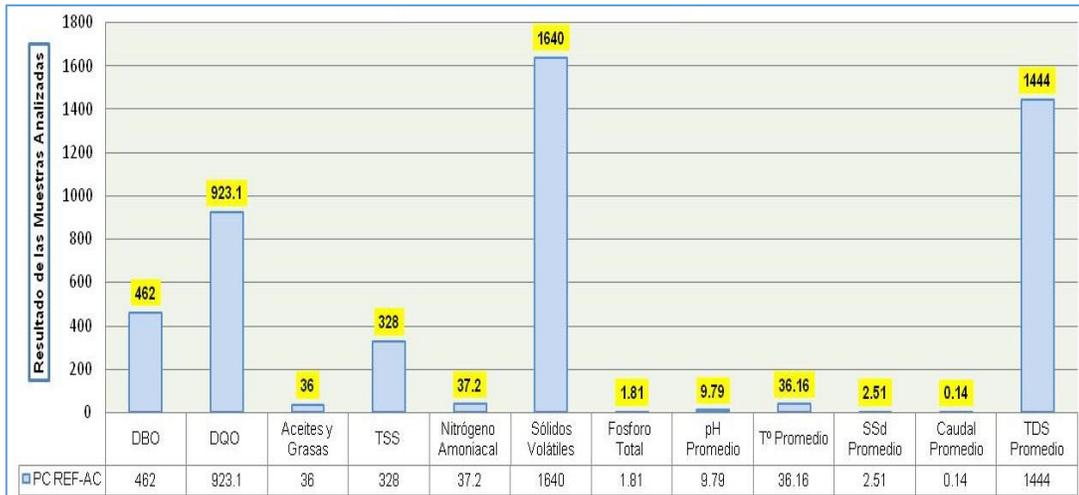
- La DQO es 1.99 veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un contenido significativo de materia orgánica disuelta, que debido a la presencia de sólidos disueltos podría ser removido con un aglomerante y un sistema de filtración.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 680mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 1.99.



**Figura N°19: Proceso de Merco de gluten (Muestra compuesta)**

De la figura N°19 se aprecia que:

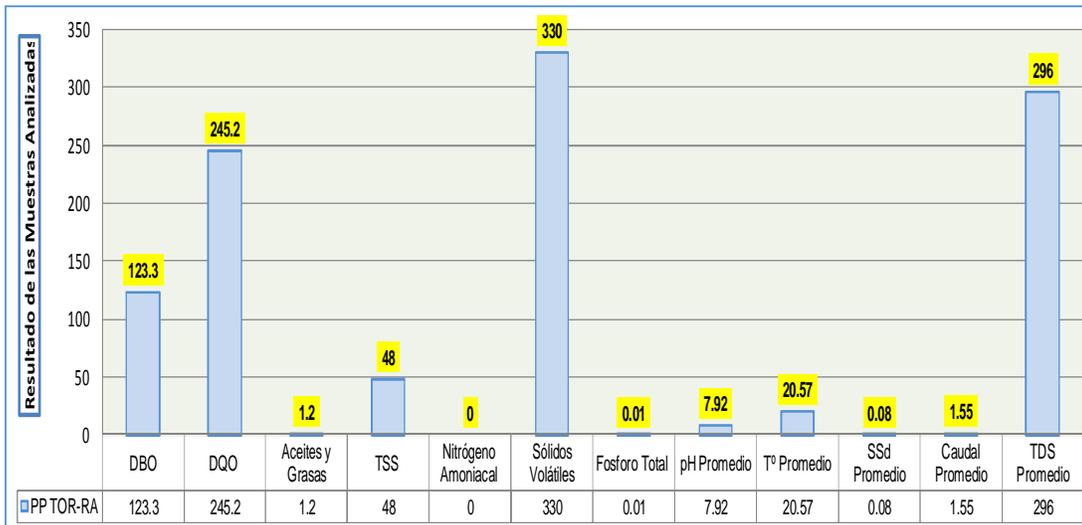
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia organicasuspendida, además, tiene materia organica e inorganica que podria sedimentar por su propio peso.
- El pH es ácido.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 25818 mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°20: Proceso de Refinería de Aceite (Muestra compuesta)**

De la figura N°20 se aprecia que:

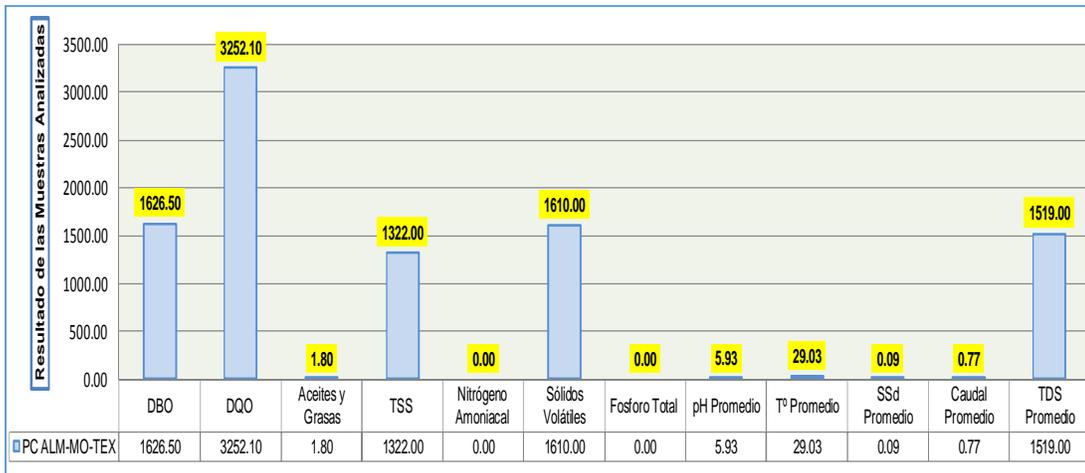
- La DQO es 2 veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un contenido significativo de materia orgánica, la cual en su mayoría se encuentra disuelta.
- Los sólidos disueltos totales tienen un valor de 1444 mg/L, la cual necesita un aglomerante y un proceso de filtrado para sedimentar.
- Tiene un pH alcalino.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 1772mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totalesó Sólidos Volátiles, la cual es: 132mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°21: Proceso de Torre de Enfriamiento de Refinería de Aceite (Muestra puntual)**

De la figura N°21 se aprecia que:

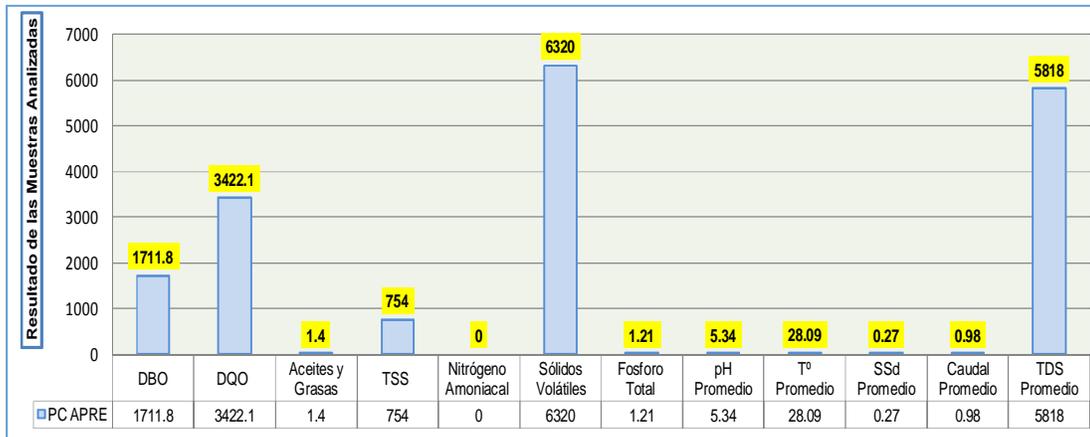
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia organica, la cual en su mayoria es disuelta y de tipo volatil, debido a que los sólidos volátiles tienen un valor de 330 mg/L.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 344 mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totales ó Sólidos Volátiles, la cual es: 14mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2



**Figura N°22: Proceso de Almidones Modificados - TEX (Muestra compuesta)**

De la figura N°22 se aprecia que:

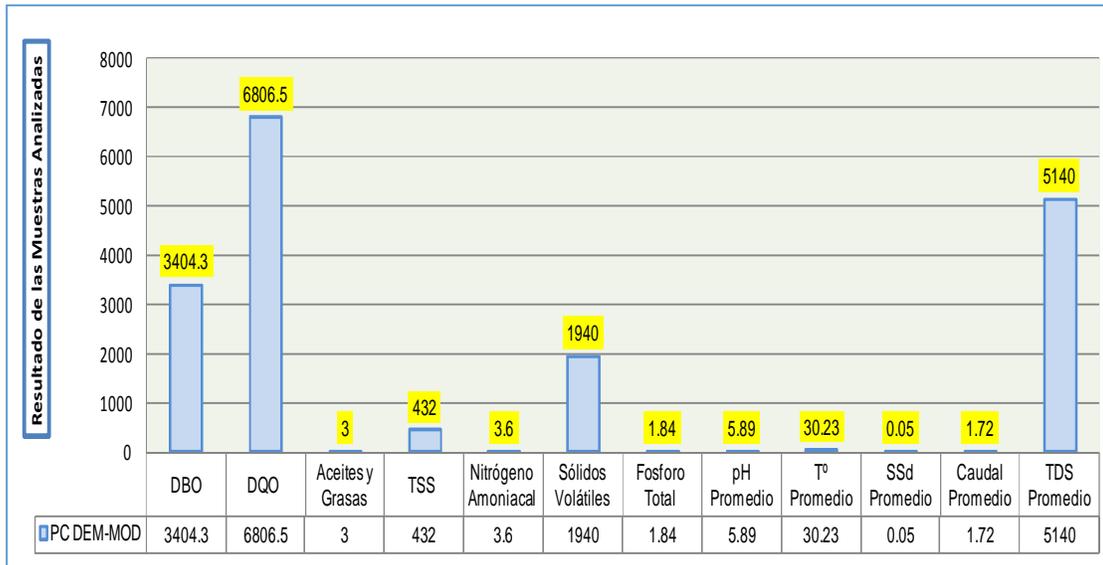
- La DQO es 2 veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un alto contenido de materia orgánica, la cual se encuentra tanto en suspensión como disuelta, lo que explicaría el color y el pH ligeramente ácido.
- Los sólidos disueltos totales tienen un valor de 1519 mg/l y los sólidos suspendidos presentan un valor de 1322 mg/l.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 2841 mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totales - Sólidos Volátiles, la cual es: 1231 mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.0.



**Figura N°23: Proceso de Almidones Modificados - APRE (Muestra compuesta)**

De la figura N°23 se aprecia que:

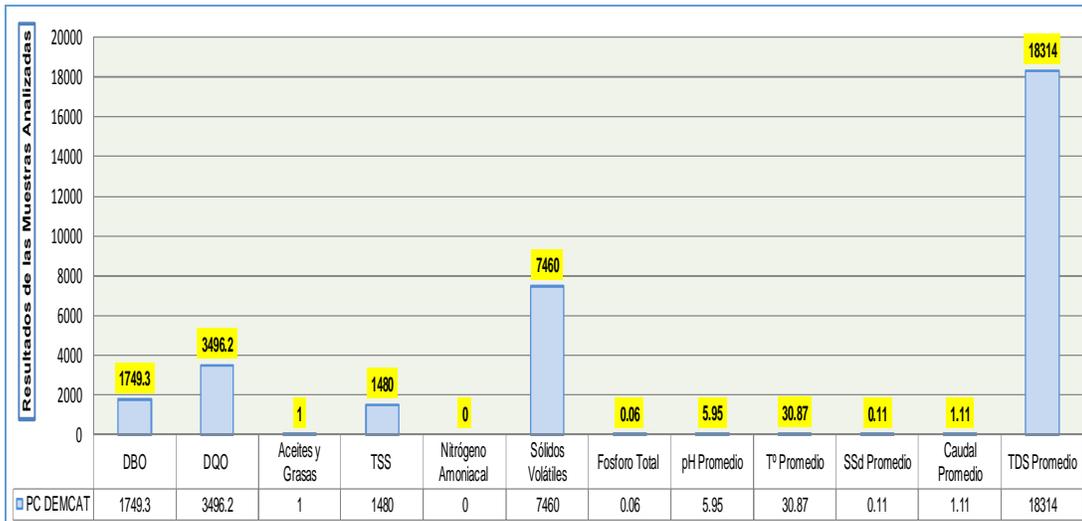
- La DQO es 2 veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un contenido significativo de materia orgánica, la cual se encuentra disuelta.
- Los sólidos disueltos totales tienen un valor de 5818 mg/L, el cual le da el color fuerte de blanco lechoso.
- Presenta un pH ácido.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 6572mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totales - Sólidos Volátiles, la cual es: 252mg/L.
- La relación de DBO/DQO es de 2



**Figura N°24: Proceso de Almidones Modificados - DCROS (Muestra compuesta)**

De la figura N°24 se aprecia que:

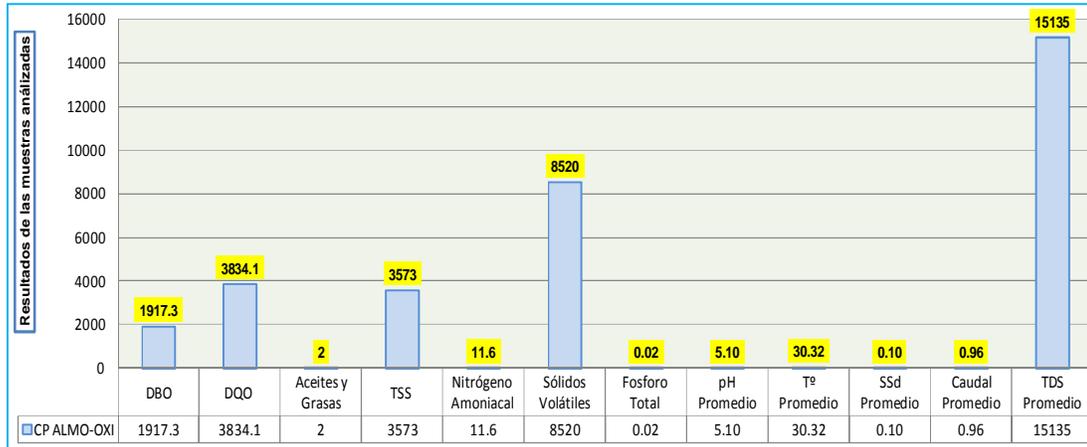
- La DQO es 2 veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un alto contenido de materia orgánica altamente disuelta, con un pH legeramente acido.
- Los sólidos disueltos totales tienen un valor de 5140 mg/L
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 5572mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totalesó Sólidos Volátiles, la cual es: 3632mg/L.
- La relación de DBO/DQO es de 2.0.



**Figura N°25: Proceso de Almidones Modificados - DCAT (Muestra compuesta)**

De la figura N°25 se aprecia que:

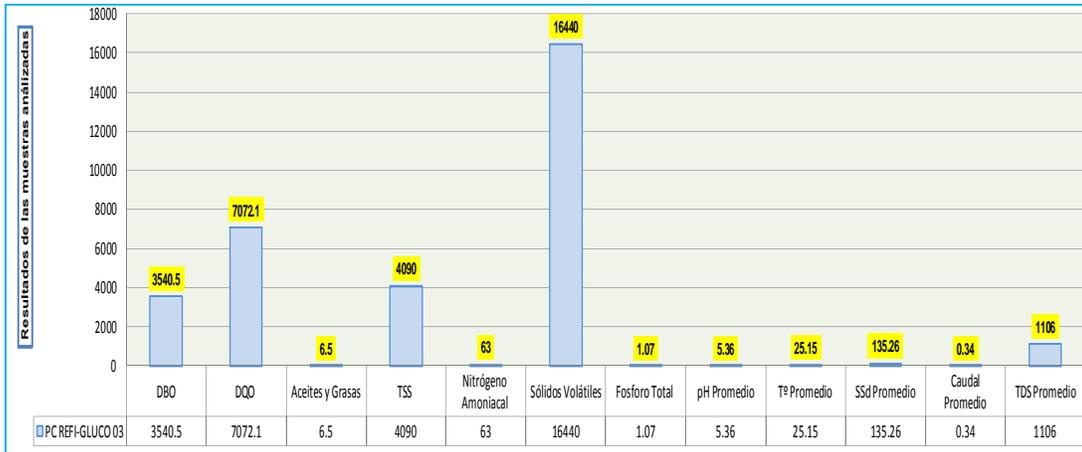
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia orgánica que se encuentra suspendida y disuelta.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 19,794mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totalesó Sólidos Volátiles, la cual es: 12334mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2



**Figura N°26: Proceso de Almidones Modificados - OXI (Muestra compuesta)**

De la Figura N°26 se aprecia que:

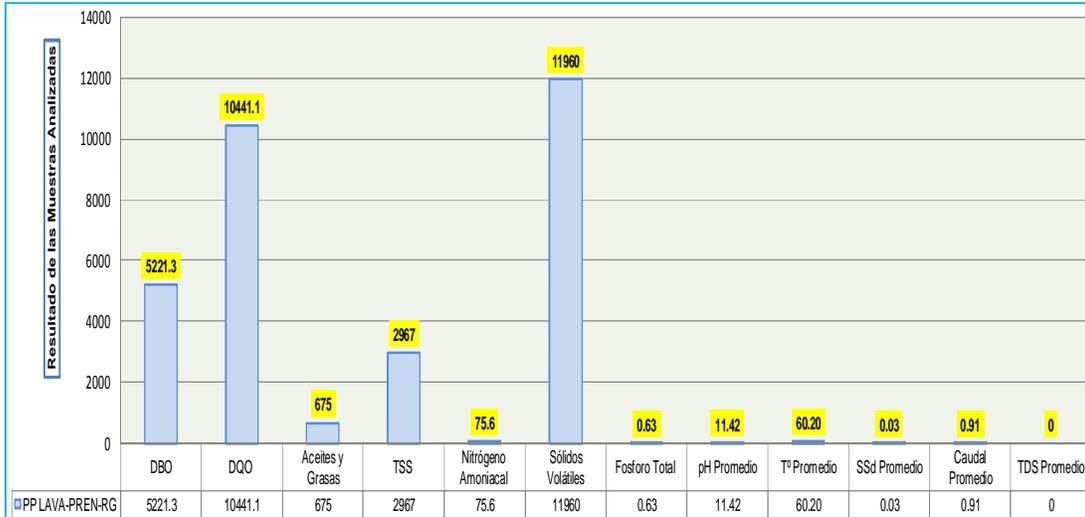
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia orgánica, la cual se encuentra en su mayoría en suspensión, debido a que los sólidos suspendidos totales tienen un valor de 3573 mg/L.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 18,708 mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totales - Sólidos Volátiles, la cual es: 10,188 mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°27: Proceso de Refinería de Glucosa (Muestra compuesta)**

De la figura N°27 se aprecia que:

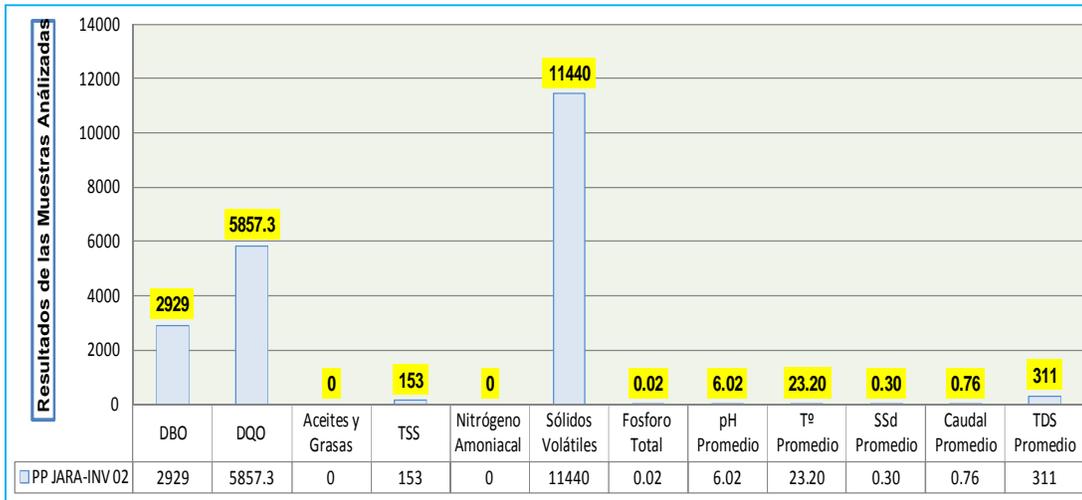
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia orgánica en suspensión, es decir que necesita ser aglomerada para ser removida (mediante el proceso sedimentación), pH ligeramente básico.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 5,196 mg/L.
- La relación de DBO/DQO es de 1.99



**Figura N°28: Proceso de Lavado de Prensa ó Refinería de Glucosa (Muestra puntual)**

De la figura N°28 se aprecia que:

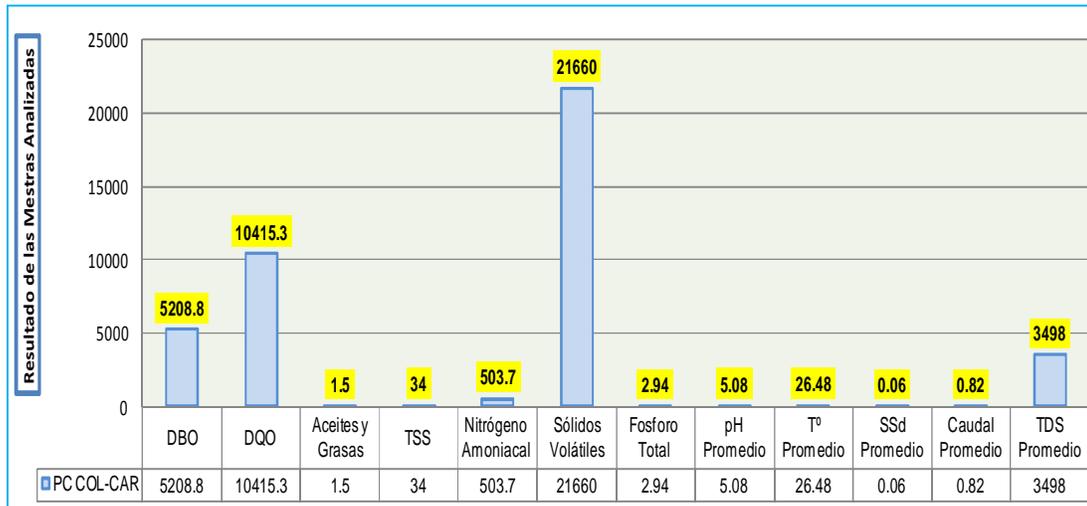
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con materia organica en suspension, la cual en su mayoría es de tipo volatil debido a que los sólidos volatiles tienen un valor de 16380 mg/L, el pH es alcalino y la T° es alta. Solo en este caso se presento un valor alto de aceites y grasas.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 2967 mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°29: Proceso de Jarabe Invertido (Muestra compuesto)**

De la figura N°29 se aprecia que:

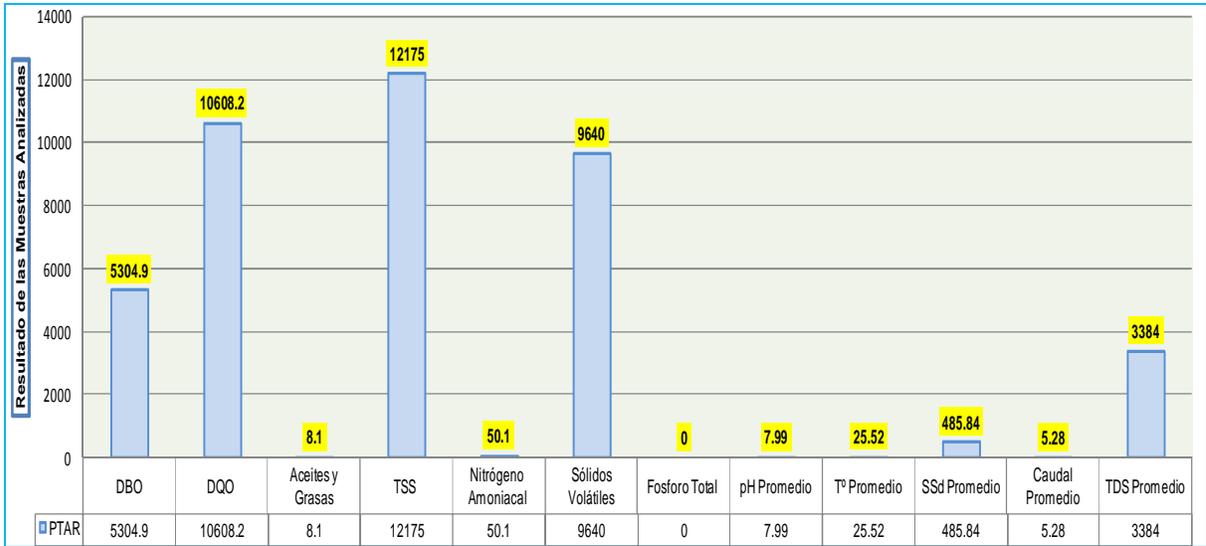
- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia organica disuelta, la cual en su mayoria es de tipo volatil, debido a que los sólidos volatiles tienen un valor de 11 440 mg/L.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 464 mg/L.
- La relación de DQO/DBO es de 2.



**Figura N°30: Proceso de Color Caramelo (Muestra compuesto)**

De la figura N°30 se aprecia que:

- La DQO es 2 veces la DBO, lo que significa que la muestra tiene un alto contenido de materia orgánica, la cual en su mayoría se encuentra disuelta, como se puede observar los sólidos disueltos totales tienen un valor de 3498 mg/L.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 3532mg/L.
- La relación de DBO/DQO es de 2.



**Figura N°31: Proceso de Parada Planta (Muestra compuesto)**

De la figura N°31 se aprecia que:

- La DQO es dos veces la DBO, lo cual significa que es un efluente con alto contenido de materia organica, altamente suspendida, necesita aglomeramiento para poder sedimentar.
- Sólidos Totales = SST + SDT, la cual es: 15559 mg/L.
- Sólidos Fijos = Sólidos Totalesó Sólidos Volátiles, la cual es: 5919mg/L.
- La relación de DO/DBO es de 1.99

### 3.7. Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

#### 3.7.1. Parámetros Operacionales

Hay unos parámetros operacionales que son característicos de este proceso y cuyos rangos se deben respetar para mantener un óptimo rendimiento, son los parámetros que se consideran en el diseño de una planta de tratamiento de lodos activados:

- **Carga Másica (Cm):** Es la relación entre la carga de materia orgánica que entra al día en el reactor biológico Poza N°3, y la masa de microorganismos existentes en el mismo.

Tiene una relación directa con el rendimiento de depuración de materia orgánica que puede dar la planta. Se expresa como:

$$C_m = Q * S_0 / V * X \text{ (kg DBO}_5\text{/kg MLVSS. día)}$$

Dónde:

Q = Caudal.

S<sub>0</sub> = Carga orgánica al ingreso del reactor biológico, expresada en DBO<sub>5</sub>.

V = Volumen.

X = Sólidos en suspensión volátiles del licor mezcla.

- **Edad del Lodo:** Es la relación entre la masa de Lodos existentes en la Poza N°3 y la masa de Lodos purgados por unidad de tiempo, días normalmente. Según la edad del Lodo tendremos un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO<sub>5</sub>.

Es importante encontrar la edad de Lodo adecuada para la planta en concreto dentro de unos rangos que están relacionados con la carga másica. Se expresa:

$$E = V * X / Q_p * X_p \text{ (días)}$$

Dónde:

$Q_p$  = Caudal de purga de Lodos.

$X_p$  = Sólidos en suspensión volátiles de los Lodos purgados o Lodos en exceso.

- Carga Volumétrica: Es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor, por unidad de tiempo y el volumen del tanque. Se expresa como:

$$C_v = Q * S_0 / V \text{ (Kg DBO}_5\text{/m}^3 \text{ .día)}$$

- Rendimiento en la depuración: Es la relación entre la masa de la materia orgánica eliminada y la del afluente que entra en el reactor biológico. Se expresa en porcentaje de eliminación:

$$R = S_0 - S / S_0 (\%)$$

Dónde:

$S$  = DBO<sub>5</sub> del efluente del decantador o sedimentador secundario.

### 3.7.2. Parámetros de Control

El control se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores relacionados entre sí:

- Cantidad de Lodos que hay que mantener en el proceso respecto a la carga orgánica que ingresa al reactor biológico:

Uno de los factores más importantes en el control de una planta de lodos activados es mantener la cantidad correcta de sólidos en el licor de mezcla. Es necesario mantener suficiente lodo como para lograr una relación balanceada entre la cantidad de carga orgánica proveniente en el agua residual que se desea tratar y la cantidad de sólidos presentes en el reactor biológico. A su vez,

la concentración de sólidos nunca debe incrementarse más allá de lo que permite el sistema de aireación y sedimentación de forma de asegurar siempre las condiciones aerobias y la adecuada claridad del agua de salida.

Para conseguir los rendimientos deseados es fundamental mantener una carga másica ( $C_m$ ) determinada, controlando los Kg de  $DBO_5$  que entran en el tratamiento y la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS- Sólidos Suspendingidos en el Licor Mezclado) del reactor biológico.

Los Sólidos Suspendingidos en el Licor Mezclado ó MLSS, es un parámetro importante que muestra la cantidad de lodo presente en el reactor biológico. La prueba para establecer la cantidad de lodos en el licor de mezcla debe ser hecha 1 vez al mes, en paralelo a cuando se estén tomando muestra para análisis en laboratorio. Consiste en tomar una muestra de una pequeña cantidad de lodo en el reactor biológico. Esta prueba permitirá correlacionar el valor del Índice Volumétrico del Licor IVL-cuyos valores típicos varían de 100 a 150 ml/l, con la capacidad real de sedimentación del lodo, lo cual permitirá determinar anomalías en la operación del sistema, ejemplo: incremento de organismos filamentosos.

Para controlar el incremento de organismos filamentosos, se puede seguir cualquiera, o varios de los siguientes procedimientos:

- Incrementar la carga de lodo.
- Disminuir la cantidad de nutrientes existentes en las aguas residuales.
- Evitar los flujos inestables.
- Evitar las variaciones de temperatura de las aguas en tratamiento.

Otro parámetro asociado importante es MLVSS (Sólidos Suspendingidos Volátiles en el Licor Mezclado) que mide la fracción de masa activa biológica de sólidos en el licor mezclado.

- Decantabilidad de los Lodos en el Clarificador:

La decantabilidad de los Lodos puede determinarse mediante el Índice Volumétrico de Lodos - SVI- o el Índice de Densidad del Lodo - SDI.

El SDI se determina mediante la prueba siguiente:

Se toma 1 litro de muestra del reactor biológico y se sedimenta en una probeta graduada de 1 litro. Se lee el volumen sedimentado del lodo al final de 30 minutos y se aplica la siguiente relación:

$$\text{SDI} = \frac{\text{MLSS (mg/l)}}{\{\text{Lodo sedimentado después de 30 minutos (mg/l) x 1000}\}}$$

Un SDI aceptable tiene un valor de alrededor de 1,0. Un SDI = 1,5 es denso y sedimenta rápidamente. Un SDI menor a 1,0 significa un lodo ligero el cual sedimenta muy lentamente.

El SVI es más utilizado que el SDI y se define como es el valor inverso del SDI:

$$\text{SVI} = \frac{\{\text{lodo sedimentado después de 30 minutos (mg/l) x 1000}\}}{\text{MLSS (mg/l)}}$$

Valores de SVI del orden de 100 representan una buena sedimentación.

- Tiempo de Retención de Sólidos -SRT:

Este parámetro indica el tiempo promedio en que los sólidos son mantenidos en el proceso. Se obtiene mediante:

$$SRT = \frac{MLVSS \text{ en el reactor biológico (Kg)}}{\{\text{Lodo activo desechado (Kg/día) + Sólido perdido en efluente (Kg/día)}\}}$$

- Tiempo de Permanencia del Lodo Activo en el Decantador o Sedimentador Secundario:

El Lodo del decantador debe extraerse tan pronto como se forme la manta de Lodos, cuyo espesor se recomienda que esté comprendido entre 0,3 - 1 metro. Esto se controla mediante el uso de una pértiga de medición de lodos.

- Relación alimento/microorganismos -F/M:

Es la relación que existe entre los kilogramos de DBO<sub>5</sub> que entran en el reactor biológico por día y los kilogramos de MLVSS en el reactor biológico y el sedimentador secundario.

Una relación de F/M alta refleja una carga alta en el sistema de lodos activados, lo cual indica que se puede haber desechado mucho lodo.

Un valor muy alto de F/M (mayor a 0.5) indica normalmente un sistema inestable.

Una relación F/M baja (menor a 0.1) indica que la Planta tiene una baja carga de materia orgánica.

Por lo expuesto, lo ideal es mantener la relación F/M entre 0.1 y 0.5, no habiendo predilección ni diferencia sustantiva por cualquier valor fijo dentro del rango.

- Concentración de Oxígeno Disuelto en el reactor biológico:

Tan importante como el control de la cantidad de lodos es la cantidad de aire que se entrega al sistema, de modo que se mantenga la vida aerobia en el lodo.

El aporte de O<sub>2</sub> al reactor biológico debe ser suficiente para que los microorganismos puedan respirar y oxidar la materia orgánica y debe regularse en función de la carga orgánica que llegue.

El operador del sistema deberá velar por la aireación, de manera que supervise que el O<sub>2</sub> no disminuya a niveles críticos, a modo de evitar pasar a fases anaerobias. Se recomienda que se tome lecturas diarias de potencial Redox, en milivoltios - mV, en al menos 3 puntos diferentes del reactor biológico.

El potencial Redox es una medida de la actividad de los electrones y está relacionado con el pH y el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que mientras este mide la actividad de protones el potencial Redox mide la actividad de electrones.

- Caudal de Recirculación:

Regula la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS-Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado) del tanque de recirculación.

- Extracción de Lodos en Exceso:

Regula la edad del Lodo y la concentración de MLSS en la poza de concentrado de lodos.

Existen otros factores que no son controlables, pero que influyen decisivamente en el rendimiento, como son:

- Características de las Aguas Residuales Brutas:

Caudales, concentraciones de DBO<sub>5</sub>, presencia de tóxicos e inhibidores, etc. Es fundamental controlar, mediante muestreos, las características de las aguas a tratar. Así mismo hay que controlar los aumentos de caudal y arrastres de arena.

- Calidad Exigida al Efluente:

Porcentaje de eliminación de DBO<sub>5</sub>, SS, bacterias, coliformes, nitrógeno, grasas, etc. La calidad que las autoridades exijan al agua de salida de la planta, va a determinar tanto el funcionamiento del proceso como el control del mismo. Si se requiere un alto grado de tratamiento, el proceso deberá estar muy controlado y probablemente se requiera de un tratamiento adicional.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

La planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la fábrica de producción de almidones opera los 365 días al año, para lo cual cuenta con 3 operadores que laboran en 3 turnos rotativos de 8 horas al día.

La planta de tratamiento cuenta con un laboratorio propio para realizar los análisis diarios para el control operacional, los equipos disponibles son:

- Medidor de pH, modelo 3510 PH, JENWAY
- Medidor Portátil de Oxígeno Disuelto, Modelo HQ30d, HACH
- Reactor Digital, Modelo DRB200, HACH
- Colorímetro, Modelo DR890, HACH
- Incubadora para DBO, Modelo LI5-2, SHELLAB
- Turbidímetro, Modelo 2100Q, HACH

El control operacional de la planta de tratamiento de lodos activados consiste en el control de los siguientes parámetros:

- pH, se mide cada 4 horas en cuatro puntos de monitoreo: Ingreso a la poza de sedimentación P1, ingreso a la poza de equalización P2, al ingreso del reactor biológico P3 y a la salida del reactor biológico P3.

- $\text{SO}_2$ , se mide cada 4 horas en tres puntos de monitoreo: Ingreso a la poza de sedimentación P1, ingreso a la poza de equalización P2 y al ingreso del reactor biológico P3.
- Oxígeno Disuelto, se mide cada 4 horas en un punto de monitoreo: Reactor biológico P3.
- DQO, se mide los lunes, miércoles y viernes en cuatro puntos de monitoreo: Ingreso a la poza de sedimentación P1, salida de la poza de equalización P2, salida del pozo pulmón 1A y salida del decantador secundario.
- DBO, se mide los jueves y sábados en tres puntos de monitoreo: salida de la poza de equalización P2, salida del pozo pulmón 1A y salida del decantador secundario.
- Nitrógeno, se mide los lunes en dos puntos de monitoreo: salida de la poza de equalización P2, salida del pozo pulmón 1A.
- Fósforo, se mide los lunes en dos puntos de monitoreo: salida de la poza de equalización P2, salida del pozo pulmón 1A.
- SSV, se mide los lunes, miércoles y viernes en dos puntos de monitoreo: reactor biológico P3 y salida del decantador secundario.
- Sedimentabilidad del lodo en 30 min, se mide diario en un punto de monitoreo: reactor biológico P3.
- Volumen de Afluentes, se registra el volumen diario de ingreso de las aguas residuales a la planta de tratamiento para lo cual contamos con medidores de caudal en línea ubicados al ingreso de la poza 1 y a la salida de la planta de tratamiento.

Para regular la concentración de pH del afluente del reactor biológico utilizo soda caustica líquida diluida en agua al 33%, que se dosifica a la salida del equalizador P2.

Para regular la concentración de SO<sub>2</sub> del afluente del reactor biológico utilizo hipoclorito de sodio diluido en agua al 25%, que se dosifica a la salida del ecualizador P2.

Cuando hay déficit de nitrógeno en el reactor biológico adiciono directamente urea en polvo.

Para controlar los olores del sedimentador primario P1 esparzo peróxido de hidrógeno en las tres cámaras de sedimentación.

A continuación, muestro los resultados obtenidos en el procesamiento de las mediciones diarias registradas en la operación de la planta de tratamiento desde el año 2012 hasta el año 2016.

**Tabla N°11: Resultados de operación de planta de tratamiento de lodos activados de fábrica de almidones**

PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS									
Año	P ingreso	N ingreso	pH ingreso	pH salida	OD	SO <sub>2</sub> ingreso	Caudal ingreso (m <sup>3</sup> /h)	F/M	SSV
2012	345	400	6.20	8.26	2.43	4.00	2.40	0.32	5265
2013	283	428	6.10	8.18	2.27	4.00	2.40	0.29	6386
2014	84	298	6.00	8.10	2.24	4.00	2.30	0.30	6063
2015	126	485	5.90	8.71	1.99	4.00	2.00	0.26	7940
2016	122	407	6.00	8.55	1.72	3.80	2.00	0.27	8129

FUENTE: Elaboración propia

En el Tabla N°11 muestro los promedios anuales obtenidos de las mediciones realizadas a la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados de la fábrica de almidones desde el año 2012 hasta el año 2016, los parámetros medidos corresponden a las mediciones realizadas al ingreso del reactor biológico (Fosforo (P), Nitrógeno (N), pH<sub>ingreso</sub>, Caudal y SO<sub>2</sub>), en el reactor biológico (OD, F/M y SSV) y a la salida del reactor biológico (pH).

- Fosforo (P): La concentración de fosforo al ingreso del reactor biológico ha descendido en los dos últimos años, llegando a su valor más bajo en el año 2014.

- **Nitrógeno (N):** La concentración de nitrógeno se ha mantenido dentro del rango en los 5 años evaluados, registrándose la concentración más baja en el año 2014 al igual que el fosforo.
- **pH:** Dado que el sistema de tratamiento empleado es un sistema biológico es importante controlar el nivel de pH del agua residual que ingresa al reactor biológico, dado que es característico que el efluente de la fábrica de producción de almidones sea ácido se debe regular el pH dosificando soda caustica diluida en agua antes del ingresar al reactor biológico. El afluente del reactor biológico debe encontrarse en un rango de pH entre 5.5 y 6.5, para mantener las condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos.
- **SO<sub>2</sub>:** El azufre es un insumo utilizado en el proceso de cocimiento de la materia prima en la producción de almidones, por lo que se controla la concentración del dióxido de azufre en el afluente a la planta de tratamiento de aguas residuales y se regula su concentración con hipoclorito de calcio diluido en agua al ingreso del reactor biológico hasta un rango óptimo entre 3.5 y 4.5.
- **Caudal:** El caudal de alimentación al reactor biológico dependerá de la carga orgánica (DQO) del afluente, el cual está diseñado para recibir máximo 600 kg DQO/día. Como podemos ver en los dos últimos años el caudal de alimentación promedio ha descendido a 2 m<sup>3</sup>/h, es decir como máximo se ha tratado 48 m<sup>3</sup>/día debido a que los efluentes tienen mayor carga orgánica.
- **Relación Alimento / Microorganismos (F/M):** De los 5 años evaluados se observa que la relación F/M no es constante y que se encuentra entre un rango de 0.26 y 0.32, lo cual indica que tenemos un sistema estable ya que los valores promedios de los 5 años se encuentran por debajo de 0.5.
- **Oxígeno Disuelto (OD):** Debido a que nuestro sistema es aerobio, es vital mantener y asegurar un buen nivel de oxigenación en el reactor biológico para el crecimiento y reproducción de los microorganismos, asegurando así la eficiencia en depuración de la materia orgánica. Se observa que la concentración de OD ha ido en descenso desde el año 2012 hasta el año 2016.

- **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):** Como podemos observar en los cinco años evaluados de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados la concentración de sólidos se ha ido incrementando considerablemente en el reactor biológico, estos valores están directamente relacionados con el incremento de la carga orgánica generada por la planta de producción de almidones. La máxima concentración de SSV en el reactor biológico es de 7000 mg/l, el incremento de la concentración de los SSV indica exceso de materia orgánica en el reactor, mayor requerimiento de oxígeno en el sistema para mantener un buen equilibrio en el crecimiento y reproducción de los microorganismos y mayor generación de lodos en el sistema, es decir a mayor SSV se incrementa el costo de operación del sistema por consumo de energía y por costo de disposición de lodos en un relleno sanitario.

**Tabla N°12: Tiempo de Retención en cada unidad de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados**

<b>Unidad de Tratamiento</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cámaras</b>	<b>Volumen Unitario</b>	<b>TRH (días)</b>
Poza 1- Sedimentador Primario	108	3	36	0.72
Poza 2 - Ecuilizador	108	1	108	2.16
Poza 1A - Poza Pulmón	250	1	250	5.00
Poza 3 - Reactor Biológico	1500	1	1500	30.00
Sedimentador Secundario	72	6	12	0.24

FUENTE: Elaboración Propia

En el Tabla N°12 se muestra un parámetro de control operacional, el tiempo de retención hidráulica en cada unidad de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, y cómo podemos observar la planta de tratamiento esta sobre dimensionada presentando tiempos de retención muy altos, de hasta 30 días como es el caso del reactor biológico. Los altos tiempos de retención hidráulica generan mayores costos de operación en energía de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla N°13: Parámetros de operación reactor biológico**

Año	PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO		
	IVL Sedimentación 30'	Recirculación de Lodo (m <sup>3</sup> /h)	Actividad Biológica
2012	936	4.30	Buena
2013	953	4.80	Alta
2014	970	4.80	Buena
2015	988	4.80	Buena
2016	990	4.80	Media

FUENTE: Elaboración propia

En el Tabla N°13 se presentan los resultados promedios obtenidos del control operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados, donde se puede observar cómo ha descendido la sedimentabilidad en 30 minutos medido en el reactor biológico desde el año 2012 al año 2016. Lo cual es un indicativo de que en los últimos años la separación de los sólidos y el líquido son más lentas, es decir se dificulta más.

La recirculación del lodo del sedimentador secundario al reactor biológico se ha mantenido constante en los últimos 4 años evaluados y la actividad biológica en el reactor biológico ha descendido en el último año evaluado.

**Tabla N°14: Eficiencia de remoción de carga orgánica en el reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales**

AÑO	DQO <sub>ingreso</sub>	DQO <sub>salida</sub>	EFICIENCIA DE REMOCIÓN			
			Eficiencia DQO	DBO <sub>5</sub> ingreso	DBO <sub>5</sub> salida	Eficiencia DBO <sub>5</sub>
2012	10,619	159	98.50%	8,995	19.07	99.79%
2013	11,644	136	98.83%	9,515	14.77	99.84%
2014	11,844	295	97.51%	10,106	22.00	99.78%
2015	16,090	371	97.69%	12,644	30.97	99.76%
2016	15,817	363	97.71%	13,719	33.47	99.76%

FUENTE: Elaboración propia

En el Tabla N°14 se presenta la eficiencia de remoción de carga orgánica promedio obtenida en el reactor biológico en los 5 años evaluados de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria de producción de almidón desde el año 2012 al año 2016, logrando una eficiencia de remoción promedio de la DQO de 98.05% y de la DBO<sub>5</sub> de 99.79%.

**Tabla N°15: Comparación de la eficiencia obtenida en el sistema de tratamiento de lodos activados de la fábrica de producción de almidones y las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales industriales**

PROCESO	DBO <sub>5</sub>	DQO	SSV
<b>Tratamiento Secundario</b>			
Filtros percoladores	50% - 95%	50% - 80%	50% - 92%
<b>Lodos activados</b>	<b>55% - 95%</b>	<b>50% - 80%</b>	<b>55% - 95%</b>
Lagunas Primarias	75% - 85%	60% - 70%	85% - 95%
Lagunas Secundarias	90% - 95%	80% - 70%	85% - 95%
Lagunas Terciarias	85% - 95%	60% - 70%	85% - 95%
<b>Fábrica de producción de almidones Sistema de Lodos Activados</b>	<b>99.79%</b>	<b>98.05%</b>	<b>97%</b>

FUENTE: Elaboración propia.

En el Tabla N° 15 se muestra las eficiencias de remoción logradas en la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de la fábrica de producción de almidones.

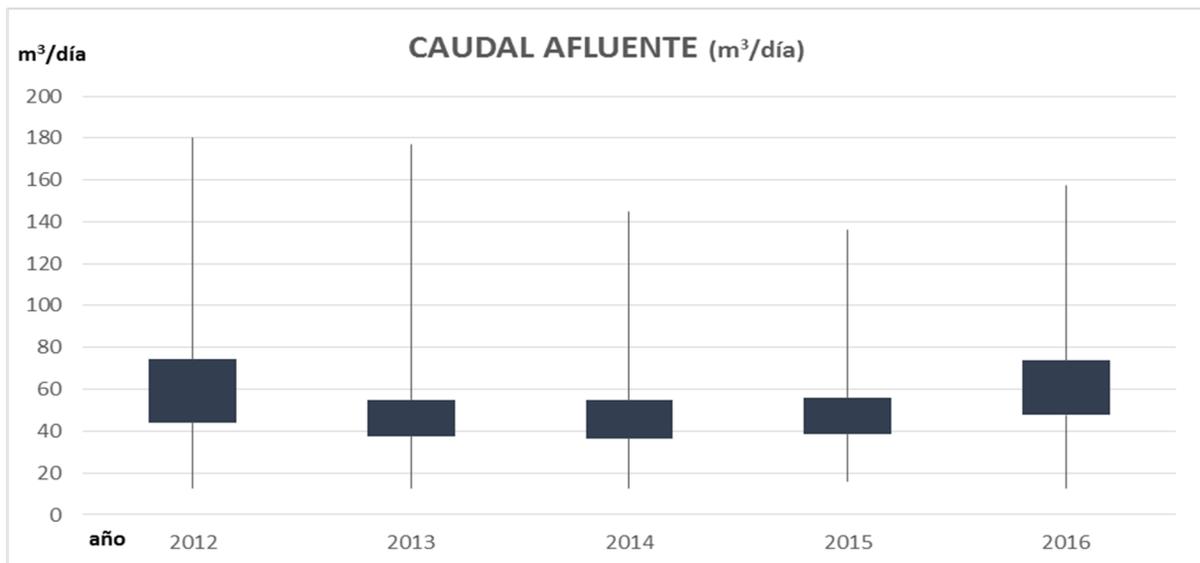
La eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> promedio de los 5 años evaluados (2012 ó 2016) es del 99.79%, eficiencia que supera las estimadas teóricamente por un sistema de lodos activados cuya eficiencia máxima es del 95%, para el caso de la DQO se obtiene una eficiencia promedio de 98.05% que también supera las eficiencias estimados para el mismo sistema de tratamiento de lodos activados que es del 80% y de las otras tecnologías de tratamiento mostradas en el Tabla. La eficiencia de remoción de los SSV obtenida es del 97% que al igual que los dos parámetros evaluados anteriormente supera las eficiencias estimadas de las tecnologías de tratamiento presentadas en el Tabla comparativo.

Las altas eficiencias obtenidas en los parámetros de  $DBO_5$ , DQO y SSV se deben al sobredimensionamiento del reactor biológico cuyo tiempo de retención hidráulica es de 30 días, lo cual permite que el sistema de tratamiento no colapse a pesar de que en los últimos años se ha incrementado considerablemente la carga orgánica eliminada por la planta de producción de almidones.

#### 4.1. Comportamiento del Caudal del Afluyente

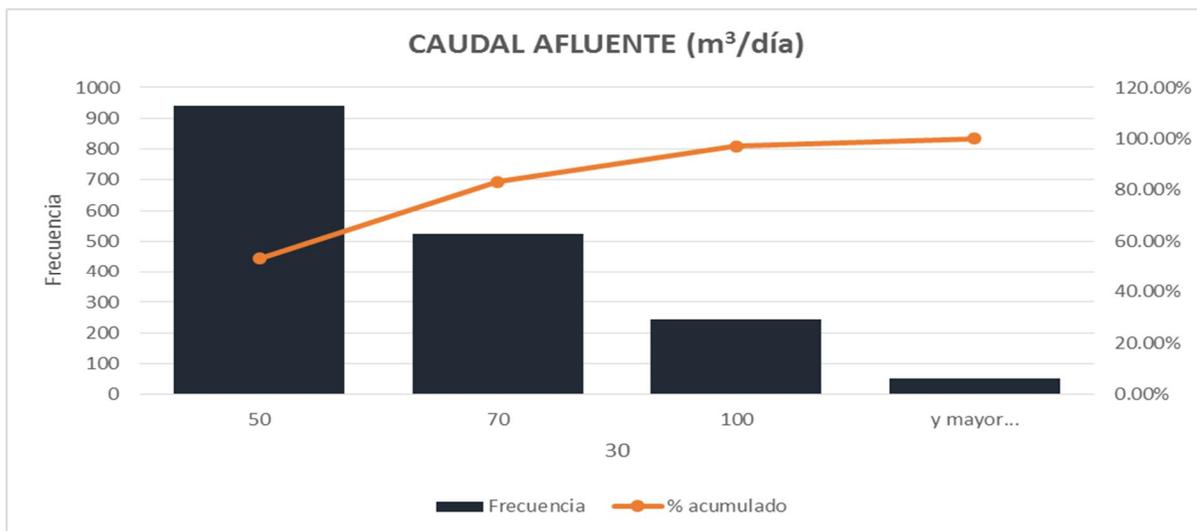
En la figura N°32 se muestra el caudal diario registrado en los 5 últimos años, se observa un comportamiento heterogéneo, con un caudal cuya tendencia desde el año 2013 al 2015 era en descenso, registrándose un caudal del afluyente de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales dentro del rango óptimo de  $50 \text{ m}^3/\text{día}$ .

En el año 2016 se observa un cambio en la tendencia, el caudal del afluyente se incrementa concentrándose los valores registrados por encima del rango óptimo, registrándose máximos diarios de hasta  $158 \text{ m}^3/\text{día}$ , lo cual genera un problema de disponibilidad de espacio en la planta de tratamiento ya que a mayor caudal los tiempos de retención hidráulica se reducen y esto puede generar inestabilidad en el sistema si también se registra una concentración de carga orgánica alta.



**Figura N° 32: Registro del Caudal Afluyente**

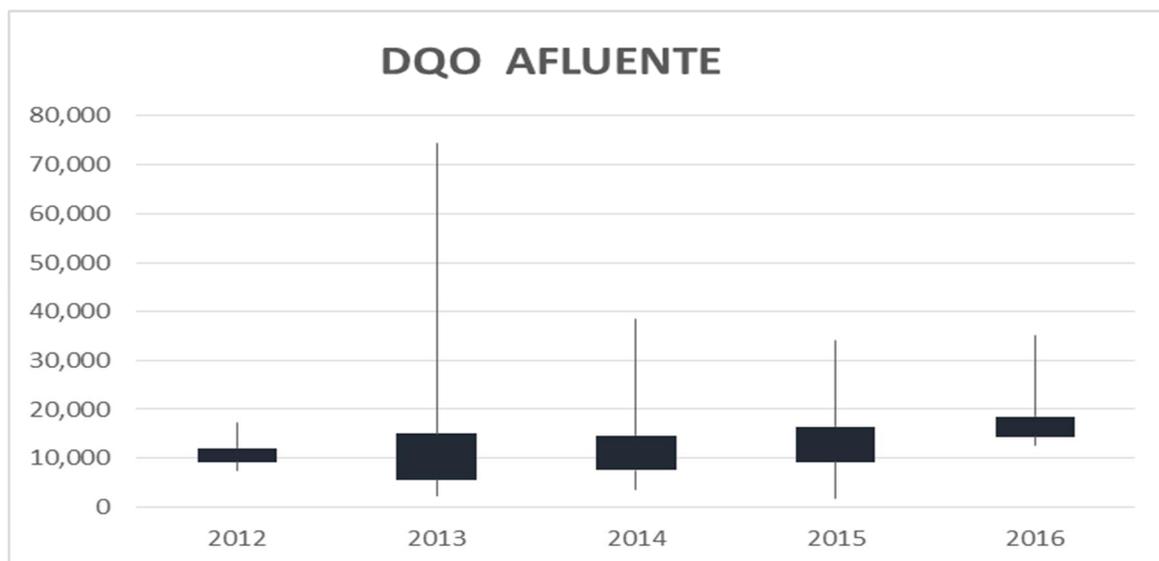
En la figura N°33 se observa que los valores registrados en los últimos 5 años se concentran en un rango de valor por debajo de los 50m<sup>3</sup>, y los valores registrados en rango mayores a los 50 m<sup>3</sup> son poco frecuentes.



**Figura N° 33: Registro del Caudal Afluente**

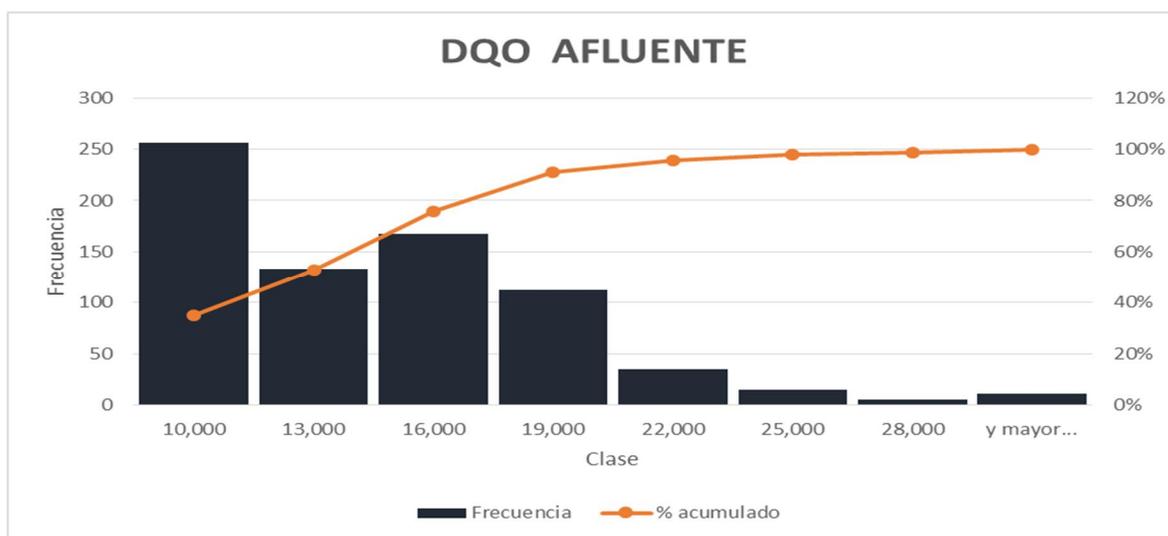
#### 4.2. Comportamiento de la DQO del Afluente

En la Figura N°34 se muestra el comportamiento de la demanda química orgánica registrado en los 5 últimos años, se observa que en el año 2013 se registró el valor más alto, por encima de los 70,000 ppm y también se registró una tendencia al ascenso conforme pasaron los años, registrándose una concentración alta de carga orgánica en el año 2016.



**Figura N°34: Registro de la DQO del Afluyente**

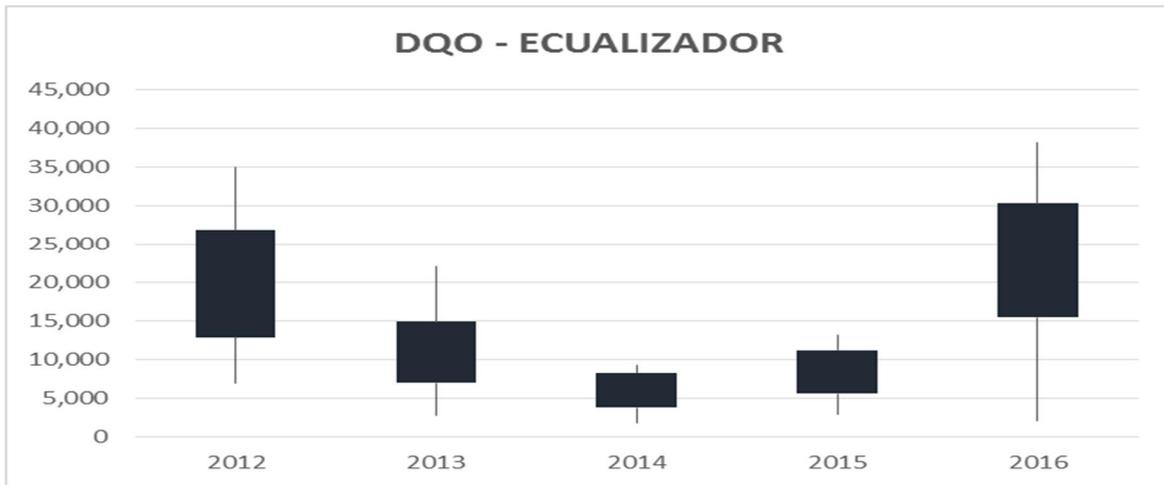
En la figura N°35 se observa que un porcentaje importante de los valores registrados en los últimos 5 años se concentra rangos de mayores a 13,000 ppm y menores de 19,000 ppm.



**Figura N° 35: Registro de la DQO del Afluyente**

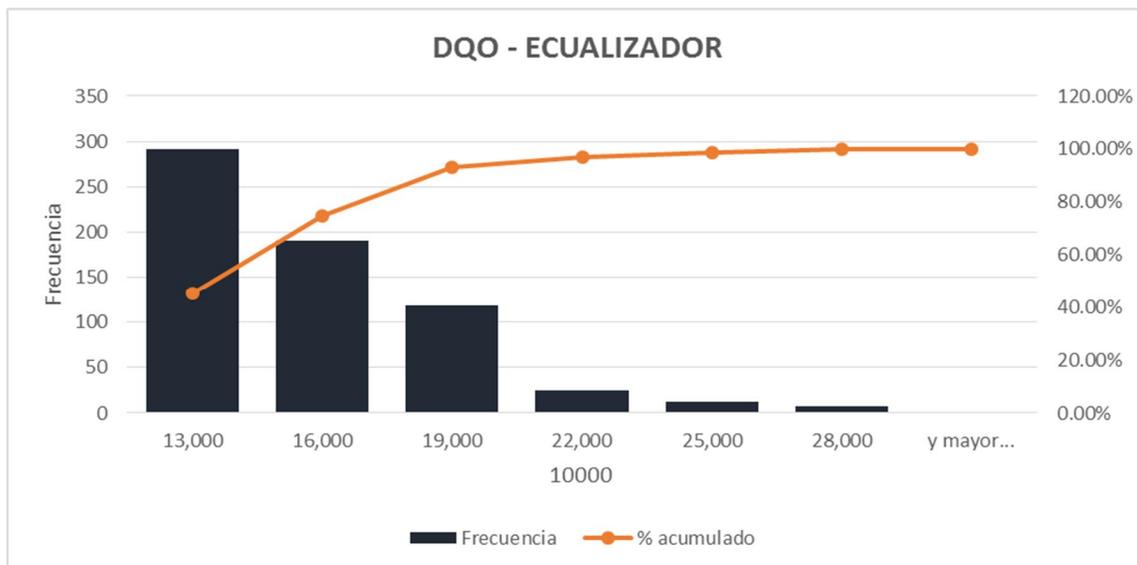
#### 4.3. Comportamiento de la DQO en el Tratamiento Primario

En la Figura N°36 observamos que en el año 2016 se registra un incremento significativo en la DQO a la salida del tanque ecualizador, registrándose en ese mismo año los valores más elevados de los últimos 5 años, estando por encima de los 35,000 ppm el valor registrado.



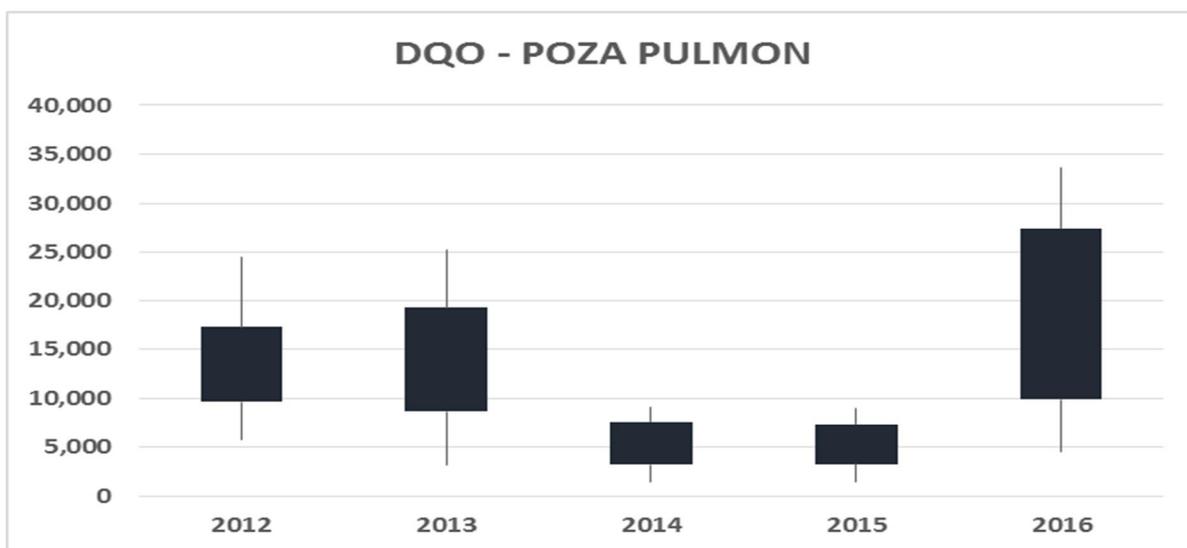
**Figura N°36: Registro del DQO del Pozo Ecualizador**

En la figura N°37 observamos que de los valores registrados en los últimos 5 años han sido más frecuentes los valores del rango menor a 13,000 ppm y se observa también que hay una frecuencia significativa para valores registrados en un rango mayor a 13,000 ppm y menor a 22,000 ppm.



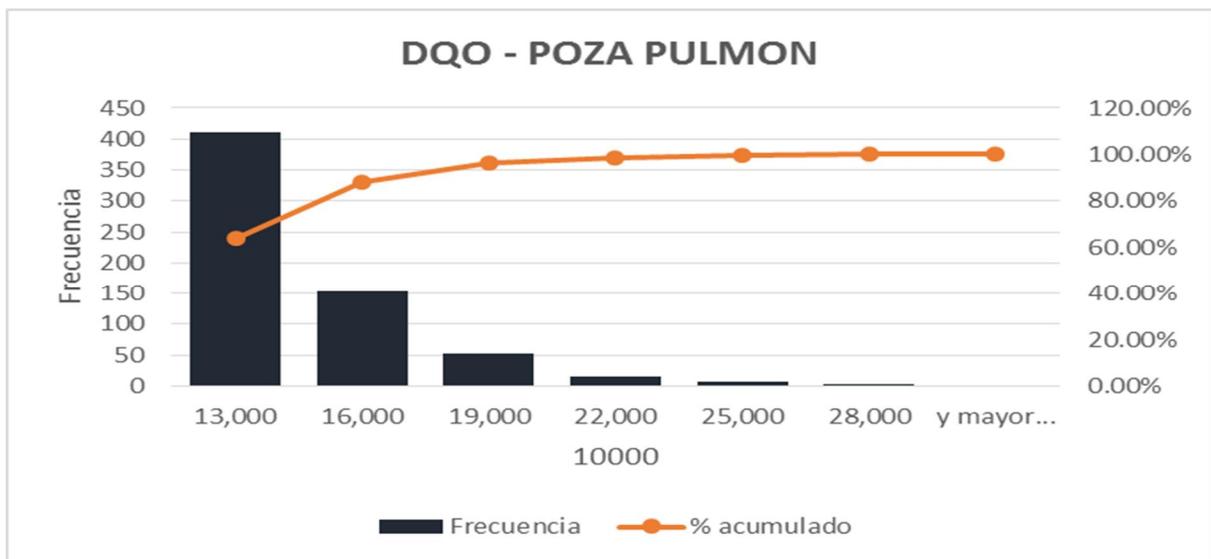
**Figura N° 37: Registro del DQO del Pozo Ecuatorial**

En la figura N°38, observamos que se mantiene la tendencia registrada en el pozo ecuatorial, incrementándose significativamente en el año 2016 la DQO a la salida del tanque pulmón, registrándose también en ese mismo año los valores más elevados de los últimos 5 años, registrándose un rango amplio en sus registros.



**Figura N° 38: Registro del DQO del Pozo Pulmón**

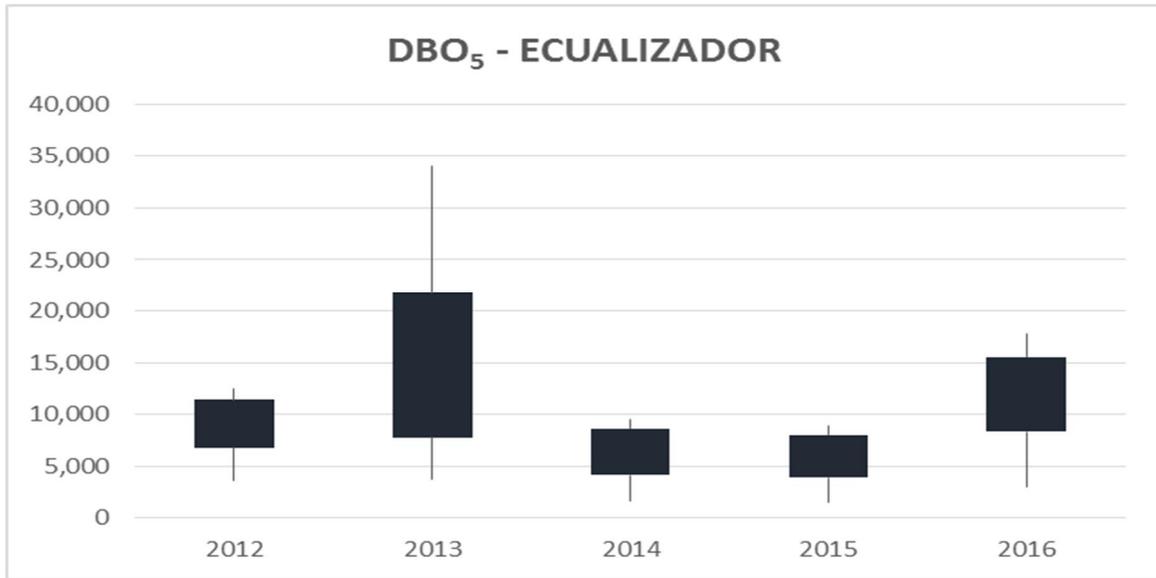
En la figura N°39, observamos que se mantiene la tendencia registrada en el pozo ecualizador, incrementándose significativamente en el año 2016 la DQO a la salida del tanque pulmón, registrándose también en ese mismo año los valores más elevados de los últimos 5 años, registrándose un rango amplio en sus registros. También observamos que de los valores registrados en los últimos 5 años han sido más frecuentes los valores del rango menor a 13,000 ppm y se observa también que hay una frecuencia significativa para valores registrados en un rango mayor a 13,000 ppm y menor a 19,000 ppm, siendo los más frecuentes los valores registrados en el rango menor a 16,000 ppm.



**Figura N° 39: Registro del DQO del Pozo Pulmón**

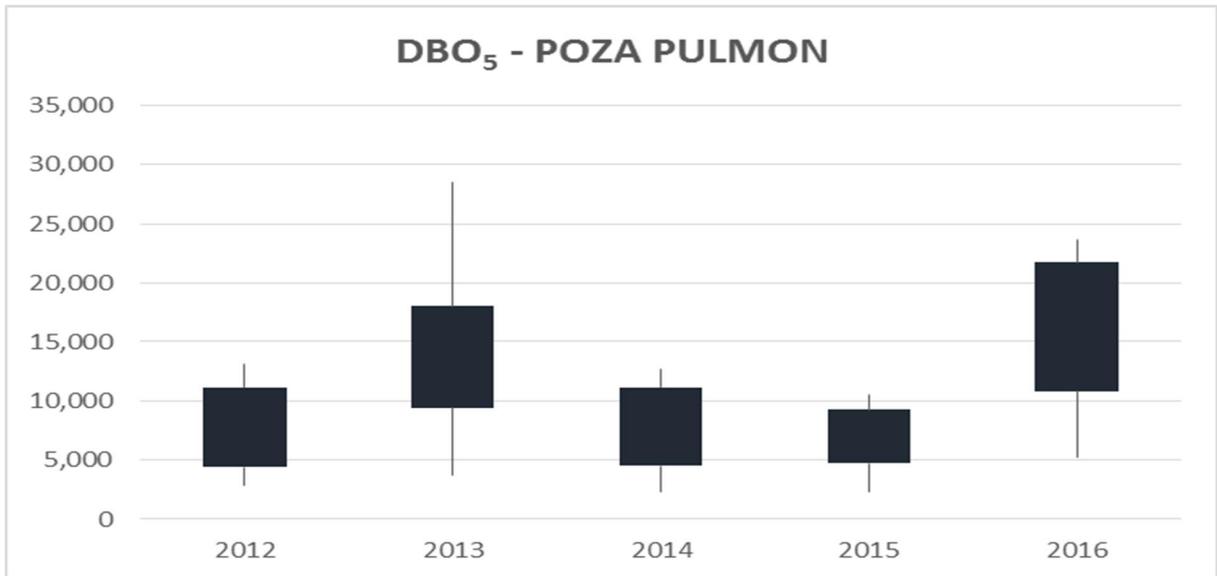
#### 4.4. Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> en el Tratamiento Primario

En la figura N°40 observamos que se registró un incremento de DBO<sub>5</sub> en el año 2013 y en el año 2016, registrándose los valores más variables en el año 2013.



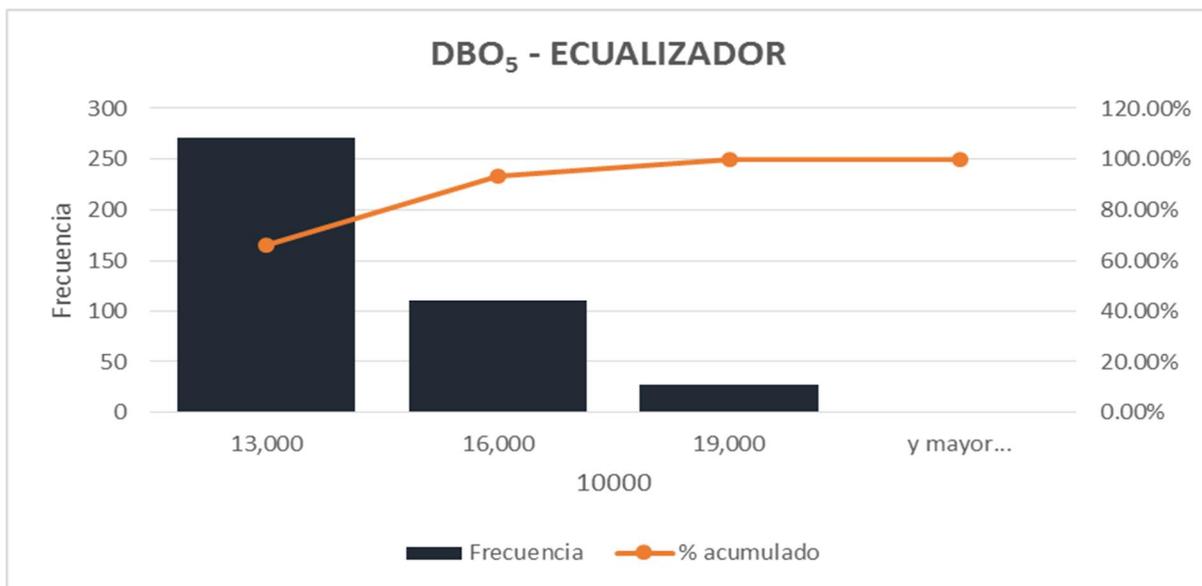
**Figura N°40: Registro del DBO<sub>5</sub> del Pozo Ecuatorial**

En la figura N° 41 observamos que se mantiene la misma tendencia registrada en el pozo ecuatorial, registrándose un incremento de DBO<sub>5</sub> en el año 2013 y en el año 2016, registrándose los valores más variables y altos en el año 2016.



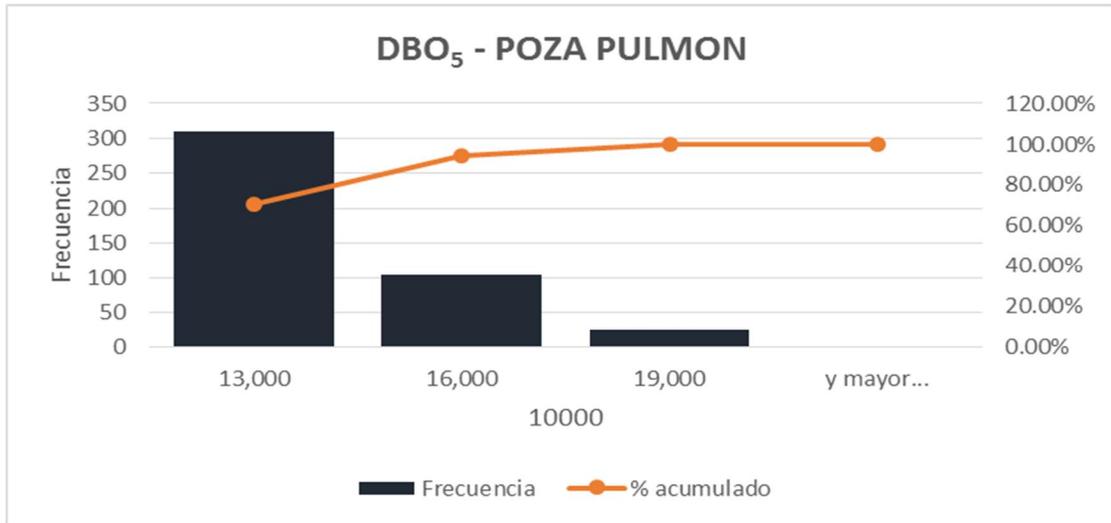
**Figura N° 41: Registro de la DBO<sub>5</sub> del Pozo 1A óPoza Pulmón**

En la figura N°42 observamos que de los valores registrados en los últimos 5 años han sido más frecuentes los valores del rango menor a 13,000 ppm y se observa también que hay una frecuencia significativa para valores registrados en un rango mayor a 13,000 ppm y menor a 16,000 ppm.



**Figura N° 42: Registro del DBO<sub>5</sub> del Pozo Ecuatorial**

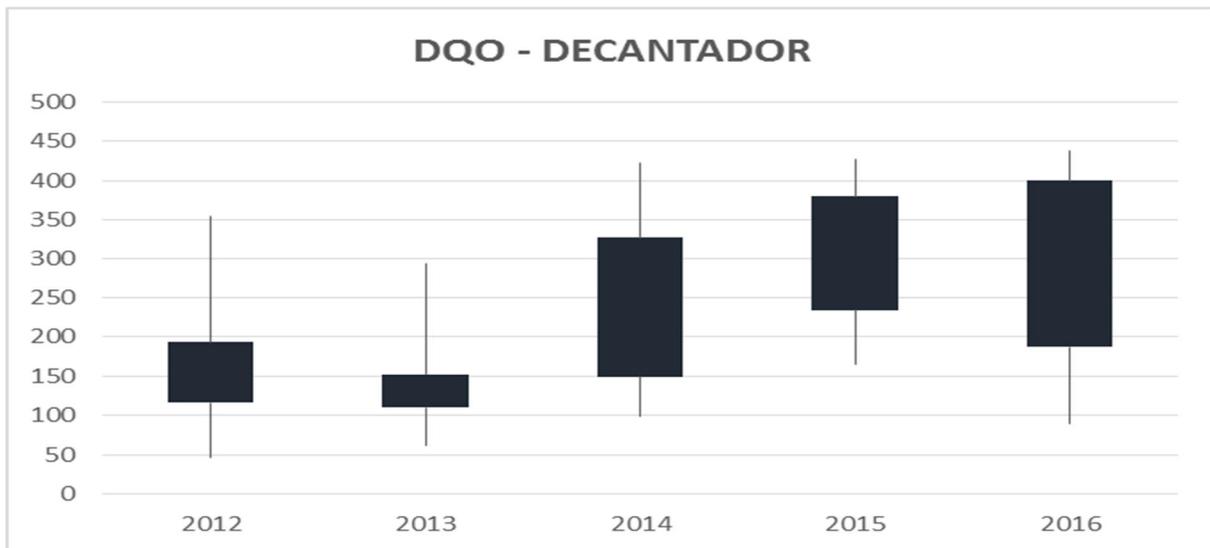
En la figura N° 43 observamos que de los valores registrados en los últimos 5 años han sido más frecuentes valores del rango menor a 13,000 ppm y es significativo la diferencia de las frecuencias registradas de un rango a otro.



**Figura N° 43: Registro de la DBO<sub>5</sub> de la Poza Pulmón**

4.5. Comportamiento de la DQO a la salida del Decantador Secundario

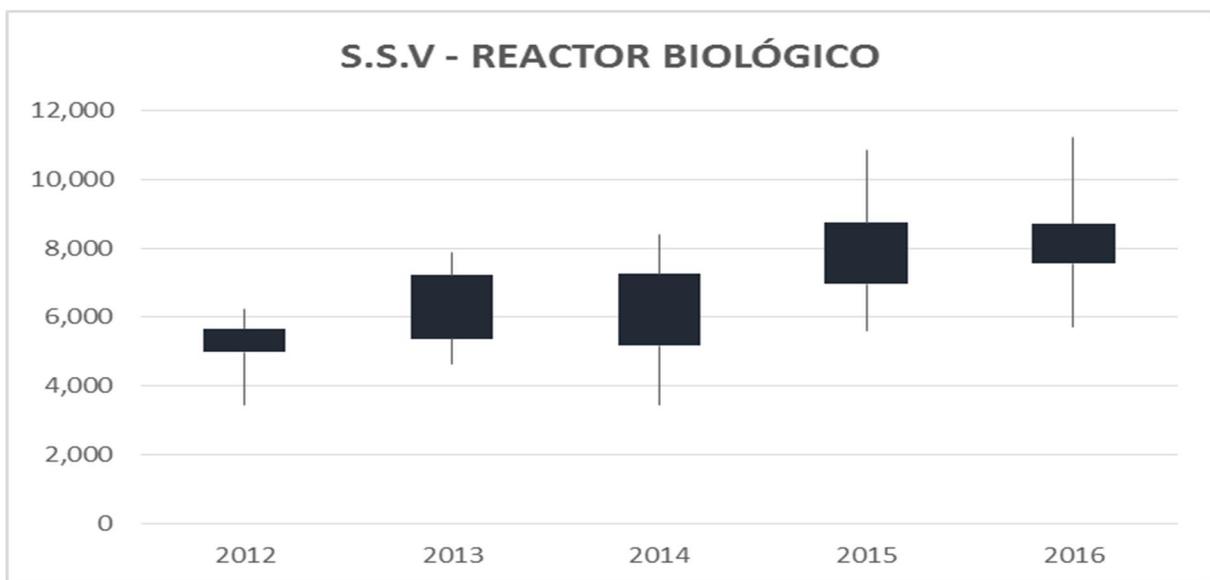
En la figura N°44 observamos que de los valores registrados en los últimos 5 años la DQO a la salida del decantador se ha ido incrementando registrándose valores por encima de los límites máximos permisibles (LMP, ver Anexo N°1).



**Figura N° 44: Registro de la DQO a la Salida del Decantador**

#### 4.6. Comportamiento de los SSV en el Reactor Biológico

En la figura N°45 observamos que de los valores registrados en los últimos 5 años de los SSV en el reactor biológico han ido en ascenso. En el año 2016 se registró una concentración máxima de 11,200 mg/lit que es la concentración máxima registrada en los 5 años evaluados (2012 ó 2016), el incremento de los SSV en el reactor biológico por encima de la concentración óptima generó inestabilidad en el sistema por lo que se procede con eliminar el lodo excedente en el sistema, lo cual generó incremento de costos por disposición final de lodos secundarios.



**Figura N° 45: Registro de los SSV en el reactor biológico**

## V. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en la caracterización de efluentes, indican que el agua residual presenta un elevado contenido de materia orgánica suspendida y disuelta, en la mayoría de los puntos. Como lo demuestran los resultados de DBO, DQO, SST y SDT.
- Los resultados de caracterización de efluentes en los procesos de almidones modificados (DCROS, TEX y DCAT), presentan materia orgánica que, en su mayoría, esta disuelta, teniendo un pH ácido, por lo que se deberá acondicionar los efluentes antes de ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados, utilizando un tratamiento químico previo, que le permita neutralizar el pH y remover entre un 30% a 40% de la DBO<sub>5</sub> suspendida y disuelta, para que luego el efluente ingrese al reactor biológico. A la salida del decantador secundario se puede implementar un sistema de tratamiento terciario, para disminuir el color del efluente (causado por la materia orgánica disuelta), puede considerarse un filtro de arena o de carbón activado.
- En los resultados de caracterización de los efluentes generados en la torre de enfriamiento de refinación de glucosa, se obtiene una DBO<sub>5</sub> de 2.1 mg/l y el caudal que aportan a la planta de tratamiento de lodos activados es de 1.27 l/s en promedio, por lo que deberían ser descargados directamente al río, dado que no presentan materia orgánica contaminante y su caudal no es significativo.
- Los valores registrados en los últimos 5 años del monitoreo realizado como parte del control diario de la planta de tratamiento de aguas residuales muestra un incremento en los efluentes generados en el proceso productivo el cual está relacionado con el incremento de la producción, lo que genera un problema de capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados.

- Los valores obtenidos en el monitoreo diario de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados muestra que la carga orgánica se ha incrementado considerablemente en el efluente de la planta de producción de almidones, registrándose valores de DQO que sobrepasan los 16,000 ppm llegando a registrarse valores por encima de 28,000 ppm, generando problemas en el sistema de tratamiento ya que sobrepasa la capacidad de diseño.
- Se cuenta con un sedimentador primario que genera problemas de olores ya que los sólidos sedimentados en la cámara existente en cada nivel se encuentran en condiciones anóxicas y los sólidos son retirados una vez que las cámaras se llene que en promedio se da cada dos meses.
- La planta de tratamiento de lodos activados cuenta con una poza ecualizadora y un tanque pulmón cuya función es acondicionar y homogenizar las aguas residuales para el tratamiento biológico, sin embargo, de los monitoreos realizados los últimos cinco años se concluye que no hay una reducción de la carga orgánica desde el sedimentador primario, hacia el pozo ecualizador y el tanque pulmón. Registrándose valores más altos en los procesos de tratamiento siguiente.
- Debido a que, en los pozos, ecualizador y el tanque pulmón no se da un proceso de remoción de carga orgánica, se presenta problemas por las altas concentraciones de carga orgánicas limitando el caudal de alimentación al sistema biológico a 2 m<sup>3</sup>/h, lo que genera otro problema de disponibilidad de espacio para la recepción de los efluentes de planta.
- A pesar de contar con un sistema biológico para la recepción de aguas residuales con concentraciones que sobrepasan sus parámetros diseño, este sigue presentando eficiencias de remoción por encima del 90% debido a que el tiempo de retención hidráulico es de 31 días, pero esto no es suficiente para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema de tratamiento.
- Debido al incremento de la carga orgánica del afluente de la planta de tratamiento de lodos activados y las condiciones limitadas con las que se cuenta, la carga orgánica se ha ido incrementado en el último año de forma significativa.

- La planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados evaluada, cuenta con un sistema de tratamiento que no resulta eficiente bajo las condiciones actuales donde se ha incrementado el caudal de las aguas residuales a tratar y la concentración de la carga orgánica generada el último año se ha incrementado significativamente, lo que ha generado incremento en la generación de lodos primarios y secundarios, ocasionando incremento en los costos de disposición final.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Acondicionar previamente los efluentes procedentes de los procesos de almidones modificados, a través de aireación prolongada para homogenizar las características de los distintos procesos y luego incluir un tratamiento químico, que garantice la neutralización del pH y la remoción de la materia orgánica disuelta hasta un 50%, de estos efluentes, lo que disminuirá la inversión en el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, dado que disminuiría la cantidad de DBO y a la vez se disminuiría el consumo de energía eléctrica durante la operación del sistema biológico ya que requerirá menor tiempo de aireación.
- Se recomienda implementar un sistema de tratamiento que garantice un efluente tratado que cumpla con la norma aplicable, ya sea los límites máximos permisibles para descarga a un cuerpo receptor o el valor máximo admisible para vertimiento al alcantarillado.
- Se plantea dos sistemas de tratamiento, las cuales pasamos a detallar:

Sistema de lodos activados + filtro biológico:

Teniendo en cuenta que, actualmente contamos con una planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados, se puede ampliar su capacidad aumentando la profundidad, para esto se colocará difusores en el fondo y en la parte superficial se seguirá trabajando con los aireadores existentes, con estos cambios se aumentará la capacidad de tratamiento del proceso de Lodos Activados, luego el efluente pasará a un filtro biológico mecánico, donde se removerá la materia orgánica suspendida que esté remanente y parte de los sólidos disueltos que dan el color al efluente, finalmente ingresará a un sedimentador, donde terminará de removerse las partículas aglomeradas en el filtro biológico, que no hayan podido sedimentar.

### Sistema UASB + Filtro biológico:

En el mismo espacio donde existe la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados, se adaptará los tanques de aireación para convertirlos en un UASB, proceso anaerobio, lo cual garantizará una remoción de materia orgánica entre 50% a 60%, no requiere energía eléctrica, como sub productos generara lodos no peligrosos y el gas metano el cual se puede quemar o en su defecto dejar que se pierda en el ambiente, dado que por el caudal a tratar el caudal de metano es muy bajo. Luego el efluente pasará a un filtro biológico con inyección de aire, para esto se trabajará con un soplador, en esta fase se removerá la materia orgánica suspendida que este remanente y parte de los sólidos disueltos que dan el color al efluente, finalmente ingresará a un sedimentador, donde terminará de removerse las partículas aglomeradas en el filtro biológico, que no hayan podido sedimentar.

Para ambos casos se colocará un sistema de desinfección al final.

- Si no se cuenta con la inversión para realizar un mejoramiento en todo el sistema de tratamiento de lodos activados, se recomienda empezar por mejorar el sistema de pre tratamiento y tratamiento primario, instalando un tanque ecualizador con aireación continua para eliminar los problemas de olores que se tienen actualmente, en este tanque se direccionarán los afluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de lodos activados desde la poza de recepción y los efluentes generados del proceso de almidones modificados se direccionaran a un tanque diferente que será para su uso exclusivo y también contará con aireación continua y se encargara de homogenizar las aguas para posteriormente alimentar al tanque de ecualización. Del tanque de ecualización se direccionará hacia un proceso químico que se implementará que contará con la adición de un coagulante y floculante que reducirá la concentración de carga orgánica que posteriormente ingresará al proceso biológico de lodos activados.

Se recomienda implementar una centrifuga para reducir la humedad de los lodos generados en el proceso de tratamiento para reducir los costos de disposición final.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CHARPENTIER, J. (2014). Tratamiento de Aguas Residuales con Lodos Activados. 80p.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA DE MEXICO. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Tomo 51. 241p.
- CRITES. TCHOBANOGLOUS. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 776p.
- ECOFLUIDOS. (2011). Caracterización de Aguas Residuales Industriales. Fábrica de Almidones. 173p.
- HENZE, M. LOODRECHT, M. EKAMA, G.BRDJANOVIC, D. (2008). Biological Wastewater Treatment. Primera Edición. 528p.
- JÁCOME, J. DEL RÍO, H. TORRES, D. BLANCO, J. SUÁREZ, J. Análisis de Criterios para la Selección de Sistemas de Depuración de Aguas Residuales en el Medio Rural. 28p.
- MEFCALF, E. (1998). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera Edición. 1485p.
- NOYOLA, A. MORGAN, J. GUERECA, L. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. 123p.

- RIGOLA, M. (1999). Tratamiento de Aguas Industriales. 160p.
- ROMERO, J. (2005). Tratamiento de Aguas Residuales. Tercera Edición. 1248p.
- ROJAS, R. (2002). Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales. Curso Internacional CEPIS. 19p.
- SPERLING, M. LEMOS, C. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Volumen 1. 856p.
- SPERLING, M. LEMOS, C. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Volumen 2. 634p.
- SPERLING, M. (2007). Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. Volumen 5. 336p.
- SUNASS. (2008). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento. Primera Edición. 147p.
- YÁNEZ, F. (1980). Criterios para la Selección de Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales - CEPIS. 30p.

## VIII. ANEXOS

Anexo N° 1: LMP, VMA y ECA AGUA

### Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

#### DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUA</b>
Aceites y Grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200
pH	unidad	6.5 ó 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/l	150
Temperatura	°C	<35°

**Valores Máximos Admisibles para Descargas al Sistema de Alcantarillado**

**DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1,000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A&G	100

**ESTÁNDARES DE NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA, DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	A2
			AGUAS QUE PUEDEN SER POTABILIZADAS CON TRATAMIENTO CONVENCIONAL
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO5	5
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	20
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	S.S.T.	1000
Aceites y Grasas	mg/l	A&G	1



### Anexo N° 3: Control Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lodos Activados

Condición de Operación	Estado en la Aireación	Olor	Volumen de Lodo	Calidad del Efluente	Posibles Causas	Acciones correctivas
Reanudación de funcionamiento de la PTARI	Transparente o café claro y espuma blanca	Ninguno	< 100 ml/l	Turbio	Condición normal de partida	Ninguna/ esperar 4 u 8 semanas desde la partida
Operación normal	Café chocolate, buena turbulencia, leve espuma café claro	Ninguno	100-300 ml/l, sobrenadante claro y con posibles sólidos flotantes	Claro	Condición normal	Ninguna, seguir realizando las rutinas
Operación normal	Café chocolate, buena turbulencia, leve espuma café	Ninguno	Sobre 200 ml/l y en aumento	Turbio, aumento en los Coliformes fecales	Poca cantidad de lodos desviados al digestor	Aumentar el tiempo diario de desvío de lodos al digestor
Operación normal	Café claro, buena turbulencia	Ninguno	En descenso, bajo 100 ml/l	Turbio	Mucho lodo desviados al digestor	Disminuir el tiempo diario de desvío de lodos al digestor
Operación normal	Café claro, buena turbulencia	Ninguno	< 50 ml/l, no hay formación de flóculos	Turbio	1. Escasa materia orgánica (posible descenso en la población). 2. Bacterias filamentosas presentes debido a poca materia orgánica.	Instalar un estanque selector en el compartimento de aireación. Consultar a Diseñador del Sistema.
Operación normal	Gris o negro	Leve a fuerte	50 a 300 ml/l	Turbio	Falta de oxígeno por falla en el sistema de aireación o por exceso de caudales o materia orgánica (posible aumento en la población)	Verifique los sopladores, filtros de aire y difusores Verifique el nivel de aceite de los sopladores Verifique fugas de aire Verifique si hay exceso de caudales y de materia orgánica entrante. si es así, aumente el retiro de lodos.
Planta previamente operando en condiciones normales; repentinamente	Gris a negro, buena turbulencia, posible presencia de	Ninguno u olor de origen químico	0 - 500 ml/l	Turbio a gris	Bacterias muertas debido a descarga tóxica	1. Identificar y eliminar la fuente tóxica 2. Vacíe la planta y rehaga
Opera mal	Materias flotantes					la puesta en marcha