

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**



**TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA**

**"Evaluación, caracterización y  
propuestas de mejora para el proceso de  
lodos activos en una planta de  
tratamiento de aguas residuales de una  
industria de alimentos"**

Previo la obtención del Título de:  
**INGENIERO QUÍMICO**

Presentado por:  
Betsy Pamela García Castro

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director del proyecto integrador, el Ing. Raúl Serrano Carlín, MSc. quien con su apoyo y aporte de conocimientos realizaron posible la ejecución de este trabajo.

Al personal de la Industria de alimentos, quienes me brindaron la oportunidad de realizar mi proyecto.

Al personal de la Industria Quality Corporation S.A., por permitirme realizar pruebas y ensayos en sus instalaciones.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente a:

Betsy Pamela García Castro

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

---

Betsy Pamela García Castro

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como fin proponer las mejoras en la operación y diseño del tratamiento secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria de alimentos ubicada en la ciudad de Guayaquil, con el propósito de que sus descargas al cuerpo receptor cumplan con los límites máximos permisibles que se encuentran establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana, para lo cual se realiza un análisis del caudal actual de ingreso al sistema, así también de sus parámetros físicos – químicos y microbiológicos existentes en el tratamiento secundario, y por medio de los resultados obtenidos de la evaluación del sistema se establecen las bases de diseño y de operación óptimas para que la PTAR logre la mejor remoción de las cargas contaminantes de las aguas residuales industriales.

Durante la ejecución del proyecto, se revisaron el manual de operación y fichas técnicas de los equipos que se encuentran instalados en la PTAR. Para la evaluación y caracterización del agua residual de la industria, se midieron parámetros, como: pH, TDS, conductividad, sólidos sedimentables, alcalinidad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, nutrientes y la cantidad poblacional de bacterias presentes en el reactor. También, se revisaron para el caso particular de la industria de alimentos de acuerdo a su CIU, los parámetros que son monitoreados por la institución ambiental del país, como el MAE, que se encuentran establecidos en el anexo 1 del Acuerdo Ministerial No. 028 desde el año 2015, para la verificación del cumplimiento de las descargas residuales de la industria.

Mediante la evaluación del sistema secundario de la PTAR, se evidenció que el agua residual de ingreso presenta elevados sólidos disueltos totales, valores de pH ácidos y un índice de biodegradabilidad al límite del rango, para que el agua sea tratada biológicamente. Además, se evaluó el diseño del tanque de aireación, mediante el cálculo del tiempo de residencia del agua, obteniéndose que sus dimensiones se encuentran correctamente definidas para el caudal del agua, se encontraron condiciones anóxicas dentro del tanque de aireación, debido a la falta

de oxígeno suministrado por los difusores, por lo cual se determinaron la cantidad mínima necesaria que deben de ser instalados, en adición la sedimentabilidad de lodos y la relación alimento – microorganismos en el reactor, indicaron que existe la presencia de organismos filamentosos, que perjudican al sistema y no permiten que exista una buena remoción de la carga contaminante del agua residual. Algunas medidas correctivas a los problemas detectados fueron implementadas durante el desarrollo del proyecto, con lo cual se obtuvieron valores de remoción superiores al 90% en la DBO<sub>5</sub> y DQO, cumpliendo las descargas de agua con la normativa ambiental vigente.

El estudio del sistema de tratamiento secundario de la industria, determinó que el diseño del tanque de aireación se encuentra correctamente realizado, sin embargo los inconvenientes se presentan en la escasez de aireación en el mismo, por lo cual es imprescindible la instalación del número mínimo de difusores que se recomiendan, además es importante que el sistema sea monitoreado constantemente, para detectar las posibles causas de los problemas que se presenten y poderlos corregirlos inmediatamente, mediante la adición de nutrientes, bacterias benéficas o de neutralizantes en el flujo de agua de ingreso.

**Palabras claves:** cuerpo receptor, PTAR, CIU, organismos filamentosos, neutralizante.

## **ABSTRACT**

*The present paper has as aim to purpose the improvements in the operation and design of secondary treatment of a wastewater treatment plant of a food industry located in the Guayaquil city, for discharges to receiving body fulfill with the permissible maximum limits established in Ecuadorian environmental legislation, For which, is performed an analysis of the current income stream, so also of their physical – chemical and microbiological parameters in the secondary treatment, and by means of the obtained results of the system evaluation are established the design and operation optimal bases, with which the PTAR achieves the best removal of pollutant loads of industrial wastewaters.*

*During the project execution, the operation handbook and technical sheets of the equipments that are installed on the PTAR, were reviewed. For the evaluation and characterization of industrial wastewater, were measured, parameters such as: pH, TDS, conductivity, sedimented solids, alkalinity, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, dissolved oxygen, suspended solids, volatile solids, nutrients and poblacional quantity of bacterias in the reactor. Also, were reviewed for the particular case of food industry, according CIU, the parameters that are monitored by environmetal institution of contry, as MAE, that are established in the annexed 1 of Ministerial Agreement No. 028 since 2015, for the fulfillment verification of industrial residual discharges.*

*Through the secondary system evaluation of the PTAR, were evidenced that income wastewater presents high total dissolved solids, acid pH values and biodegradability index to range limit, for that water was not biological tretment. As well, were evaluated the aeration tank design, through water residence time calculation, obtaining that their dimensions are correctly defined for water stream, also were detected anoxic conditions into aeration tank, due to lack of oxygen, that is supplied by diffusers, whence were determined the necesary minime quantity that should be installed, in addition the sludge sedimentability and food – microorganims relation into reactor indicate the filamentous organisms are present, this can cause damage system and not allow that exist a excellent remotion of wastewater contaminant load. Some corrective measures to detected*

*problems were implemented during the Project development, whence high removal values to 90% were obtained in the  $DBO_5$  and DQO, fulfilling the discharges with current environmental normative.*

*The industry secondary treatment system study, determined that the aeration tank was designed correctly performed, however the disadvantages are present in aeration scarcity in this, for which is essential the installation of diffuser minimum number that is recommended, also is important the constantly monitored of system, for detect possible causes of present problems and can correct these immediately, through the nutrients, benefit bacterias or neutralizing addition, on the incoming water stream.*

**Keywords:** *receiving body, PTAR, CIU, filamentous organisms, neutralizing.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
Í N D I C E D E	
GRÁFICOS.....	XIII
1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. D e s c r i p c i ó n d e l problema.....	2
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. O b j e t i v o s Específicos.....	5
1.3. Marco teórico.....	6
1.3.1. M a r c o Legal.....	6
1.3.2. Aguas Residuales.....	12
1.3.3. Parámetros de monitoreo de la calidad del agua.....	13
1.3.3.1. Color.....	13
1.3.3.2. Conductividad.....	13
1.3.3.3. Temperatura.....	13
1.3.3.4. S ó l i d o s s u s p e n d i d o s t o t a l e s .....	14
1.3.3.5. Sólidos sedimentables.....	14
1.3.3.6. Sólidos disueltos totales.....	14
1.3.3.7. Oxígeno disuelto.....	14



1.3.3.8. P o t e n c i a l d e h i d r ó g e n o	15
1.3.3.9. Alcalinidad.....	15
1.3.3.10. D e m a n d a b i o q u í m i c a d e o x í g e n o ... ..	16
1.3.3.11. Demanda química de oxígeno.....	16
1.3.3.12. Nutrientes.....	16
1.3.3.12.1. Nitrógeno.....	16
1.3.3.12.2. Fósforo.....	17
1.3.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	17
1.3.4.1. Tratamiento preliminar o pretratamiento.....	17
1.3.4.2. Tratamiento primario.....	18
1.3.4.3. Tratamiento secundario.....	19
1.3.4.3.1. Aspectos microbiológicos de las aguas r e s i d u a l e s ... . . .	21
1.3.4.4. Tratamiento terciario.....	23
1.3.5. Bases de diseño para el sistema de lodos a c t i v o s ... ..	24
1.3.5.1. Índice de biodegradabilidad.....	24
1.3.5.2. MLSS y MLVSS.....	24
1.3.5.3. Índice volumétrico de lodos ( I V L ) ... ..	25
1.3.5.4. Relación F/M (Alimento/Microorganismo).....	26
1.3.5.5. Carga másica (CM).....	28
1.3.5.6. C a r g a v o l u m é t r i c a ( C V ) ... ..	29
1.3.5.7. Tiempo de residencia ( $t_r$ ).....	29
1.3.5.8. Requerimiento de oxígeno.....	30
1.3.5.9. Cantidad de lodos a purgar.....	30

**2. C A P Í T U L O 2 . M E T O D O L O G Í A D E L  
D I S E Ñ O . ... .. 31**

2.1. Revisión del manual de operación y fichas técnicas de equipos de la PTAR.....	31
2.2. Medición de caudales en el sistema.....	31
2.3. Monitoreo de parámetros de operación del proceso de lodos activos.....	31
2.3.1. Determinación de pH, temperatura, TDS y conductividad.....	32
2.3.2. Control de volumen de lodos del reactor biológico.....	33
2.3.3. Determinación de parámetros microbiológicos en el reactor biológico.....	33
2.4. Caracterización del tratamiento secundario.....	34
2.4.1. Preparación de los envases para la recolección de las muestras de aguas residuales.....	35
2.4.2. Recolección de las muestras de aguas residuales.....	35
2.4.3. Caracterización de las aguas residuales.....	35
2.4.3.1. pH.....	36
2.4.3.2. Alcalinidad.....	36
2.4.3.3. DBO <sub>5</sub> .....	37
2.4.3.4. DQO.....	37
2.4.3.5. SST y SSV.....	38
2.4.3.6. TDS.....	38
2.4.3.7. Fósforo total.....	38
2.4.3.8. Nitrógeno total.....	39
2.4.3.9. Oxígeno disuelto.....	39
2.5. Evaluación del proceso de lodos activos de la PTAR.....	40
2.6. Planteamiento de medidas correctivas.....	41
<b>3. CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
3.1. Revisión y Generalidades de la PTAR.....	42
3.2. Identificación de las condiciones operativas del tratamiento secundario de la PTAR.....	44
3.3. Capacidades de los equipos del tratamiento secundario.....	45



3.7. Propuestas de mejora y planteamiento de medidas c o r r e c t i v a s ... ..	69
3.8. Análisis económico.....	72
<b>4. CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
4.1. Conclusiones.....	74
4.2. Recomendaciones.....	75
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>79</b>

## ABREVIATURAS

CM	Carga Másica
CV	Carga Volumétrica
CIIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DMA	Dirección de Medio Ambiente
DAF	Dissolved Air Flotation
F/M	Food/Microorganisms
IVL	Índice Volumétrico de Lodos
MAE	Ministerio del Ambiente de Ecuador
NMP	Número Más Probable
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
MLSS	Sólidos en Suspensión en el Licor de Mezcla
MLVSS	Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor de Mezcla
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
TDS	Total Dissolved Solids
UFC	Unidades Formadoras de Colonia

## SIMBOLOGÍA

Q	Caudal
cm	Centímetro
dS	Decisiemens
psig	Gauge Pounds per Square Inch
°C	Grado Centígrado
g	Gramo
h	Hora
HP	Horse Power
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
L	Litro
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
µS	Microsiemens
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
ppm	Partes por millón
ft <sup>3</sup>	Pie cúbico
pH	Potencial de hidrógeno
rpm	Revoluciones por minuto
U	Unidades

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.1.** Inconvenientes detectados en el reactor biológico de la PTAR al inicio del proyecto.

**Figura 1.2.** Curva de sedimentabilidad de lodos según relación F/M.

**Figura 2.1.** Medición de TDS con equipo Ultrameter II 6PFC.

**Figura 2.2.** Control de lodos en el reactor en el cono Imhoff.

**Figura 2.3.** Análisis de DQO en el equipo HI 83099.

**Figura 2.4.** Determinación del contenido de fósforo en el agua residual.

**Figura 2.5.** Medición de oxígeno disuelto con método Winkler modificado y multiparámetro.

**Figura 3.1.** Diagrama de bloques del proceso de operación de la PTAR.

**Figura 3.2.** Curva del volumen de lodo según tiempo de sedimentación.

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1.** Características del agua de ingreso a la PTAR de año 2005 y 2006
- Tabla 1.2.** Caracterización del efluente en mes de agosto de 2016
- Tabla 1.3.** Límites de descarga al sistema de alcantarillado público
- Tabla 1.4.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
- Tabla 1.5.** Límites de descarga a un cuerpo de agua marina
- Tabla 1.6.** Clasificación de bacterias según sus principales características
- Tabla 1.7.** Tipo de tratamiento para el agua residual según el índice de biodegradabilidad
- Tabla 1.8.** Rangos de IVL con sus características de sedimentabilidad
- Tabla 1.9.** Valores de CM en función del rendimiento del proceso
- Tabla 2.1.** Distribución de parámetros para caracterización en los puntos de muestreo
- Tabla 3.1.** Comparación de descarga de efluente del mes de septiembre de 2016 con la normativa ambiental ecuatoriana
- Tabla 3.2.** Características de diseño de tanques del tratamiento secundario
- Tabla 3.3.** Características del blower de la PTAR
- Tabla 3.4.** Características de los difusores del reactor biológico
- Tabla 3.5.** Comportamiento diario del caudal de ingreso al tratamiento secundario
- Tabla 3.6.** Parámetros físico-químicos del agua de ingreso al reactor biológico
- Tabla 3.7.** Valores del volumen de lodos en el reactor biológico
- Tabla 3.8.** Cantidad poblacional bacteriana en el reactor biológico
- Tabla 3.9.** Caracterización del agua residual al ingreso del tratamiento secundario
- Tabla 3.10.** Caracterización del agua residual en el reactor biológico
- Tabla 3.11.** Parámetros de diseño y operación recomendados en lodos activos
- Tabla 3.12.** Concentración de nutrientes en productos químicos comerciales
- Tabla 3.13.** Parámetros de control diario del tratamiento secundario y sus acciones correctivas.
- Tabla 3.14.** Comparación de las descargas de la industria entre el mes de septiembre de 2016 y enero de 2017 de acuerdo a la norma ambiental ecuatoriana.
- Tabla 3.15.** Análisis económico de la implementación de las propuestas de mejora



a corto plazo durante el mes de diciembre de 2016.

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

- Gráfico 3.1.** Caudales máximos y mínimos al ingreso del tratamiento secundario.
- Gráfico 3.2.** Caudales promedios diarios al ingreso del tratamiento secundario.
- Gráfico 3.3.** Variaciones de la temperatura de ingreso al sistema biológico.
- Gráfico 3.4.** Variaciones del pH de ingreso al sistema biológico.
- Gráfico 3.5.** Variaciones de los TDS de ingreso al sistema biológico.
- Gráfico 3.6.** Variaciones de la conductividad de ingreso al sistema biológico.
- Gráfico 3.7.** Volumen diario de lodos en el reactor biológico.
- Gráfico 3.8.** Comportamiento de la población bacteriana en el reactor biológico.
- Gráfico 3.9.** Porcentaje de transferencia de oxígeno versus profundidad del reactor.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales provienen de diferentes fuentes, y generalmente son caracterizadas por el tipo de carga contaminante que contengan. En toda industria se hace uso del recurso agua para cubrir sus necesidades, tanto en las áreas administrativas como en los procesos productivos, para la creación de un bien, esto conlleva a la generación de las denominadas aguas residuales industriales y domésticas, por lo que a diario se generan grandes volúmenes de efluentes, que dependiendo del grado de contaminación deben ser conducidas a un sistema de tratamiento, para ser evacuadas a un medio receptor, sea un sistema de alcantarillado público, agua dulce o salada, por lo cual las aguas residuales deben de cumplir con los parámetros establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana.

Como parte de la formación profesional y en cumplimiento de un requisito establecido en la Ley de Educación Superior del país, tuve la oportunidad de realizar las prácticas pre-profesionales en una industria de alimentos, y durante la realización de la misma, el encargado del departamento de Seguridad de Alimentos, me solicitó ejecutar la evaluación y mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria.

La industria de alimentos se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Guayaquil en el Km. 25 vía Perimetral, la cual mediante sus procesos de producción elabora pan y sucedáneos, para lo cual se llevan a cabo rutinas diarias de limpieza y desinfección; esto genera un caudal diario de aguas residuales industriales y domésticas, con altos contenidos de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Estas aguas residuales de la industria deben de ser tratadas, previo a su descarga final, el cual es un canal colector, que desemboca en el río Daule. Razón por la cual, la industria cuenta con una planta de tratamiento de aguas

residuales, con el objetivo de reducir su carga contaminante.

A la fecha de iniciar este estudio, el sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria no se encontraba operando correctamente, ya que los parámetros de calidad del agua tratada excedían los límites máximos permisibles de la normativa ambiental, de aquí, radicó la importancia de realizar una evaluación y análisis a la PTAR de la industria, para detectar las posibles causas de la baja remoción de los parámetros de  $DBO_5$  y DQO.

El proceso biológico de lodos activos es una parte fundamental en una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que en este punto contribuye a reducir la carga orgánica disuelta, que contiene el agua residual al ingresar al sistema, por aquello, además de controlar las condiciones físico-químicas, se debe de tener en cuenta, la población microbiana y volumen efectivo de la biomasa en el reactor biológico; los cuales son parámetros de control de una planta de tratamiento de aguas de este tipo.

Con este proyecto se pretende dar soluciones al proceso biológico en la PTAR de la industria de alimentos; el análisis se enfoca en el estudio del proceso de lodos activos o tratamiento secundario, en donde se evaluarán y caracterizarán los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual del sistema, para dar propuestas de mejoras en la operación y/o diseño de la PTAR, de tal manera que la descarga final de sus efluentes, cumpla con los límites máximos permisibles, establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana, para así mitigar y prevenir los posibles impactos ambientales.

### **1.1 Descripción del problema**

La industria alimenticia tiene clasificación CIU 1582, está ubicada en las siguientes coordenadas: P1: 617330, 9767671; P2: 617504, 9767674; P3: 617526, 9767595 y P4: 617563, 9767513, en el Km. 25 de la vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil.

Esta industria dispone de una planta de depuración de aguas residuales, desde el

año 2005, diseñada para tratar un caudal de 45 m<sup>3</sup>/día.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria, se encuentra operando con condiciones de caudales, pH y contenidos de DBO<sub>5</sub> y DQO diferentes a la del diseño; motivo por el cual los niveles de remoción de estos parámetros no son eficientes, para cumplir con los requisitos ambientales establecidos.

Como se observa en la Tabla 1.1, el caudal de ingreso al sistema de tratamiento de aguas residuales ha aumentado al doble, así también sucede con los valores de ciertos parámetros físico – químicos: pH, DQO y DBO<sub>5</sub>, por lo cual es necesario realizar una evaluación y/o implementaciones de medidas correctivas en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 1.1.** Características del agua de ingreso a la PTAR de año 2005 y 2016.

Parámetro	Unidad	Diseño inicial	Operación actual
		Año 2005	Año 2016
Caudal	m <sup>3</sup> /día	45	90
pH	U	6 – 7,5	4,5
DQO	mg/L	1700	5813
DBO <sub>5</sub>	mg/L	850	2950
A&G	mg/L	32	700

**Fuente:** a) Manual técnico de la empresa de alimentos.

b) Análisis de laboratorio PSI, mayo 2016.

*Elaboración propia.*

Hace aproximadamente dos años, en la industria de alimentos se realizaron modificaciones y ampliaciones a los procesos productivos, lo que habría

provocado que el sistema de tratamiento de aguas residuales presente problemas operacionales, y la generación de efluentes, cuyos análisis superan los límites máximos permisibles que establece la norma ambiental ecuatoriana, como se indica en un análisis realizado en el mes de agosto del año 2016. (Ver Tabla 1.2)

**Tabla 1.2.** Caracterización del efluente en mes de agosto de 2016.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Potencial de hidrógeno pH	U	5,5
Demanda química de oxígeno DQO	mg/L	442
Demanda biológica de oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/L	789

*Fuente: Análisis de laboratorio PSI, agosto 2016.*

*Elaboración propia.*

Sin embargo, existe evidencia objetiva que el principal problema se centra en el reactor biológico del tratamiento secundario de la PTAR, como se puede apreciar en la Figura 1.1, ya que existen inconvenientes en el sistema, como: generación de malos olores, mala sedimentación de la biomasa, entrada de aguas residuales con pH ácidos, formación de espuma en la superficie del tanque de aireación, color oscuro del agua, alto contenido de cloruros, carga orgánica y sólidos disueltos totales.

Debido a estos inconvenientes expuestos, el sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria, resulta ser ineficaz, en la remoción de las cargas contaminantes en sus efluentes.



**Figura 1.1.** Inconvenientes detectados en el reactor biológico de la PTAR al inicio del proyecto.

*Elaboración propia.*

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Mejorar el tratamiento secundario de la PTAR de una industria de alimentos, mediante la evaluación y caracterización de los afluentes y efluentes involucrados en el sistema de estudio, con el propósito de garantizar que las descargas cumplan con los parámetros establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Establecer el caudal actual de ingreso al tratamiento secundario de la PTAR, por medio de mediciones periódicas del agua residual.
- Determinar los parámetros físico-químico y microbiológico del agua residual de entrada al tratamiento secundario de la PTAR, mediante su monitoreo periódico con el fin de obtener información sobre su comportamiento actual.
- Caracterizar las aguas residuales mediante análisis y pruebas realizadas en laboratorios externo e interno, realizado en tres puntos de muestreo, con el propósito de valorar el sistema de tratamiento secundario.

- Definir las bases de diseño y las condiciones actuales de operación cuantitativas en el sistema de lodos activos de la PTAR.
- Evaluar el proceso de lodos activos del tratamiento secundario de la PTAR, mediante los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de las aguas residuales.
- Proponer las mejoras y/o acciones correctivas al sistema de tratamiento secundario de la PTAR, mediante la evaluación efectuada, a fin de brindar soluciones a los problemas existentes.

### 1.3 Marco teórico

#### 1.3.1. Marco legal

En el país, los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales industriales a un medio receptor, se encuentran establecidos en el Acuerdo Ministerial No. 028, el cual sustituye el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, desde el 13 de febrero de 2015.

En este documento se detallan los límites máximos de descarga para los diferentes cuerpos receptores, como: sistema de alcantarillado público, agua dulce y agua marina.

**Tabla 1.3.** Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/L	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/L	Cero
Alkil mercurio	-	mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1

Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/L	1,0
Cinc	Zn	mg/L	10,0
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/L	0,1
Cobalto total	Co	mg/L	0,5
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Fósforo total	P	mg/L	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Hierro total	Fe	mg/L	25,0
Manganeso total	Mn	mg/L	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,5
Plomo	Pb	mg/L	0,5
Potencial de hidrógeno	pH	U	6 – 9
Selenio	Se	mg/L	0,5
Sólidos sedimentables		mg/L	20
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	220,0
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600,0



Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	400,0
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/L	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0

**Fuente:** Acuerdo Ministerial No. 028. Anexo 1, 2015.

La industria de alimentos, descarga sus efluentes a un canal que desemboca en un cuerpo de agua dulce, a continuación se muestran los parámetros de descarga que debe de cumplir la industria:

**Tabla 1.4.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/L	30,0
Alkil mercurio	-	mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro Total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo BCC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/L	1 000

Cobalto	Co	mg/L	0,5
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 mL	10 000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	100,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200,0
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo total	P	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrógeno	pH	U	6 – 9
Selenio	Se	mg/L	0,1

Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	130,0
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	1 000,0
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/L	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

*Fuente: Acuerdo Ministerial No. 028. Anexo 1, 2015.*

**Tabla 1.5.** Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) Descargas en zona de rompientes	(B) Descargas mediante emisarios submarinos
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/L	30,0	30,0
Aluminio	Al	mg/L	5,0	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,5	0,5
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/L	10,0	10,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5	0,5
Cobre	Cu	mg/L	1,0	1,0
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 mL	10 000	10 000
Color real	Color verdadero	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2	0,2

Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	200,0	400,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	400,0	600,0
Hidrocarburos Totales de Petr6leo	TPH	mg/L	20,0	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,01	0,01
Nitr6geno Total Kjeldahl	N	mg/L	40,0	40,0
Potencial de hidr6geno	pH	U	6 – 9	6 – 9
Selenio	Se	mg/L	0,1	
S6lidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	250,0	250,0
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/L	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/L	50,0	50,0
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	µg/L	100,0	100,0
Carbamatos	Especies totales	mg/L	0,25	0,25
Temperatura	°C		< 35	< 35
Tensoactivos	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	0,5	0,5

**Fuente:** Acuerdo Ministerial No. 028. Anexo 1, 2015.

En el caso particular, de la industria de alimentos dedicada a la elaboraci6n de productos de panadería, acorde a su CIU, los parámetros físico – químico de la calidad del agua residual que deben de monitorearse al efluente, son los que se

indican a continuación:

- Caudal
- pH
- DBO<sub>5</sub>
- DQO
- SST
- SAAM
- Aceites y grasas
- Cloruros
- Sulfatos

### **1.3.2. Aguas residuales**

Es el agua resultante del uso de diferentes actividades, sean domésticas o industriales, por lo cual ha perdido sus características de potabilización y de calidad óptima para el consumo.

Las aguas residuales contienen en su composición varios contaminantes: inorgánicos, orgánicos y biológicos, los cuales pueden generar malos olores y peligros para la salud si son descargadas sin tratamiento previo. Estas pueden provenir de diversas fuentes: aguas negras y aguas grises, las cuales son detalladas a continuación. [14]

Las aguas residuales negras son originadas principalmente de los efluentes de las instalaciones sanitarias, lavados y preparación de alimentos. También, incluyen las heces fecales, orina, por lo cual su en su composición se encuentran altos contenidos de contaminantes, incluyendo sustancias químicas y patógenas.

Son aguas residuales grises, las que se originan de fuentes que no contienen heces fecales, provenientes de los sanitarios. Son las aguas que se derivan del lavado de baños, lavandería y cocinas. Usualmente, debido a su baja carga de contaminación, estas pueden pasar por un tratamiento para ser nuevamente usadas. [15]

### **1.3.3. Parámetros de monitoreo de la calidad del agua**

#### **1.3.3.1. Color**

Es un indicador de la cantidad de sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en la disolución. Este parámetro es a menudo utilizado para tener un referente de la condición general del sistema de tratamiento del agua residual, puesto que en el sistema secundario, una coloración café claro indica un lodo activo en muy buen estado y que la reposición del agua es óptima, una coloración gris clara del agua señala que ésta ha tenido alguna descomposición, así también un color negro o gris oscuro permite conocer que el agua residual presenta de una fuerte descomposición en el reactor, debido a deplorable distribución de oxígeno disuelto, o altas cargas de componentes orgánicos presente. [2]

#### **1.3.3.2. Conductividad**

La conductividad es la capacidad que tiene el agua para conducir energía eléctrica, por lo que es un buen indicador de la cantidad de material ionizable presente, por lo cual en una muestra de agua potable su valor es mínimo, aproximadamente unas centésimas de  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para el caso de aguas residuales su valor es más elevado.

Este factor de análisis puede ser expresado en decisiemens por metro ( $\text{dS}/\text{m}$ ) o microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). [4]

#### **1.3.3.3. Temperatura**

Como consecuencia de que el agua residual es una mezcla de diferentes tipos de aguas, tanto domésticas como industriales, la temperatura es mayor que el agua para el abastecimiento, por lo cual este parámetro debe ser monitoreado en un sistema de aguas residuales, debido a que los procesos biológicos son dependientes de la temperatura, según los tipos de microorganismos benéficos que se encuentren en el sistema, por lo cual no es deseable que sean afectados. El rango recomendable para el desarrollo de la actividad bacteriana se encuentra entre  $25^{\circ}\text{C}$  a  $35^{\circ}\text{C}$ .

#### **1.3.3.4. Sólidos suspendidos totales**

Es el material particulado muy pequeño, el cual no puede ser eliminado mediante sedimentación. Cuando se depositan aguas con altos contenidos de sólidos en suspensión al medio acuático, pueden desarrollarse depósitos de fangos y existir condiciones anaerobias. Generalmente se expresan en miligramo del contaminante por litro de agua (mg/L) o como partes por millón (ppm).

#### **1.3.3.5. Sólidos sedimentables**

Son aquellos que pueden sedimentar en un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en un determinado tiempo, generalmente 30 minutos. La medición de este parámetro en un sistema de tratamiento de aguas residuales, se usa para tener conocimiento de la cantidad de biomasa presente en el reactor biológico, según el tiempo de sedimentación existe un volumen óptimo de lodos o biomasa en el reactor, este parámetro es usado también para conocer el volumen y densidad de sólidos que se encuentran en el agua y pueden ser removidos mediante un proceso decantación, donde los sólidos sedimentables tienen tamaños mayores a 0,01 mm, generalmente son expresados como mL/L.

#### **1.3.3.6. Sólidos disueltos totales**

Su composición se forma por moléculas iones en disolución, moléculas orgánicas e inorgánicas, en general por cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) y aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ). El tamaño de las partículas son menores a 1  $\mu\text{m}$ , y éstos permanecen luego de filtración simple, aunque pueden ser eliminados por sistemas de membranas de intercambio iónico, osmosis inversa, nano filtración y ultrafiltración.

#### **1.3.3.7. Oxígeno disuelto**

Es el oxígeno que se encuentra presente en un cuerpo de agua, el cual puede provenir de fuentes naturales como la atmósfera. Generalmente el agua natural tiene una concentración de 8 mg/L de oxígeno disuelto.

La concentración de oxígeno disuelto recomendada en un sistema biológico de 2 mg/L. Cuando se opera con cantidades menores a 1 mg/L se altera la morfología del fango y la remoción de la carga orgánica disminuye, por el contrario cuando se tiene una concentración mayor puede afectar en la sedimentación del lodo y existe un desperdicio de energía.

Para la aportación de oxígeno en un sistema biológico el suministro es mediante aireadores con ayuda de difusores instalados en el tanque, los cuales presentan poros de diferentes tamaños que aportarán diferentes tipos de burbujas, se los clasifica en difusores de burbuja gruesa, de burbuja media y de burbuja fina. [7]

#### **1.3.3.8. Potencial de hidrógeno**

El potencial de hidrógeno o pH es un parámetro que nos provee información sobre la concentración de los iones hidrógenos presentes en el agua residual. Es de importancia el monitoreo del pH en un sistema de tratamiento de aguas residuales ya que el rango recomendado es de 6 – 8 para la supervivencia de microorganismos que ayudan a degradar el material orgánico en el tanque de aireación. En algunos casos el agua que ingresa presenta un pH no adecuado, por lo tanto se lo debe corregir mediante la neutralización, mediante la adición de productos químicos, según sea el caso. La medición de este parámetro se lo puede realizar con un pHmetro, o de papeles indicadores que por cambio de coloración y comparación de patrones. [3]

#### **1.3.3.9. Alcalinidad**

Es la capacidad de amortiguación en el agua, ya que a mayor alcalinidad existe una mayor probabilidad para absorber un protón sin alterar el pH. Este parámetro es útil, para la toma de decisiones para la neutralización de las aguas residuales. El consumo de la alcalinidad (mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) por Kg de  $\text{DBO}_5$  presente en el agua, este consumo ocurre, debido a que el  $\text{CO}_2$  que se genera durante la degradación de la materia orgánica por las bacterias, reacciona con la alcalinidad ( $\text{OH}^-$ ) para la formación de bicarbonato, lo que provoca un tampón a un pH de 8. [8]



### **1.3.3.10. Demanda bioquímica de oxígeno**

Parámetro que indica la cantidad de oxígeno que es consumido en 5 días a una temperatura de 20°C, mediante procesos biológicos cuya finalidad es eliminar la materia orgánica que se encuentra en el agua residual, se mide en mg/L o ppm de O<sub>2</sub>, es representado como DBO<sub>5</sub> y, mientras mayor es el valor de la demanda bioquímica de oxígeno, representa una mayor contaminación del agua mediante carga orgánica.

El valor de la demanda bioquímica de oxígeno en las aguas residuales domesticas tienen un valor comprendido entre 100 a 350 mg/L, mientras que en las aguas residuales de industrias el valor de la demanda bioquímica de oxígeno su valor es variable presentándose concentraciones superiores a miles de mg/L, dependiendo del tipo de industria.

### **1.3.3.11. Demanda química de oxígeno**

Mide la cantidad que se requiere de un oxidante químico, como dicromato o permanganato para degradar al mismo tiempo la carga orgánica e inorgánica que se encuentren presentes en el agua residual. Este parámetro es usado para la medición de la contaminación, y su valor es expresado en mg/L o ppm de O<sub>2</sub>. [6]

### **1.3.3.12. Nutrientes**

#### **1.3.3.12.1. Nitrógeno**

Es un nutriente esencial para el crecimiento y reproducción microbiana de un sistema de fangos activos, por lo cual su concentración mínima debe ser de 2 mg/L. Básicamente la cantidad de nitrógeno presente en las aguas residuales es variable, y se lo puede encontrar como amonio, mediante la aportación que generan las proteínas, aminos y ciertas cantidades de compuestos de nitratos.

Sin embargo altos contenidos de nitrógeno en las aguas, pueden generar ciertos inconvenientes en el medio receptor de descarga, tales como:

- Reducción de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, ya que existe un

proceso de oxidación amoniaca.

- El amonio es tóxico para la vida acuática, en especial en las algas y los peces.

#### **1.3.3.12.2. Fósforo**

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento y reproducción microbiana de un sistema de fangos activos, en el cual se debe tener una concentración de al menos 2 mg/L, las aguas residuales a menudo contienen en su composición fósforo, pero en ciertas ocasiones no es suficiente, por lo cual es importante la dosificación de productos químicos que aporten con este nutriente. El contenido de fósforo en las aguas que no presentan contaminación muestran valores entre 0,1 a 1,0 mg/L de fósforo, así también algunas aguas residuales domésticas presentan valores superiores a 15 mg/L de fósforo total, y las aguas residuales industriales pueden contener valores mayores a los 50 mg/L de fósforo. [3]

#### **1.3.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales**

Dependiendo de la calidad de efluente generado por parte de la industria, su tratamiento varía, sin embargo el paralelismo es el mismo. Algunos vertidos de industrias solamente requieren de una neutralización simple para su descarga, sin embargo en la mayoría de casos se deben de realizar un tratamiento primario y secundario para disminuir ciertos contaminantes, y en otros casos es necesario llevar el agua residual a un tratamiento terciario para que el efluente sea de mayor calidad y elimine algún remanente tóxico. Por lo cual se detallarán los diferentes tipos de tratamiento para las aguas residuales: el tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. [8]

##### **1.3.4.1. Tratamiento preliminar o pretratamiento**

En esta etapa se tiene como fin la reducción de las partículas de gran tamaño, las grasas y aceites y del acondicionamiento de las aguas residuales, para su tratamiento posterior, en este caso para la siguiente etapa, que la constituye el tratamiento primario, a continuación se detallarán los diferentes tratamientos que puede comprender esta etapa.

Cribado. Se utiliza para la remoción de sólidos de diferentes tamaños que se encuentran en suspensión en el agua residual, se realiza con la finalidad de que los sólidos no causen un incorrecto funcionamiento a los equipos posteriores y que el consumo de productos químicos no sea excesiva, para lo cual pueden usarse: rejillas, tamices, microfiltros, etcétera.

Tamizado. Mediante este proceso se pueden remover partículas de diámetros comprendidos entre 1,5 – 0,5 mm. Se pueden utilizar tamices estáticos, autolimpiantes o tamices rotatorios.

Desarenador. Es utilizado para eliminar arenas y los sólidos de gran peso.

Homogeneización. Los tanques de igualación o de homogeneización son utilizados cuando se presentes variaciones grandes en los flujos de entrada al sistema de tratamiento, ya que ayuda a uniformizar los caudales y las características del efluente, y evitar que las descargas puntuales afecten a la siguiente etapa. Para lograr la homogeneización sin que exista la sedimentación, el depósito o tanque debe de tener un sistema de agitación mecánica o de aireación. [6] [9]

#### **1.3.4.2. Tratamiento primario**

Consiste en la eliminación de los sólidos en suspensión provistos en el agua residual, pueden utilizarse agentes químicos para la neutralización y mejorar la floculación. En esta etapa se puede conseguir una remoción del 25 – 30% de DBO<sub>5</sub>.

Neutralización. Es necesario realizar el ajuste de pH en el flujo de agua residual con la adición de químicos, donde debe manejar un rango de 6,5 – 8,5 de pH para que el sistema de tratamiento se ejecute de la mejor manera, caso contrario se

debe de utilizar un ácido o una base para conseguir el rango de pH recomendado. Con la neutralización de las aguas residuales se busca eliminar la acidez o alcalinidad que se presentan.

En caso de aguas residuales ácidas, se las pueden neutralizar con la dosificación de un álcali, como la CaOH en solución, aunque a veces es necesario la adición concentrada de NaOH o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, que son de reacción más rápida y sin tener problemas en la precipitación de sulfatos de calcio. Cuando se requieran neutralizar vertidos alcalinos, pueden agregarse H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o corrientes de agua con contenidos de CO<sub>2</sub>.

Sedimentación primaria. Se usan decantadores dinámicos o decantadores circulares para que los sólidos se retengan y el agua tratada pase a la siguiente etapa con menor cantidad de sólidos en suspensión. Este proceso elimina los sólidos sedimentables y los sólidos flotantes, aquí se pueden usar agentes químicos coagulantes y/o floculantes para ayudar en la sedimentación. [10]

#### **1.3.4.3. Tratamiento secundario**

El agua residual que proviene del tratamiento primario es tratada con microorganismos para que exista una remoción eficiente de la demanda bioquímica de oxígeno, constituida por los sólidos orgánicos disueltos. Esta etapa puede realizarse mediante: lagunas de estabilización, sistema DAF y lodos activados. Luego el agua pasa a un clarificador secundario para la sedimentación de sólidos remanentes.

El sistema de flotación de aire disuelto, es una tecnología basada en la dosificación de microburbujas a presión al agua que se va a tratar o el lodo, las cuales generan una capa flotante del material concentrado, con lo cual se genera una remoción de los sólidos suspendidos, aceites y grasas, y material orgánico particulado, lográndose hasta un 90% de la remoción de la DBO<sub>5</sub>, a menudo se suelen adicionar productos químicos para mejorar el rendimiento del proceso. [16] El sistema DAF es ampliamente aplicado en las aguas residuales industriales,

como: industrias papeleras, petroquímica, plantas químicas, industrias lácteas, alimenticia, textil, metalúrgica, etc.

El proceso de lodos activos se basa en que al someter al agua residual con aireación en presencia de microorganismos, durante un periodo de tiempo, su contenido de materia orgánica se reducirá, formándose al mismo tiempo una cantidad de lodo floculento. Este lodo se encuentra formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. [11]

Un tratamiento convencional de fangos activos, consta de un reactor biológico aerobio, donde la materia orgánica se consume, un decantador donde los microorganismos se separan del agua tratada. Parte de los microorganismos decantados son devueltos al reactor biológico (corriente de recirculación de fangos) y otra parte son eliminados del sistema (corriente de purga) con el objetivo de mantener una cantidad constante de biomasa. [12]

En el sistema de fangos, la biomasa permanece en suspensión en el seno del agua, y se mantiene un aporte continuo de oxígeno para asegurar una buena biodegradación, en donde los rendimientos de DBO son en torno a un 90%. Luego, el efluente de aireación pasa a un tanque de sedimentación (decantador secundario), donde se recoge el fango biológicamente activo, parte del fango es recirculado al tanque de aireación para mantener la actividad biológica del mismo, mediante una concentración constante de microorganismos activos, y la otra parte (microorganismos en exceso), formada por los microorganismos con mayor tiempo de residencia en el reactor, se eliminan mediante una purga de fangos, formando los lodos o fangos secundarios. Por lo tanto, los parámetros de consideración en el proceso de fangos activos son:

- Concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/L en el tanque de aireación.
- pH óptimo (6,5 – 8,5)
- Concentración de nutrientes, mínima de 2 mg/L.

- Materia orgánica de entrada y salida del reactor.
- Edad del fango o tiempo de residencia en el reactor (2 a 12 días).
- La concentración y tipos de microorganismos.
- Volumen de lodos sedimentables (entre 300 – 400 mL/L)
- Índice volumétrico de fangos (< 150 mL/g).

#### **1.3.4.3.1. Aspectos microbiológicos de las aguas residuales**

Los microorganismos son seres con vida de diminutos tamaños, los cuales son clasificados en el reino protista, existen diversos microorganismos que se encuentran en las aguas residuales, entre los que se encuentran: bacterias, protozoos, virus y helmintos.

El estudio de las bacterias es importante debido a que éstas ayudan a mantener el equilibrio del planeta, ya que son las encargadas de descomponer el material orgánico que se encuentran en el medio acuático. Por lo cual la acción bacteriana es considerada importante en el tratamiento de aguas residuales y para la remediación de suelos contaminados.

Las bacterias son organismos unicelulares móviles o inmóviles de diversas formas (cocos y espirilos), de tamaño y modo de vida diferentes según la especie y el medio (Seoanez, 1995).

A continuación en la Tabla 1.6, se muestra la clasificación de las bacterias según diferentes criterios.

**Tabla 1.6.** Clasificación de bacterias según sus principales características.

Tipo de bacteria	Características	Clasificación
Parásitas	Son aquellas que producen enfermedades y se han alojado en animales y ser humano, entre las cuales se tienen: E. coli, salmonellas, Vibrio cholerae, entre otras.	Por su forma de obtener alimento.
Saprófitas	Tipos de bacterias que se alimentan de los sólidos orgánicos de las aguas residuales y pueden vivir sobre la materia orgánica muerta, entre las cuales se destacan: nitrobacter, nitrosomas, sulfato-reductoras, entre otras.	
Aerobias	Estas bacterias necesitan fuente de oxígeno para su respiración y alimentación, además el agua residual en el que se encuentran no presenta malos olores.	Por el medio en que habitan.
Anaerobias	Bacterias capaces de consumir el oxígeno del material orgánico e inorgánico del agua residual.	
Facultativas	Este tipo de bacterias se encuentran las de tipo aerobio y anaerobio que son capaces de adaptarse, desarrollarse y vivir en condiciones opuestas a su medio natural respectivamente.	
Autótrofas	Son bacterias que mediante la luz solar como fuente de energía para su fotosíntesis, pueden alimentarse de sustancias minerales, como: dióxido de carbono, sulfatos, fosfatos, entre otras.	

**Fuente:** Delgadillo O., Camacho A., Pérez L., Andrade M., 2010.

*Elaboración propia.*

Para la determinación de los microorganismos, presentes en un agua residual, se pueden hacer uso de los siguientes métodos que se detallan a continuación:

Con el método del conteo directo se necesita un microscopio y una cámara de

conteo (puede ser una cámara de Neubauer), donde las celdas donde se realizará el conteo se diseñan con una profundidad y volumen específico, los cuales son conocidos. Mediante este método se reporta el resultado obtenido, como la del conteo total de las bacterias.

El método de cultivo en placa y el esparcido en placa, se involucran la siembra, la identificación y la cuantificación de las bacterias. En el vertido en placa, se realizan diferentes diluciones la muestra de agua residual la cual se va a analizar, luego una muestra de cada una de las diluciones se coloca en una caja para el sembrado de bacterias, para luego realizar el conteo de las colonias procedentes de la incubación respectiva, donde se asume que cada colonia se ha formado por un solo tipo de bacterias, y el número total de bacterias se deberá relacionar con la dilución realizada, expresando el resultado como Número más probable por 100 mL (NMP/100 mL).

El método de membrana filtrante consiste en la filtración de una muestra de agua de volumen conocido a través de una membrana filtrante, cuyos poros son de aproximadamente 0,45 micras de diámetro, en el cual las bacterias se retienen con la finalidad de ponerlas en contacto con agar, que tiene diferentes tipos de nutrientes, que permitirán el desarrollo y crecimiento de la población bacteriana. Luego del periodo de incubación de las bacterias, se proceden a cuantificarlas, calculándolas con la concentración de la muestra inicial del agua, expresando el resultado en Unidades Formadoras de Colonia por cada litro o 100 mL de muestra de agua (UFC/100 mL).

Mientras que la técnica de fermentación en tubos múltiples consiste en diluir la muestra de agua residual hasta llegar la extinción, donde las diferentes concentraciones realizadas por esta técnica se expresan como Número Más Probable por cada 100 mL de la muestra (NMP/100 mL). Esta técnica es de probabilidad, donde se realiza en 3 fases: la presunción, confirmación y la terminación de la prueba respectiva. [3]



#### **1.3.4.4. Tratamiento terciario**

Conocido también como tratamiento avanzado, en esta etapa de tratamiento se realiza para la remoción de sólidos suspendidos, nutrientes y otros componentes que no fueron eliminados por el tratamiento secundario, se realizan diversos tipos de procesos como: eliminación de sólidos suspendidos con microtamizado, filtración y coagulación, adsorción con carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, oxidación química (cloración y ozonación), entre otros, todos con la finalidad de obtener una calidad de efluente de mejor calidad en comparación del tratamiento anterior. [13]

#### **1.3.5. Bases de diseño para el sistema de lodos activos**

##### **1.3.5.1. Índice de biodegradabilidad**

El índice de biodegradabilidad permite conocer si el agua residual al ingreso del sistema, puede tratarse mediante un tratamiento biológico o un tratamiento físico – químico. Puede ser calculado mediante los valores de  $DBO_5$  y  $DQO$  del agua residual, mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Para, la toma de decisiones para su tratamiento mediante esta relación, se detalla a continuación:

**Tabla 1.7.** Tipo de tratamiento para el agua residual según el índice de biodegradabilidad.

<b>Índice de biodegradabilidad</b> $(DBO_5/DQO)$	<b>Tratamiento recomendado</b>
< 0,2	Las aguas residuales contienen elevados contaminantes inorgánicos, por lo cual se recomiendan ser tratadas mediante procesos físico y/o químicos.
> 0,4	Los vertidos considerados biodegradables, que pueden o no ser tratados biológicamente.
> 0,65	Las aguas residuales son consideradas orgánicas, y muy biodegradables, por lo que un tratamiento biológico es adecuado.

*Fuente: Fernández L., 2008.*

*Elaboración propia.*

### **1.3.5.2. MLSS y MLVSS**

Se conoce que el reactor biológico se dispone de una mezcla de agua y unos sólidos en suspensión (la mayor parte biomasa).

Los MLSS (sólidos en suspensión en el licor de mezcla), es la concentración en ppm de los sólidos en suspensión presentes en el reactor biológico.

Los MLVSS (sólidos en suspensión volátiles en el licor de mezcla) representa la concentración en ppm de los sólidos en suspensión volátiles (orgánicos) existentes en el reactor biológico.

El análisis de MLSS es de mayor facilidad de medición y de control en la concentración de biomasa en el reactor, donde el control de la población se puede llevar a través de la concentración de MLSS.

### 1.3.5.3. Índice volumétrico de lodos (IVL)

Conocido también como índice volumétrico de fangos, es una medición que se realiza para determinar la calidad de sedimentación de los lodos producidos en el proceso, es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$IVL \text{ (mL/g)} = \frac{\text{Volumen de lodo decantable (mL/L)}}{MLSS \text{ (g/L)}}$$

Dónde: El numerador es el volumen de lodos del reactor biológico, que son medidos luego de 30 minutos en un cono Imhoff, se expresan en mL/L.

Los MLSS, son los sólidos en suspensión del licor de mezcla, expresados en g/L.

El valor del índice volumétrico de lodos, califica a la sedimentabilidad de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 1.8.** Rangos de IVL con sus características de sedimentabilidad.

Rango de IVL	Características
< 90 mL/g	Excelente sedimentabilidad
90 mL/g – 150 mL/g	Buena sedimentabilidad
> 150 mL/g	Mala sedimentabilidad

*Fuente: Abefase J., 2012.*

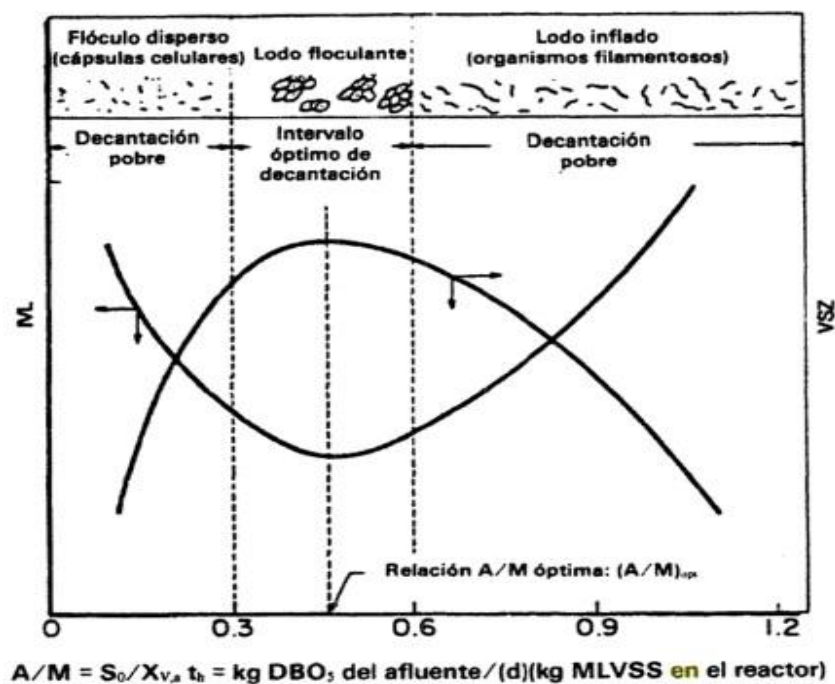
*Elaboración propia.*

### 1.3.5.4. Relación F/M (Alimento/Microorganismo)

Este parámetro suele también ser relacionado con las características de sedimentación de los fangos, donde se relacionan el alimento que ingresa al sistema (caracterizada por la DBO<sub>5</sub>) entre la cantidad de microorganismos para biodegradarlas (definida por los sólidos en suspensión del licor de mezcla). Se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$F/M \left( \text{Kg/Kg} - \text{día} \right) = \frac{Q_{\text{entrada}} (\text{m}^3/\text{día}) \times \text{DBO}_5 (\text{Kg/m}^3)}{\text{MLSS} (\text{Kg/m}^3) \times V_{\text{reactor}} (\text{m}^3)}$$

Para que el proceso de lodos activados presente buenas condiciones en la sedimentación, la relación de F/M debe encontrarse comprendido entre los valores: 0,3 – 0,6. (Ver Figura 1.2)



**Figura 1.2.** Curva de sedimentabilidad de lodos según relación F/M.

*Fuente:* Ramalho R., 1983.

En los casos donde se presenten valores fuera del rango, son detallados a continuación:

- Cuando la relación F/M es inferior a 0,3 Kg/Kg-día, significa que la cantidad de alimento que ingresa al sistema no es suficiente para el desarrollo de los microorganismos, por lo cual ellas viven en un sistema de respiración

endógena, y mediante su metabolismo generan capsulas celulares que son ligeras y resistentes a la decantación. En este caso, el lodo presenta características de flóculos dispersos.

- Si la relación F/M es superior a 0,6 Kg/Kg-día, existe una elevada cantidad de microorganismos filamentosos (Sphaerotilus), por lo tanto el lodo bajo estas condiciones no decanta de manera adecuada y permanece en suspensión.

#### **1.3.5.5. Carga másica (CM)**

Es la relación entre la alimentación por día (materia orgánica biodegradable) que entra en el reactor y biomasa que se tiene en el sistema. La CM se representa por, el cociente entre la cantidad de DBO<sub>5</sub> que se introduce en el sistema por día y la masa de microorganismos existentes en el reactor. Se expresa en Kg de DBO<sub>5</sub> en el influente en un día dividido por los Kg de biomasa en el tanque de aireación.

Como se indicó anteriormente la facilidad de medir los MLSS, la carga másica puede ser expresada de la siguiente manera:

$$CM = \frac{Kg/día DBO_5}{Kg MLSS}$$

Por lo tanto los procesos biológicos se pueden clasificar de diferentes maneras, en función de su carga másica, siendo:

- Alta carga, cuando CM > 0,5.
- Media carga, para CM entre 0,5 – 0,2.
- Baja carga, cuando CM < 0,2.

La relación entre la carga másica y el rendimiento del proceso en las aguas, pueden previsto por su CM.

**Tabla 1.9.** Valores de CM en función del rendimiento del proceso.

<b>Rendimiento proceso (%)</b>	<b>CM (Kg DBO<sub>5</sub>/D)/Kg MLSS</b>
87	0,5
88	0,4
90	0,3
92	0,2
93	0,1
94	0,01

*Fuente: Sainz J., 2005.*

*Elaboración propia.*

### **1.3.5.6. Carga volumétrica (CV)**

Es la relación que existe entre los Kg de DBO<sub>5</sub> que se introducen en el tanque de aireación por día y el volumen del tanque de aireación.

$$CV = \frac{kg/día\ DBO_5}{V\ (m^3)}$$

Siendo; CV: Carga volumétrica, Kg/m<sup>3</sup>×día

El valor de la carga volumétrica, es menos representativo de la CM indicada, y es utilizado para comprobar el volumen del reactor calculado a partir de la carga másica. En función de la carga volumétrica utilizada en los procesos se pueden clasificar en:

- Alta carga, cuando CV > 1,5.
- Carga media, entre 1,5 y 0,6.

- Baja carga, entre 0,6 y 0,35.
- Muy baja carga < 0,35.

Este último valor solo se produce en el proceso de oxidación total o de aireación prolongada.

### 1.3.5.7. Tiempo de residencia ( $T_r$ )

El tiempo de residencia hidráulico puede calcularse a partir del volumen obtenido para el reactor, de la siguiente manera:

$$T_r = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}$$

Donde:  $T_r$  = Tiempo de residencia hidráulico (h),  $V$  = Volumen del reactor ( $m^3$ ),  $Q$  = Caudal ( $m^3/h$ ).

### 1.3.5.8. Requerimiento de oxígeno

La distribución de oxígeno disuelto diario requerido para el tanque de aireación o reactor biológico debe ser mínimo 2 mg/L de  $O_2$ , puede ser calculado mediante el caudal y la  $DBO_5$  que ingresan al sistema. Generalmente, se expresa en Kg/h de  $O_2$ .

### 1.3.5.9. Cantidad de lodos a purgar

Para mantener en equilibrio el sistema entre los sólidos suspendidos generados en la síntesis de microorganismos y los lodos eliminados en el clarificador secundario, se debe realizar una purga diaria, considerando la biomasa generada en el reactor biológico. La purga de lodos se la calcula mediante el uso de la fórmula de Huisken:

$$P_{lodos} = 1,2 \times DBO_{5\text{eliminada}} \times CM^{0,23}$$

Donde:  $P_{Lodos}$ , son los Kg de lodos a purgar al día;  $DBO_5$  eliminada es la cantidad en

Kg de demanda bioquímica de oxígeno removida al día y CM es la carga másica del sistema en Kg/Kg – día. [18]



# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

### 2.1. Revisión del manual de operación y fichas técnicas de equipos de la PTAR

En esta etapa, se revisará el Manual técnico de operación de la PTAR de la industria de alimentos, con el fin de obtener información del diseño, capacidad, material y datos relevantes de los tanques de aireación y de clarificador secundario.

Además, mediante la revisión de la ficha técnica del aireador o blower se obtendrá información del modelo, capacidad, eficiencia, potencia del mismo. Así, también se definirán las características de los difusores que se encuentran instalados en el tanque de aireación o reactor biológico.

### 2.2. Medición de caudales en el sistema

Para determinar los caudales de entrada del sistema en estudio (salida del clarificador primario – entrada del reactor biológico), se utilizó un balde de 10 L en el cual se tomaron volúmenes de agua medidos en litros, mientras que contabilizaba el tiempo con la ayuda de un cronómetro, cuyas unidades de medición se realizaron en segundos. El resultado de las mediciones de caudales se reportaron como  $m^3/h$ . Repetir el mismo procedimiento cada hora durante el día.

### 2.3. Monitoreo de parámetros de operación del proceso de lodos activos

El proceso de lodos activos de la planta de tratamiento de aguas de la empresa de alimentos fue monitoreado durante los días 29-noviembre-2016 hasta el 05-diciembre-2016, con la finalidad de obtener información sobre el comportamiento de la cantidad y calidad de agua que ingresa al sistema de estudio, para su posterior caracterización.

En esta etapa se estableció como punto de estudio, el agua que entra al reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales, donde se realizaron mediciones de: caudal, temperatura, pH, TDS y conductividad.

Para el monitoreo de los parámetros físico-químicos del agua residual industrial se realizaron diez mediciones (durante nueve horas) durante el día.

También, se definieron en el reactor biológico la cantidad poblacional de los microorganismos (bacterias) existentes en el tanque de aireación.

### **2.3.1. Determinación de pH, temperatura, TDS y conductividad**

Para determinar los parámetros físico-químicos del agua residual de entrada del sistema en estudio (salida del clarificador primario – entrada del reactor biológico), se realizaron mediante el uso del equipo Ultrameter II 6PFC, un termómetro y un pHmetro.

Mediante el uso de una pipeta se miden 5 mL del agua residual, y se la coloca en la ranura del equipo Ultrameter II 6PFC, y este determina los parámetros de físicos del agua: TDS y conductividad, ambos parámetros se reportan en unidades de mg/L.



**Figura 2.1.** Medición de TDS con equipo Ultrameter II 6PFC.

*Elaboración propia.*

Para la medición del pH, se coloca en un vaso de precipitación una cantidad de 100 mL de la muestra del agua residual, y con ayuda del pHmetro se toma la lectura y registra el valor mostrado. Para la medición de la temperatura se introduce un termómetro en la muestra y se registra el valor en unidades de °C.

Repetir el mismo procedimiento cada hora durante el día.

### **2.3.2. Control de volumen de lodos en el reactor biológico**

Para determinar el volumen de lodos, se recolecta una muestra de 1 L en un vaso de precipitación del tanque de aireación, de inmediato se transvasa la muestra al cono Imhoff, y se deja sedimentar la muestra por 30 minutos.

Transcurrido el tiempo, se mide la cantidad de lodos que han sedimentado en el periodo de tiempo establecido.



**Figura 2.2.** Control de lodos en el reactor en el cono Imhoff.

*Elaboración propia.*

### **2.3.3. Determinación de parámetros microbiológicos en el reactor biológico**

Etapa en donde se determinan los aspectos microbiológicos mediante el método de conteo directo de bacterias en el agua residual proveniente del reactor biológico del sistema de lodos activos.

Se realiza una desinfección con ayuda de un algodón húmedo con alcohol, a los materiales a utilizar, como: celda de Neubauer, cubreobjetos y la pipeta, con la finalidad de no contribuir con más microorganismos y realizar un conteo adecuado de las bacterias. Se deben esperar unos cinco minutos para que el alcohol se volatilice.

A continuación, con la pipeta se mide 1 mL de la muestra, y se la coloca en las celdas de la cámara de Neubauer con el cubreobjetos puesto, hasta que la cámara se inunde con la muestra, luego se procede a limpiar el exceso de muestra con un algodón limpio y seco. En caso de que exista la presencia de burbujas, se debe de repetir la operación del llenado de la muestra en la cámara.

Posteriormente, se fija la cámara de Neubauer al microscopio, se enciende la luz y se enfoca el microscopio hasta ubicarse en los cuadrantes de 0,05 mm de tamaño, para proceder al conteo de las bacterias.

Repetir el mismo procedimiento durante los días de la evaluación del sistema.

## **2.4. Caracterización del tratamiento secundario**

Mediante la evaluación realizada al sistema de fangos activos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa alimenticia, se determinó el día más crítico con respecto a los caudales de entrada en nuestro sistema, con la finalidad de realizar la recolección de muestras, analizarlas y caracterizarlas.

Por lo cual, el inicio de la caracterización del agua residual de nuestro sistema en estudio, se realizó el día 21-diciembre-2016, tomando tres puntos para su respectivo muestreo:

- a. Entrada al reactor biológico.
- b. Reactor biológico.
- c. Salida del tanque clarificador secundario.

### **2.4.1. Preparación de los envases para la recolección de muestras de aguas residuales**

Se utilizaran botellas de polietileno de alta densidad con capacidad de 1 L, con tapas son de polipropileno. Se lavan con jabón libre de fosfato y agua potable. A continuación, se las desinfecta con una solución de ácido clorhídrico de concentración 0,01 N, dejándola actuar por 60 segundos, para proceder a enjuagarlos con agua destilada.

Las botellas son colocadas en una percha, secadas y rotuladas, para su posterior uso.

### **2.4.2. Recolección de las muestras de aguas residuales**

Las muestras de aguas residuales serán recolectadas durante el día en los

diferentes puntos de muestreo: entrada al reactor biológico, reactor biológico y salida del clarificador secundario, desde las 08h00 hasta las 14h00, cada media hora, con un volumen parcial de 1 L cada una y depositadas en los envases de polietileno de alta densidad y claramente identificadas.

Para la conservación de la calidad de las muestras, se las guardará en una hielera con una temperatura promedio de 10°C.

Al final del día, las muestras que se obtuvieron de los diferentes puntos de muestreo, son mezcladas y homogenizadas respectivamente, obteniéndose una muestra compuesta por seis horas en cada uno de los puntos de muestreo mencionados, y listas para ser analizadas.

### 2.4.3. Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales recolectadas de los diferentes puntos de muestreo, se caracterizan por parámetros físico-químicos, que dependiendo de la necesidad se realizan los análisis. A continuación se muestran los diferentes análisis que se realizarán por cada agua residual de diferentes puntos de recolección:

**Tabla 2.1.** Distribución de parámetros para caracterización en los puntos de muestreo.

Parámetros de caracterización	Puntos de muestreo		
	Entrada al reactor biológico	Reactor biológico	Salida del clarificador secundario
pH	X	X	X
Alcalinidad	X	-	X
Demanda bioquímica de oxígeno	X	-	X
Demanda química de oxígeno	X	-	X
Oxígeno disuelto	-	X	-
Volumen del licor de mezcla	-	X	-

Sólidos suspendidos totales	X	X	X
Sólidos suspendidos volátiles	X	X	X
Sólidos disueltos totales	X	X	X
Fósforo total	-	X	-
Nitrógeno total	.	X	-

*Elaboración propia.*

#### **2.4.3.1. pH**

Se sigue el mismo procedimiento descrito en Determinación parámetros físico-químicos. (Ver 2.3.1)

#### **2.4.3.2. Alcalinidad**

Para determinar la alcalinidad se deben coger 20 mL de la muestra de agua, y colocarla en el matraz Erlenmeyer, se mide el pH del agua con ayuda del pHmetro, para determinar el tipo de alcalinidad que presenta. A continuación, colocar de 2 a 3 gotas del indicador adecuado según el pH de la muestra. Si la muestra presenta un pH  $\geq 8,3$  se usará el indicador de fenolftaleína y, si el pH  $< 8,3$  se usará como indicador anaranjado de metilo. Posteriormente, se procede a titular la muestra de agua hasta llegar al punto de viraje (pH =4,5), y se calcula la alcalinidad total de la muestra de agua residual, cuyo resultado es expresado en unidades de mg/L.

#### **2.4.3.3. DBO<sub>5</sub>**

El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno o DBO<sub>5</sub>, fue realizado por un laboratorio externo acreditado (Acreditación N° OAE LE 2C 05-003) con el método de análisis SM 5210 B. Se expresa en unidades de mg/L.

#### **2.4.3.4. DQO**

Para determinar la cantidad de demanda química de oxígeno presente en el agua residual, se deben de usar 2 frascos de reactivos provistos en el kit HANNA para determinación de DQO, uno se lo utiliza para preparar el blanco y el otro para la muestra residual.

Para la preparación del blanco, a un frasco se le adicionan 2 mL de agua destilada, e inmediatamente homogenizar la muestra. Mientras que el otro frasco, se le agregan 2 mL de la muestra de agua residual a analizar y se homogeniza, ambos frascos deben ser correctamente rotulados. A continuación los dos frascos se introducen en el digestor HI 839800 por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 150°C. Pasado el tiempo de digestión, se retiran los tubos del equipo, y se esperan 20 minutos para que se enfríen.

Posteriormente, el frasco con la muestra del blanco se lo introduce en el fotómetro multiparamétrico HI 83099, para proceder a encerar el parámetro de DQO en el equipo, luego se lo retira, y finalmente se introduce el frasco con la muestra residual y se registra la lectura de demanda química de oxígeno proporcionada por el equipo, expresada en unidades de mg/L.



**Figura 2.3.** Análisis de DQO en el equipo HI 83099.

*Elaboración propia.*



#### **2.4.3.5. SST y SSV**

Los parámetros de sólidos suspendidos totales y volátiles, se realizaron por un laboratorio externo acreditado (Acreditación N° OAE LE 2C 05-003) con los métodos de análisis: EPA 160.2 y EPA 160.3 respectivamente. Expresados en unidades de mg/L.

#### **2.4.3.6. TDS**

Se sigue el mismo procedimiento descrito en Determinación parámetros físico-químicos. (Ver 2.3.1)

#### **2.4.3.7. Fósforo total**

Para determinar el contenido de fósforo que contiene una muestra de agua residual, se colocan 10 mL de la muestra medidos con pipeta en el tubo de ensayo y colocarle la tapa. En seguida, se introduce el tubo de ensayo con la muestra en el equipo fotómetro multiparamétrico HI 83099, para proceder a encerrarlo.

En adición, se retira el tubo de ensayo del equipo y se le adicionan 10 gotas del reactivo de molibdeno y polvo de aminoácidos (1 gramo), se homogeniza la muestra, y se esperan cinco minutos para que los reactivos reaccionen en la muestra. Luego, se introduce nuevamente el tubo de ensayo en el equipo, y se realiza la lectura de fósforo en unidades de mg/L de fósforo (P).



**Figura 2.4.** Determinación del contenido de fósforo en el agua residual.

*Elaboración propia.*

#### **2.4.3.8. Nitrógeno total**

El parámetro de nitrógeno total, fue realizado por un laboratorio externo acreditado (Acreditación N° OAE LE 2C 05-003) con el método de análisis HACH 10071. Expresado en unidades de mg/L de nitrógeno (N).

#### **2.4.3.9. Oxígeno disuelto**

Para la determinación del parámetro de oxígeno disuelto se utilizaron dos métodos: método Winkler modificado y el uso de un multiparámetro con la sonda correspondiente. A continuación se describen ambos métodos:

##### **a. Método 1: Winkler modificado**

Se usa el kit HDM 146900, en el cual provee los reactivos y materiales necesarios para la medición de oxígeno disuelto. Se coloca una muestra del agua residual hasta el aforo del recipiente de 60 mL, y se adicionan al reactivo 1 (hidróxido de sodio) y reactivo 2 (yoduro de potasio) simultáneamente, se homogeniza la muestra durante un minuto. A continuación se agrega el reactivo 3 (sulfato magnésico), el que inmediatamente va a reaccionar con el oxígeno presente en la muestra de agua, formando un precipitado de color marrón. En caso de que no exista oxígeno la muestra no cambiará de color. Posteriormente, colocar la

muestra en un tubo de ensayo provisto en el kit y titular gota a gota con el reactivo 4 (tiosulfato de sodio) hasta el punto de viraje a color original del agua. El número de gotas utilizadas en la titulación, es la cantidad de mg/L de oxígeno presente en el agua residual.

b. Método 2: Uso del multiparámetro con sonda para medir oxígeno disuelto. El parámetro de oxígeno disuelto, fue realizado por un laboratorio externo acreditado (Acreditación N° OAE LE 2C 05-003) con un multiparámetro HACH HQ40d. El resultado se expresa en unidades de mg/L.



**Figura 2.5.** Medición de oxígeno disuelto con método Winkler modificado y multiparámetro.

*Elaboración propia.*

## 2.5. Evaluación del proceso de lodos activos de la PTAR

Esta fase, comprende los cálculos de operación y diseño de la etapa de lodos activos de la planta de tratamiento de aguas residuales, para así conocer su situación actual y proponer las mejoras correspondientes al sistema. Los parámetros a calcularse serán los siguientes:

- Índice de biodegradabilidad.
- Índice volumétrico de lodos (IVL).

- Relación F/M (Alimento/Microorganismos).
- Carga másica (CM).
- Carga volumétrica (CV).
- Tiempo de retención hidráulico ( $t_r$ ).
- Diseño del reactor biológico.
- Purga de lodos.
- Requerimiento de oxígeno en el reactor biológico.
- Requerimiento de nutrientes para el proceso de lodos activos.

## **2.6. Planteamiento de medidas correctivas**

Es la etapa final del proyecto, en donde se plantearán las propuestas de operación y/o diseño de la PTAR de la industria de alimentos, en caso de ser necesarias, basándose en la evaluación realizada al tratamiento secundario. La información que se obtenga, será sintetizada en una tabla, en donde se especificarán parámetros de control que se deben de cumplir para que la planta de tratamiento de aguas de la industria funcione de la mejor manera, y que exista una excelente remoción de la carga que ingresa, garantizando que el efluente industrial no afecte al cuerpo receptor.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Revisión y generalidades de la PTAR

Mediante la revisión in situ de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria de alimentos, se detallará sobre el proceso de funcionamiento de la PTAR, sus diferentes etapas, los equipos involucrados y los químicos que se dosifican.

La industria de alimentos genera volúmenes de agua que son de tipo doméstico e industrial, las cuales pasan a través de un tratamiento preliminar por medio de cinco trampas de grasas, que se encuentran distribuidas en diferentes áreas estratégicas en la industria.

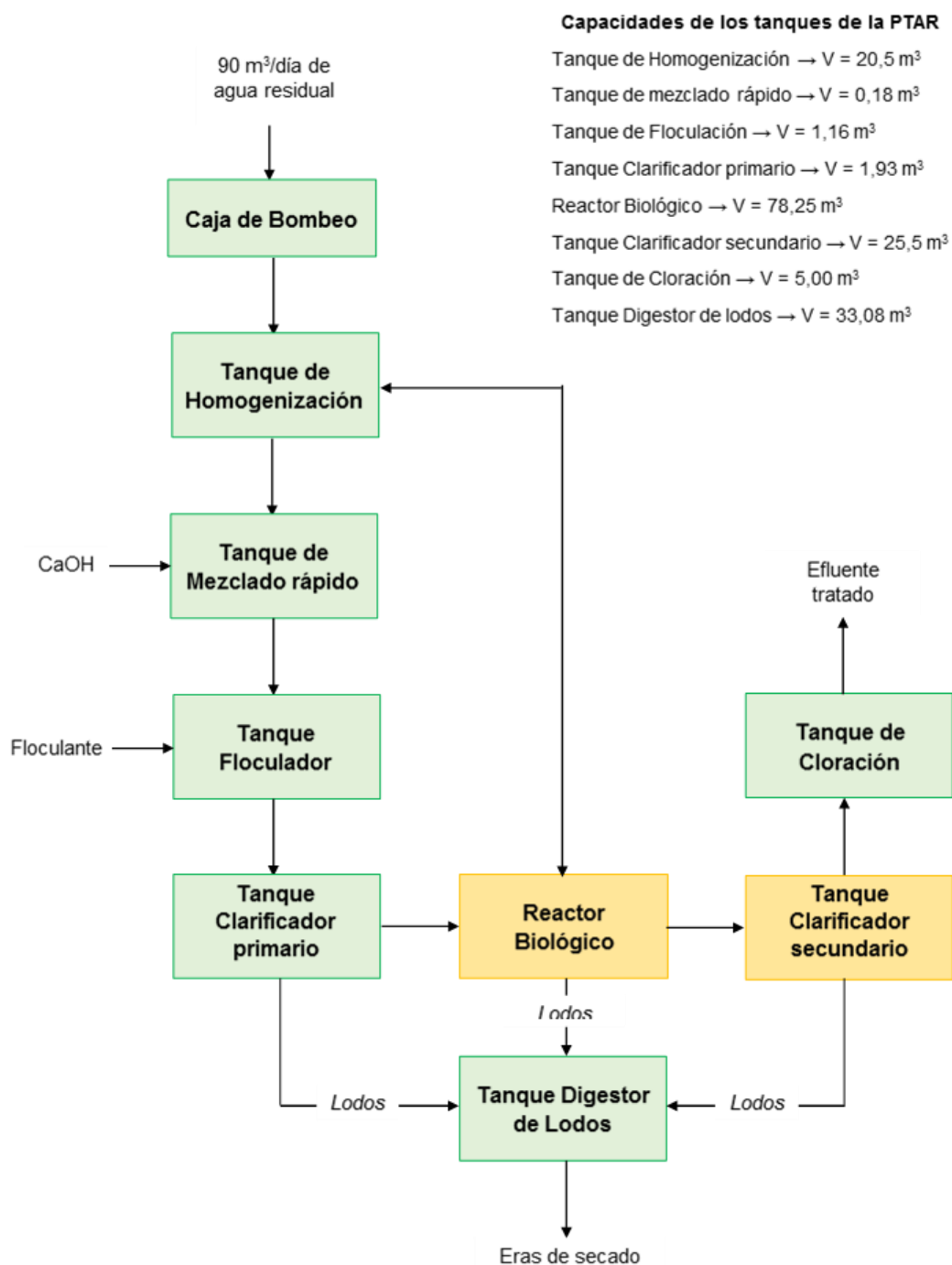
Las aguas residuales son recolectadas en una caja de bombeo que está situada a la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, y mediante una bomba sumergible, el agua ingresa a un tanque de homogenización, a continuación el agua ingresa a un tanque de mezclado rápido, en donde se dosifica una solución de hidróxido de calcio.

Posteriormente, el agua que proviene de proceso anterior es llevada por gravedad a un tanque de mezclado lento, en donde se adiciona una solución de sulfato de aluminio, en donde existe la formación de flóculos, y mediante rebose el agua entra a la siguiente etapa o tratamiento secundario.

Luego, el agua ingresa al tanque de aireación o reactor biológico, en donde se encuentran presentes microorganismos que degradan la carga orgánica del agua, por lo cual existe una dosificación de nutrientes para el crecimiento y reproducción de los microorganismos, tales como: urea y fosfato de amonio, además de la inyección de aire en reactor biológico, que es suministrado por un blower o aireador. El efluente de esta etapa contiene agua residual con biomasa, la cual pasará a un tanque clarificador secundario.

En el clarificador secundario, los sólidos se sedimentan y cierta parte retorna al

reactor biológico, mientras que la otra parte es enviada a un tanque de digestión de lodos. Finalmente, mediante rebose del clarificador, el agua tratada es enviada a un tanque en el cual se le dosifica una solución de dióxido de cloro, para su posterior descarga.



**Figura 3.1.** Diagrama de bloques del proceso de operación de la PTAR.

*Elaboración propia.*

### **3.2 Identificación de las condiciones operativas del tratamiento secundario de la PTAR**

La planta de tratamiento de aguas residuales de la industria alimenticia es operada por una persona en un turno desde las 08h00 – 17h00. El diagnóstico inicial del tratamiento secundario de la PTAR, comenzó a realizarse desde el 14-septiembre-2016, a continuación se definen las actividades que se efectuaban durante el periodo evaluativo:

- El pH del agua que ingresaba al reactor biológico se encontraba en la escala ácida en un rango de 5 – 6, siendo un medio no adecuado para el desarrollo de las bacterias benéficas en el tanque.
- La dosificación de nutrientes en la etapa biológica, se realiza manualmente, se adicionaban 8 Kg de urea y 12 Kg de fosfato de amonio durante el día.
- El oxígeno disuelto en el reactor biológico, se encontraba con un valor de 0,17 mg/L, por lo que los organismos microbiológicos no eran fácilmente detectados y la población no aumentaba, así mismo el agua presentaba una coloración gris oscura. Además, mediante la medición con el cono Imhoff se determinaba que existía poca cantidad de lodos en el sistema, encontrándose entre 50 – 150 mL/L. Y en otras ocasiones los volúmenes de lodos alcanzaban valores entre 500 – 600 mL/L.
- La cantidad de iones cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) que llegaban al reactor biológico y que se encontraban presentes, era elevada encontrándose un valor de 0,7% o 7000 mg/L de  $\text{Cl}^-$ .
- Se evidenciaba en la superficie del agua residual del tanque de aireación o reactor biológico, gran cantidad de espuma blanca, que frecuentemente se desbordaba del tanque.

- En adición, los parámetros físico-químicos de la calidad del agua de salida de la PTAR no cumplían con los límites máximos permisibles que la norma ambiental ecuatoriana establece.

**Tabla 3.1.** Comparación de descarga de efluente del mes de septiembre de 2016 con la normativa ambiental ecuatoriana.

Parámetro	Unidad	Calidad de efluente tratado en la PTAR	Norma ambiental ecuatoriana	Resultado
pH	-	5,7	6 – 9	NO CUMPLE
DBO <sub>5</sub>	mg/L	261	100	NO CUMPLE
DQO	mg/L	521	200	NO CUMPLE

*Fuente:* a) Análisis de laboratorio PSI, septiembre 2016.

b) Acuerdo Ministerial No. 028, 13 de febrero de 2015.

*Elaboración propia.*

Como se observó en la Tabla 3.1, los parámetros de pH, demanda bioquímica (DBO<sub>5</sub>) y química de oxígeno (DQO), sobrepasan los límites máximos permisibles, por lo cual el tratamiento de las aguas residuales, no se encuentra funcionando de la mejor manera, ya que se evidencia que no existe una buena remoción de la carga orgánica contaminante en el agua.

### 3.3 Capacidades de los equipos del tratamiento secundario

Al tratamiento secundario de la PTAR lo constituyen: el reactor biológico y clarificador secundario, a continuación se detallan sus características:

**Tabla 3.2.** Características de diseño de tanques del tratamiento secundario.

Características	Reactor biológico	Clarificador secundario
Material	Acero	Acero al carbono
Altura	3,20 m	2,0 m (cilíndrica) – 1,5 m (cónica)
Diámetro	5,58 m	3,6 m (cilíndrica)
Volumen efectivo	78,25 m <sup>3</sup>	25,5 m <sup>3</sup>



*Fuente: Manual técnico de la empresa de alimentos, 2015.*

*Elaboración propia.*

Como fuente de suministro de aire, se tiene un blower o aireador, el cual abastece al reactor biológico, tanque de homogenización y tanque digestor de lodos. A continuación se especifican las características del blower:

**Tabla 3.3.** Características del blower de la PTAR.

<b>Características</b>	<b>Detalle</b>
Modelo	KAESER - Omega 42P
Capacidad	550 ft <sup>3</sup> /min
Eficiencia	91,7 %
Presión	15 psig
Potencia	10 HP
Velocidad de giro máximo	4720 rpm

*Fuente: Ficha técnica de KAESER compresores – Sopladores Serie Omega.*

*Elaboración propia.*

En el interior del reactor los encargados suministrar oxígeno son 16 difusores de burbuja fina, en la Tabla 3.4 se muestran las características:

**Tabla 3.4.** Características de los difusores del reactor biológico.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Tipo	-	Burbuja fina
Diámetro	cm	20,32
Capacidad	m <sup>3</sup> /h	20
Eficiencia	%	40

*Fuente: Manual técnico de la empresa de alimentos.*

*Elaboración propia.*

### 3.4 Medición de caudales al ingreso del tratamiento secundario

Durante el día, se realizaron diferentes mediciones de caudales del agua de ingreso al sistema secundario, proporcionándonos picos mínimos y máximos al día, en la siguiente tabla se pueden observar los valores obtenidos:

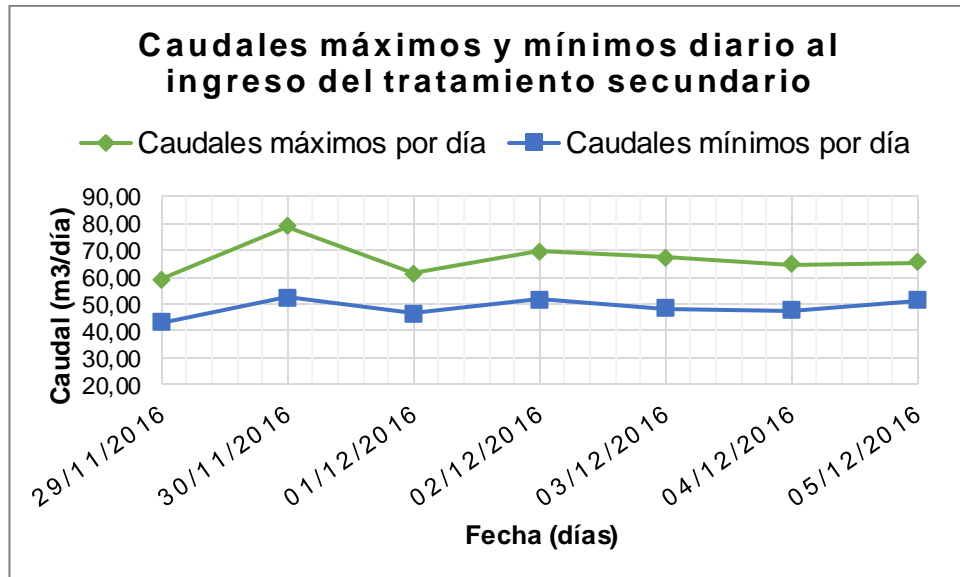
**Tabla 3.5.** Comportamiento diario del caudal de ingreso al tratamiento secundario.

<b>Fecha (Días)</b>	<b>Caudal mínimo (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Caudal máximo (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Caudal diario (m<sup>3</sup>/día)</b>
29/11/2016	43,20	59,04	52,80
30/11/2016	52,56	78,96	60,48
01/12/2016	46,32	61,20	52,32
02/12/2016	51,60	69,36	57,36
03/12/2016	48,48	67,20	53,04
04/12/2016	47,52	64,80	58,56
05/12/2016	51,36	65,28	58,32
<b>Promedio</b>	<b>48,72</b>	<b>66,55</b>	<b>56,13</b>

*Fuente: El autor (2016).*

*Elaboración propia.*

En la semana del monitoreo del caudal, se establece que el caudal promedio mínimo de entrada al sistema de estudio es de 48,72 m<sup>3</sup>/día, y el caudal máximo es de 66,55 m<sup>3</sup>/día, este comportamiento se observa mejor en el gráfico adjunto:

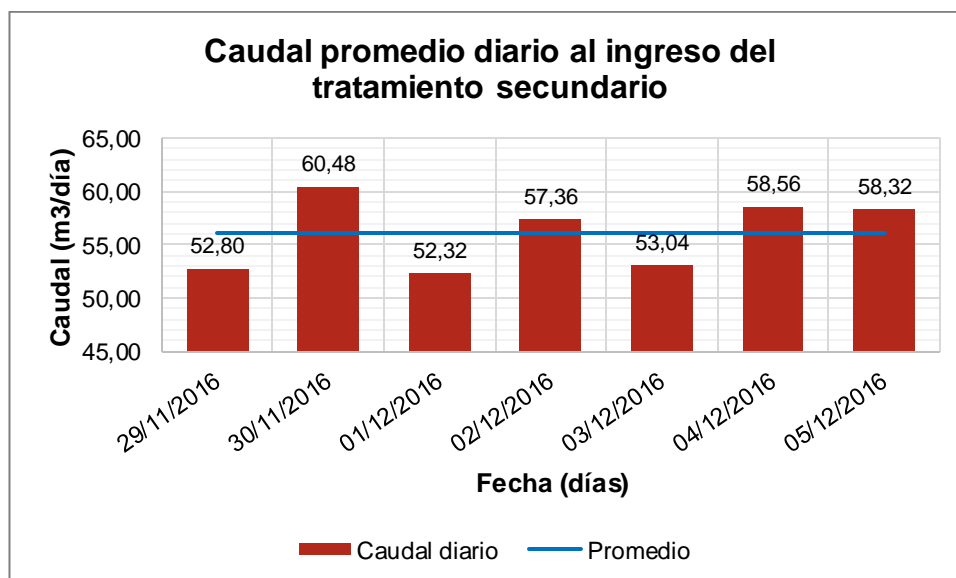


**Gráfico 3.1.** Caudales máximos y mínimos al ingreso del tratamiento secundario.

*Elaboración propia.*

Sin embargo, se ha calculado un promedio de caudal diario de ingreso al proceso de lodos activos, los cuales se mostraron en la tabla anterior, definiendo un caudal actual promedio de 56,13 m<sup>3</sup>/día de agua residual, proveniente del tratamiento primario.

En la Gráfica 3.2, se observan las variaciones del caudal diario de ingreso al tratamiento secundario por día del monitoreo de este parámetro, donde la línea horizontal de color azul corresponde al caudal promedio.



**Gráfico 3.2.** Caudales promedios diarios al ingreso del tratamiento secundario.

*Elaboración propia.*

Para los cálculos y caracterización posterior, se ha considerado tomar como referencia el caudal de 60,48 m<sup>3</sup>/día del día 30-noviembre-2016, ya que el mayor caudal que generó durante las mediciones.

Además, que el caudal de ingreso al sistema, es menor a la capacidad del tanque de aireación, por lo cual se encuentra dentro del rango de diseño.

### **3.5 Datos obtenidos del monitoreo de parámetros de operación del proceso de lodos activos**

#### **3.5.1. Aspectos físico – químicos del agua residual de ingreso**

Durante la semana del monitoreo realizado al tratamiento secundario de la PTAR, se obtuvieron datos y resultados del análisis de los parámetros físico–químicos medidos durante el día. (Ver Apéndice A)

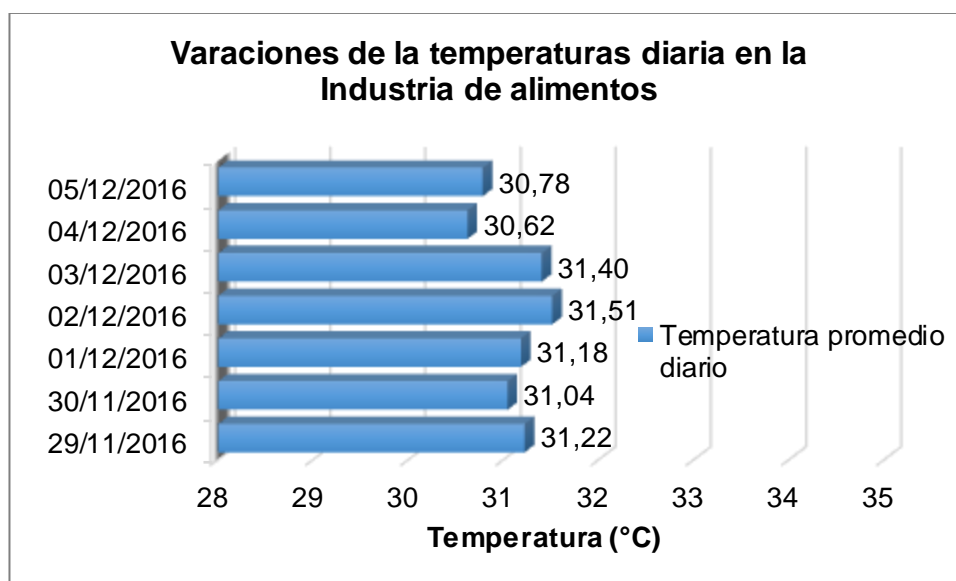
Estos datos fueron promediados, para obtener un valor de cada uno de los parámetros en el día, y poder analizarlos de una mejor manera. A continuación se muestran en la Tabla 3.6 estos valores obtenidos:

**Tabla 3.6.** Parámetros físico-químicos del agua de ingreso al reactor biológico.

	Parámetros	T (°C)	pH	TDS (mg/L)	Conductividad (µS)
<b>Días</b>	29/nov/2016	31,22	6,11	1844,60	3076,10
	30/nov/2016	31,04	5,90	1880,70	3084,89
	01/dic/2016	31,18	4,64	977,94	1680,20
	02/dic/2016	31,51	4,67	2686,80	4326,80
	03/dic/2016	31,40	7,23	3142,00	5012,67
	04/dic/2016	30,62	7,32	2708,80	4478,60
	05/dic/2016	30,78	7,36	2824,20	4886,60
	<b>Promedio</b>	<b>31,11</b>	<b>6,18</b>	<b>2295,01</b>	<b>3792,27</b>

*Elaboración propia.*

Como observa en el Gráfico 3.3, la temperatura promedio diario del sistema secundario en estudio es de 31,11°C, con un rango que oscila entre 30 °C – 32 °C, siendo una temperatura óptima en el medio para el desarrollo bacteriano, sin que exista alguna afectación.



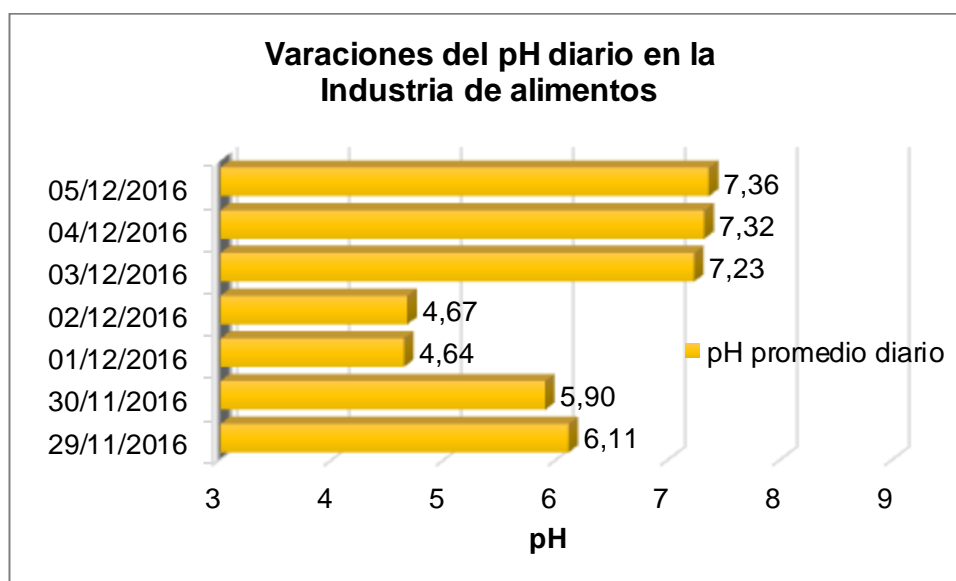
**Gráfico 3.3.** Variaciones de la temperatura de ingreso al sistema biológico.

*Elaboración propia.*

El parámetro de pH resultante del monitoreo a la entrada del sistema secundario es variante, como se aprecia en el Gráfico 3.4, se encuentran valores de pH ácidos en su mayoría, así también como neutros. Los pH ácidos detectados, durante los días 29-noviembre-2016 hasta el 02-diciembre-2016 son debidos a que en esos días no existía dosificación de cal, ni la ayuda de algún producto químico para neutralizar este parámetro.

Sin embargo, a partir del día 03-diciembre-2016, la cal fue agregada al sistema, por lo que el pH incrementó y pudo ayudar a estabilizar en cierta proporción al sistema secundario. Cabe destacar que los valores de pH durante el día fluctúan en un rango ácido, cuando no existe el control operativo sobre la PTAR. (Ver Apéndice A).

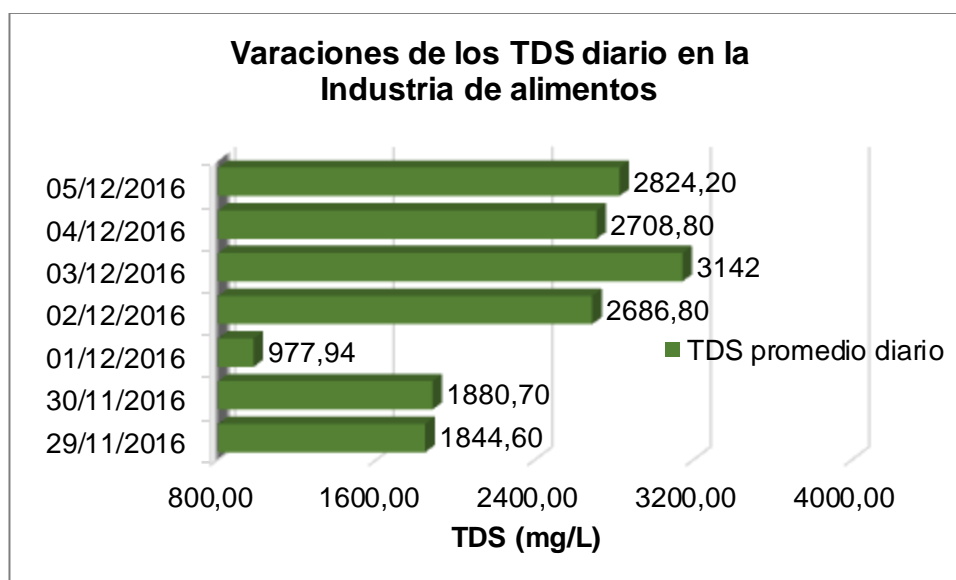
Cabe destacar que el pH promedio del monitoreo resultó ser de 6,18 el cual, no es ideal para el tratamiento secundario, por lo cual es necesario realizar una neutralización previa al ingreso del tanque de aireación. Para que el ingreso de pH bajos de las aguas residuales en el reactor biológico, no afecte a las especies bacterianas presentes y causar su mortalidad, ya que éstas son las encargadas de ayudar en la remoción de la carga orgánica contaminante.



**Gráfico 3.4.** Variaciones del pH de ingreso al sistema biológico.

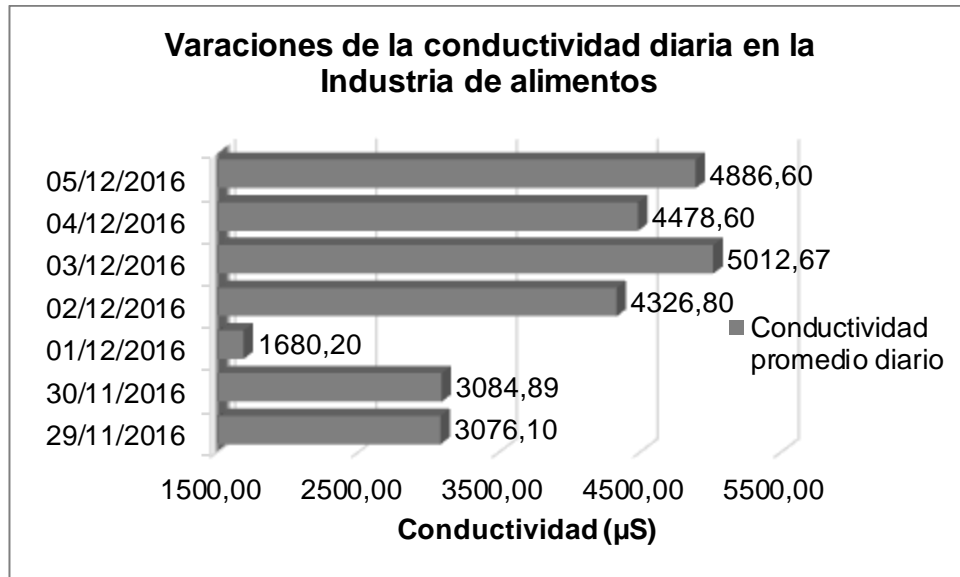
*Elaboración propia.*

Los TDS también fueron monitoreados durante una semana, donde se obtuvieron valores superiores a 1000 mg/L, como se visualiza en el Gráfico 3.5 el día jueves 01-diciembre-2016 los TDS obtenidos fueron bajos por lo que en este día el proceso productivo en la industria únicamente se realiza en turnos diurnos, sin embargo los demás días muestran que al tratamiento secundario en estudio, ingresan valores altos de sólidos disueltos en el agua residual, por lo cual durante el monitoreo se cuantificó la cantidad de iones cloruros presentes y se encontraron que había una cantidad de 0,7% de Cl<sup>-</sup>, que sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la norma ambiental ecuatoriana, y que son difíciles de ser removidos por el tratamiento secundario.



**Gráfico 3.5.** Variaciones de los TDS de ingreso al sistema biológico.  
*Elaboración propia.*

Así también, se cuantificó el valor de la conductividad del agua residual a la entrada del tratamiento secundario, siendo el parámetro de conductividad reportado en unidades de microSiemens ( $\mu\text{S}$ ), además de ser análogo a los TDS, ya que a mayor cantidad de sólidos disueltos en el agua, la capacidad de conducir corriente eléctrica es mayor, por lo cual la tendencia diaria de la conductividad es similar a los TDS, como se observa en el gráfico adjunto:



**Gráfico 3.6.** Variaciones de la conductividad de ingreso al sistema biológico.

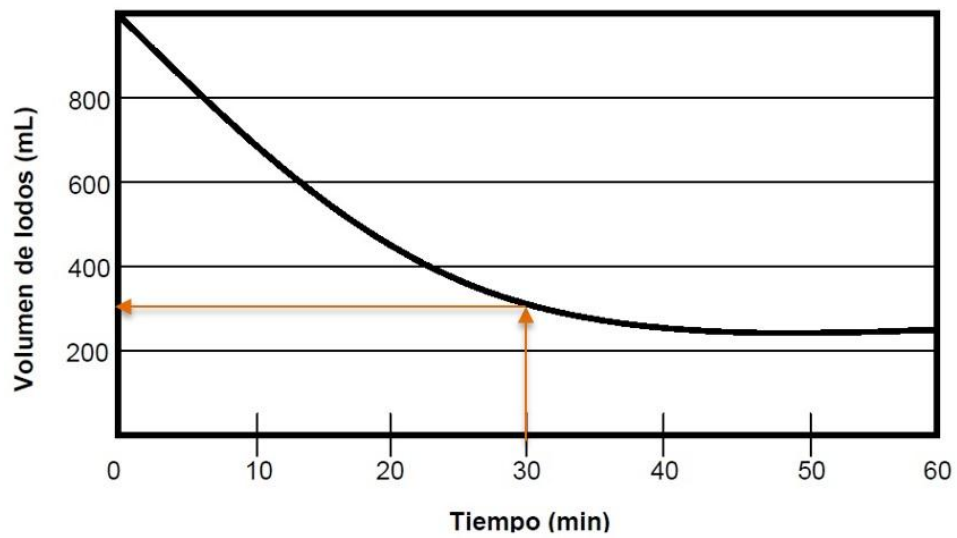
*Elaboración propia.*

### 3.5.2. Aspectos microbiológicos en el reactor

El control del licor de mezcla o biomasa, es un parámetro de vital importancia, ya que nos indica indirectamente la cantidad de microorganismos presentes en el sistema, además de la calidad de sedimentación del mismo.

Para el caso en particular, el volumen óptimo que deben presentar los lodos luego de un tiempo de sedimentación de 30 minutos es de 350 mL/L, según la siguiente figura:





**Figura 3.2.** Curva del volumen de lodo según tiempo de sedimentación.

*Fuente: Calderón C., 2016.*

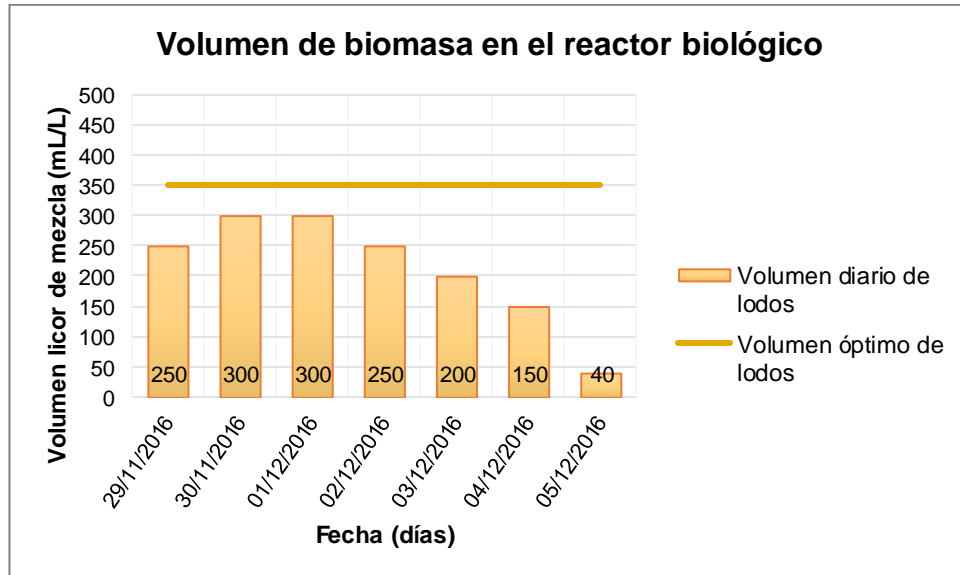
Por lo tanto, se determinaron las cantidades en volumen de los lodos presentes en el tanque de aireación o reactor biológico, obteniendo como resultado los valores que se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 3.7.** Valores del volumen de lodos en el reactor biológico.

Fecha (Días)	Volumen de lodos en el reactor biológico, medidos con el cono Imhoff (mL/L)	Volumen óptimo de lodos (mL/L)
29/11/2016	250	350
30/11/2016	300	
01/12/2016	300	
02/12/2016	250	
03/12/2016	200	
04/12/2016	150	
05/12/2016	40	

*Elaboración propia.*

Como se observa en el Gráfico 3.7, todos los valores del licor de mezcla se encuentran por debajo de volumen óptimo que se recomienda, por lo cual los lodos presentes en el sistema no muestran una buena sedimentación, y se evidencia que existen problemas en el reactor.



**Gráfico 3.7.** Volumen diario de lodos en el reactor biológico.

*Elaboración propia.*

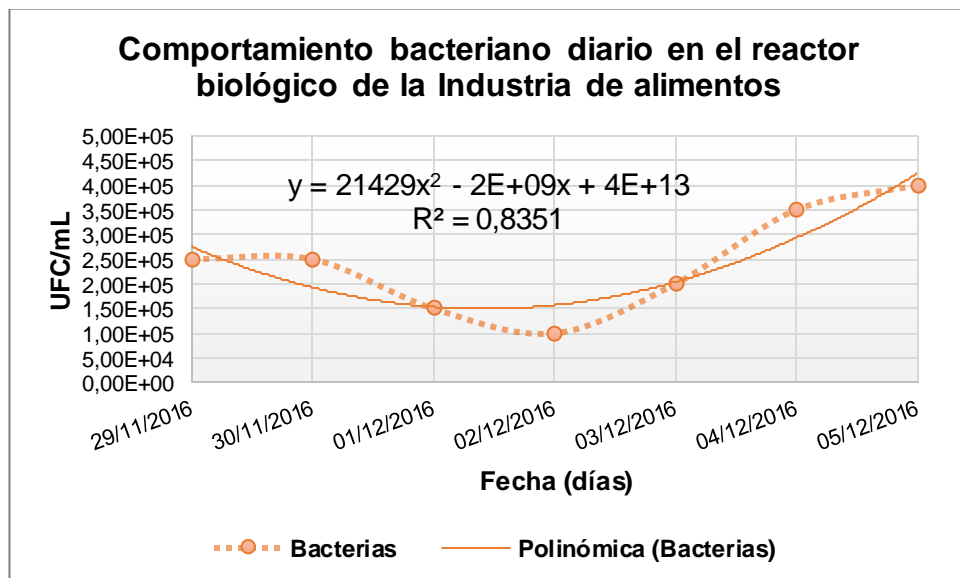
Además, las bacterias presentes en el reactor biológico fueron determinadas diariamente durante el monitoreo del tratamiento secundario, mediante el método de conteo directo, en donde se obtuvieron los resultados de la población bacteriana diaria, como se observa en la Tabla 3.8. La cantidad de bacterias presentes en el sistema es baja, ya que realizando el conteo en cinco cuadrados aleatorios en la cámara de Neubauer, se encontraron <10 microorganismos benéficos.

**Tabla 3.8.** Cantidad poblacional bacteriana en el reactor biológico.

Días	Población bacteriana (UFC/mL)
29-11-2016	$2,50 \times 10^5$
30-11-2016	$2,50 \times 10^5$
01-12-2016	$1,50 \times 10^5$
02-12-2016	$1,00 \times 10^5$
03-12-2016	$2,00 \times 10^5$
04-12-2016	$3,50 \times 10^5$
05-12-2016	$4,00 \times 10^5$

*Elaboración propia.*

Para una mejor comprensión de la población bacteriana diaria en el reactor biológico, se realizó el Gráfico 3.8, en el cual se muestra que los días 01-12-2016 y 02-12-2016 la población bacteriana decreció considerablemente, esto pudo deberse a que durante esos días el pH de ingreso al sistema se encontraba muy ácido, el cual pudo afectar en el crecimiento de las bacterias que se encontraban presentes, conllevándolas en parte a su mortalidad.



**Gráfico 3.8.** Comportamiento de la población bacteriana en el reactor biológico.

*Elaboración propia.*

Mientras que a partir del día 03-12-2016, la población de bacterias aumentó, ya que al agua residual se la neutralizó, razón por la cual el medio fue el adecuado para su supervivencia.

Además, se sembraron bacterias en el reactor, para ayudar en el aumento de la población.

### **3.6 Evaluación del proceso de lodos activos de la PTAR**

Como se indicó en el capítulo anterior, se realizaron análisis los puntos de muestreo del sistema de tratamiento secundario de la PTAR de la industria de alimentos, a continuación en las Tabla 3.9 y Tabla 3.10, se muestran los resultados obtenidos de las aguas residuales.

**Tabla 3.9.** Caracterización del agua residual al ingreso del tratamiento secundario.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Alcalinidad	mg/L	293
DBO <sub>5</sub>	mg/L	873
DQO	mg/L	2223
pH	U	7,3
SST	mg/L	70
SSV	mg/L	60
TDS	mg/L	2054

**Fuente:** Análisis de laboratorio PSI, enero 2017.

*Elaboración propia.*

**Tabla 3.10.** Caracterización del agua residual en el reactor biológico.

Parámetro	Unidad	Resultado
Fósforo	mg/L de P	4,48
Nitrógeno	mg/L de N	4,89
SST	mg/L	998
SSV	mg/L	60
TDS	mg/L	2110
Oxígeno disuelto	mg/L	0,42
Licor mixto	mL/L	500

*Fuente:* Análisis de laboratorio PSI, enero 2017.

*Elaboración propia.*

De acuerdo, a los valores obtenidos de la caracterización de las aguas residuales, se procederá a realizar los cálculos necesarios para la evaluación correspondiente del tratamiento secundario.

Para establecer las condiciones actuales de diseño y de operación del tratamiento secundario, es necesario determinar algunos parámetros o aspectos de interés que ayuden al análisis del sistema, que a continuación se muestran:

### 3.6.1. Índice de biodegradabilidad

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$\text{índice de biodegradabilidad} = \frac{873 \text{ mg/L}}{2223 \text{ mg/L}} = 0,39$$

La relación de  $DBO_5/DQO$ , es de 0,39 lo que significa que el agua residual presenta bajas características de biodegradabilidad, ya que la relación

recomendada es  $> 0,4$ .

Esta relación se debe mejorar, mediante la reducción del DQO, es decir se debe de evitar que los contaminantes inorgánicos ingresen al sistema, para que el proceso de lodos activos pueda ser factible para este tipo de agua residual.

### 3.6.2. Índice volumétrico de lodos (IVL)

$$IVL = \frac{\text{Volumen de lodo decantable (mL/L)}}{MLSS \text{ (g/L)}}$$

$$IVL = \frac{550 \text{ mL/L}}{998 \times 10^{-3} \text{ g/L}} = 551,10 \text{ mL/g}$$

El valor numérico del índice volumétrico de lodos en el reactor biológico es de 551,10 mL/g, este valor obtenido es muy elevado, por lo cual nos indica que el lodo en el reactor biológico presenta malas condiciones de sedimentabilidad.

Para mejorar la relación, se deben de tener una menor cantidad de volumen de sólidos sedimentables en el reactor, y la cantidad de sólidos suspendidos aumentarse (3000 mg/L – 6000 mg/L), a fin que se logre obtener un IVL menor a 150 mL/g, que es lo óptimo.

### 3.6.3. Relación F/M

$$F/M = \frac{Q_{\text{entrada}} \text{ (m}^3/\text{día)} \times DBO_5 \text{ (Kg/m}^3\text{)}}{MLSS \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times V_{\text{reactor}} \text{ (m}^3\text{)}}$$

$$F/M = \frac{60,48 \text{ m}^3/\text{día} \times 0,873 \text{ Kg/m}^3}{0,06 \text{ Kg/m}^3 \times 78,25 \text{ m}^3} = 0,68 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg} - \text{día}}$$

La relación F/M nos indica que existe mayor cantidad de carga orgánica en la alimentación, en relación a la biomasa presente en el reactor para biodegradarla. Esta relación de alimento-microorganismo, se suele relacionar con la calidad de sedimentabilidad de los lodos (Ver Fig. 2.1), como el valor obtenido es mayor a 0,6 Kg/Kg-d, en el agua residual del reactor biológico existe un predominio de

microorganismos no benéficos.

#### 3.6.4. CM

$$CM = \frac{Q_{entrada} (m^3/día) \times DBO_5 (Kg/m^3)}{MLSS (Kg)}$$

$$CM = \frac{60,48 m^3/día \times 0,873 Kg/m^3}{60,36 Kg} = 0,87 \frac{Kg}{Kg - día}$$

En función de la carga másica con valor de 0,87 Kg/Kg – d, se puede clasificar al proceso en alta carga (CM > 0,5). Lo que representa, que el ingreso de alimento representado tiene alto contenido de DBO<sub>5</sub> con relación a los sólidos en suspensión en el licor de mezcla, entre ellos los microorganismos presentes.

Existe la relación de la carga másica, y porcentaje de rendimiento del proceso biológico, como se observó en la Tabla 1.9. Por lo cual se procede a calcular su rendimiento porcentual:

$$\frac{\%_{Rendimiento} - 92\%}{87\% - 92\%} = \frac{0,87 - 0,2}{0,5 - 0,2}$$

$$\%_{Rendimiento} = 80,83 \%$$

#### 3.6.5. CV

$$CV = \frac{Q_{entrada} (m^3/día) \times DBO_5 (Kg/m^3)}{V_{reactor} (m^3)}$$

$$CV = \frac{60,48 m^3/día \times 0,873 Kg/m^3}{78,25 m^3} = 0,67 \frac{Kg}{m^3 - día}$$

La carga volumétrica es de 0,67 Kg/m<sup>3</sup>-d, la cual se encuentra en el rango de carga media (1,5 – 0,6), este valor indica que el volumen del reactor, respecto a la cantidad de carga orgánica ingresada al sistema representada por la DBO<sub>5</sub> es el adecuado.

### 3.6.6. Tiempo de residencia hidráulico ( $t_r$ )

$$t_r = \frac{V_{reactor} (m^3)}{Q_{entrada} (m^3/h)}$$

$$t_r = \frac{78,25 m^3}{2,52 m^3/h} = 31,05 h \cong 1 \text{ día}, 7 \text{ horas}$$

El tiempo de retención o de residencia del agua residual en el tanque de aireación, es de 31,05 horas, el cual se encuentra dentro del rango que se recomienda para su diseño.

### 3.6.7. Diseño del reactor biológico

Con la caracterización del agua a la entrada del sistema biológico, se procede a calcular el volumen del tanque de aireación, para comprobar si fue correctamente diseñado.

$$V_{reactor \text{ rec.}} (m^3) = \frac{Q_{entrada} (m^3/día) \times DBO_5 (Kg/m^3)}{CM (Kg/Kg - día) \times MLSS (Kg/m^3)}$$

$$V_{reactor \text{ rec.}} (m^3) = \frac{60,48 m^3/día \times 0,873 Kg/m^3}{0,87 Kg/Kg - día \times 0,998 Kg/m^3} = 60,81 m^3$$

El volumen del tanque de aireación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria es de 70,25 m<sup>3</sup>, y el que se recomienda es de 60,81 m<sup>3</sup>, por lo cual el diseño del tanque es el adecuado ya que se encuentra sobredimensionado en un 15% del volumen que se requiere como mínimo, como factor de seguridad. Por lo cual, sus dimensiones y características de diseño del reactor biológico son las apropiadas, y no habría necesidad de aumentar su volumen.



### 3.6.8. Purga de lodos

Es necesario realizar una purga de lodos en el reactor biológico, para mantener el sistema en equilibrio, como la edad de lodos y las concentraciones de sólidos suspendidos totales. Para conocer la cantidad de lodos que debe eliminarse a diario del reactor se utiliza la ecuación de Huisken:

$$P_{lodos} = 1,2 \times DBO_{5_{eliminada}} \times CM^{0,23}$$

Se debe de calcular los Kg/día de la DBO<sub>5</sub>, que se ha removido del sistema:

$$DBO_{5_{eliminada}} = DBO_{5_{entrada}} - DBO_{5_{salida}}$$

$$DBO_{5_{eliminada}} = (873 - 10) \times \frac{1Kg}{10^6 mg} \times \frac{1000 L}{1 m^3} \times 60,48 \frac{m^3}{día} = 52,19 \frac{Kg \text{ de } DBO_5}{día}$$

De acuerdo a la ecuación de purga de lodos, se calcula la cantidad de lodos a purgar a diario:

$$P_{lodos} = 1,2 \times \left( 52,19 \frac{Kg}{día} \right) \times 0,87^{0,23} = 60,65 \text{ Kg/día}$$

### 3.6.9. Requerimiento de oxígeno en el reactor biológico

Para el cálculo del oxígeno requerido para la descomposición del material orgánico en el reactor biológico, se usará el caudal del agua residual de ingreso al tanque y el valor de la DBO<sub>5</sub> de entrada.

$$2,52 \frac{m^3}{h} \times 873 \frac{mg}{L} \text{ de } O_2 \times \frac{1000 L}{1m^3} \times \frac{1 Kg}{10^6 mg} = 2,20 \frac{Kg}{h} \text{ de } O_2$$

En el reactor biológico, se necesitará tener una concentración mínima de oxígeno disuelto de 2 mg/L distribuidos en el tanque.

$$2 \frac{mg}{L - min} \times 78,25m^3 \times \frac{1000 L}{1m^3} \times \frac{60 min}{1 h} \times \frac{1 Kg}{10^6mg} = 9,39 \frac{Kg}{h} de O_2$$

Por lo cual, el oxígeno total requerido en el reactor biológico es:

$$O_{2Requerido} = 2,20 \frac{Kg}{h} + 9,39 \frac{Kg}{h} = 11,59 \frac{Kg}{h} de O_2$$

Los equipos encargados de suministrar el oxígeno en los tanques de aireación o reactor biológico, no entregan oxígeno puro, ellos nos proveen de aire. Por lo cual se calcula la cantidad de aire necesario para inyectar al sistema biológico. Se conoce que por cada 100 Kg de aire, hay 23,40 Kg de O<sub>2</sub> y que la densidad del aire es 1,2 Kg/m<sup>3</sup>.

$$11,59 \frac{Kg}{h} de O_2 \times \frac{100 Kg de aire}{23,40 Kg de O_2} \times \frac{m^3}{1,2 Kg} de aire = 41,27 \frac{m^3}{h} de aire$$

En la industria de alimentos, para la cuestión de abastecimiento de aire, se tiene un blower que mediante los difusores instalados en el reactor biológico suministran aire al sistema. Por lo tanto, se realiza a continuación un análisis de los equipos encargados de la aireación:

### 3.6.9.1. Análisis de la capacidad del blower

En la Tabla 3.3, se especificaron las características del equipo, sin embargo mediante el uso de su ficha técnica, se obtiene el caudal máximo de aire que el equipo entrega, con una eficiencia del 91,7%.

$$Q_{entrega\ blower} = 550 \frac{ft^3}{min} \times \frac{1 m^3}{(3,28)^3 ft^3} \times \frac{60 min}{1 h} \times 0,917 = 857,55 \frac{m^3}{h}$$

La capacidad de aireación que el blower entrega es 857,55 m<sup>3</sup>/h >>> 41,27 m<sup>3</sup>/h, consumiendo apenas un 5% de su capacidad en el tanque de aireación,

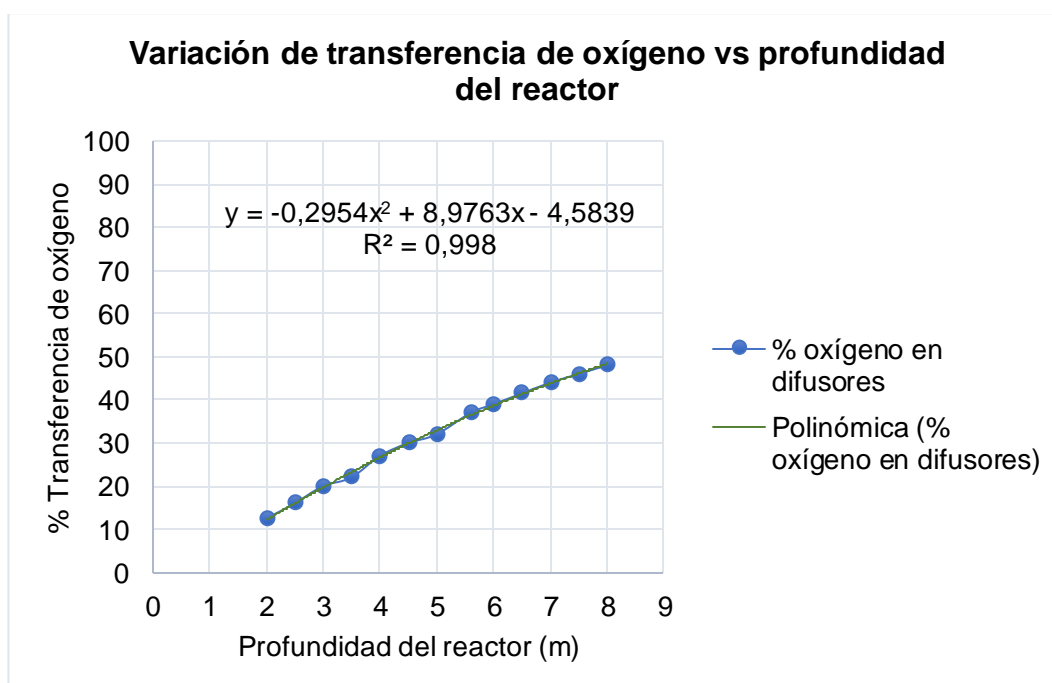
considerando además que el equipo entrega suministro de aire al tanque de homogenización y al tanque digestor de lodos de la PTAR, por lo cual el problema de la baja aireación en el reactor biológico, no es competencia del blower.

### 3.6.9.2. Análisis del número de difusores

Se realiza la determinación del número total de difusores que deben existir en el tanque de aireación, para obtener la aireación requerida por el sistema. Se considera que el rendimiento de transferencia de aireación de los difusores varía de acuerdo con la profundidad del reactor biológico, por lo cual considerando el Gráfico 3.9 se estima que a una profundidad de 3,2 m del reactor existe un porcentaje de transferencia del 21,12%.

$$\%Transferencia_{O_2} = -0,2954X^2 + 8,9763X - 4,5839$$

$$\%Transferencia_{O_2} = -0,2954(3,20 \text{ m})^2 + 8,9763(3,20 \text{ m}) - 4,5839 = 21,12 \%$$



**Gráfico 3.9.** Porcentaje de transferencia de oxígeno versus profundidad del reactor.

*Fuente:* Sainz J., 2005.

A continuación, se realiza la determinación de la cantidad de difusores de burbuja

finas necesarios para el reactor biológico: (Ver Tabla 3.4)

$$N^{\circ} \text{ Difusores} = \frac{41,27 \text{ m}^3 / \text{h de aireación}}{0,2112 \times 20 \text{ m}^3 / \text{h de aireación} \times 0,40} = 25 \text{ difusores}$$

Para alcanzar la distribución de oxígeno disuelto requerido en el reactor biológico, deben de existir al menos 25 difusores de burbuja fina instalados. Se conoce que únicamente hay 16 difusores instalados, por lo cual se justifica el bajo contenido de oxígeno disuelto en el tanque, ya que hay un déficit de los sistemas que suministran la aireación.

### 3.6.10. Neutralización del agua residual de ingreso al sistema secundario

El agua al ingreso del sistema de tratamiento secundario, se encontraba en condiciones de pH ácidos, lo que afectaba al sistema y a la calidad de efluente de la industria, por lo cual es recomendable el ascenso del parámetro.

Como se indicó, en un sistema biológico se debe tener un pH en el reactor entre 6,5 – 8,5 siendo el óptimo el valor neutro del pH. Por lo cual, es importante el ajuste del sistema con un neutralizante.

Para aquello, es importante conocer el valor diario de la alcalinidad y de la  $DBO_5$  de ingreso al reactor biológico, para realizar el análisis respectivo.

$$DBO_{5 \text{ diaria}} = 873 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times 60,48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 52,80 \frac{\text{Kg de } DBO_5}{\text{día}}$$

$$\begin{aligned} \text{Alcalinidad}_{\text{diaria}} &= 293 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times 60,48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \\ &= 17,72 \frac{\text{Kg de alcalinidad}}{\text{día}} \end{aligned}$$

Según Ramalho R., nos indica que en las aguas residuales existe un consumo de

aproximadamente 0,5 Kg de la alcalinidad por cada Kg de la DBO<sub>5</sub>, que ingresa al sistema, por lo tanto se calcula la alcalinidad mínima requerida que debería presentar el agua residual a la entrada:

$$0,5 \frac{\text{Kg de alcalinidad}}{\text{Kg de DBO}_5} \times 52,80 \frac{\text{Kg de DBO}_5}{\text{día}} = 26,4 \frac{\text{Kg de alcalinidad}}{\text{día}}$$

Comparando el valor de alcalinidad que presenta el agua de entrada con la alcalinidad que se requiere tener como mínimo, la relación es menor, como se observa:

$$17,72 \frac{\text{Kg de alcalinidad}}{\text{día}} < 26,4 \frac{\text{Kg de alcalinidad}}{\text{día}}$$

De acuerdo, al desbalance que se presenta el agua residual, se justifica la adición de un producto químico (hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, carbonato de sodio o hidróxido de amonio) para lograr llegar al valor de pH óptimo en el reactor biológico.

En el tanque de aireación, se realizará el ajuste a un pH a 7,5, por lo que se realizaron pruebas con la adición de NaOH al 17% (v/v) en un litro de agua residual, hasta llegar al pH deseado, a continuación se muestran los valores obtenidos:

- 0 mL de NaOH al 17% → pH = 6,18
- 10 mL de NaOH al 17% → pH = 6,50
- 20 mL de NaOH al 17% → pH = 6,84
- 30 mL de NaOH al 17% → pH = 7,02
- 40 mL de NaOH al 17% → pH = 7,38
- 45 mL de NaOH al 17% → pH = 7,49
- 46 mL de NaOH al 17% → pH = 7,58

Se realizará el cálculo correspondiente del neutralizante, según el flujo de ingreso de agua residual, por lo tanto:

$$60,48 \frac{m^3}{día} \text{ de agua residual} \times 46 \frac{mL \text{ de NaOH al } 17\%}{L \text{ de agua residual}} \times \frac{1000 L}{1 m^3} \times \frac{1 L}{1000 mL} \times \frac{1 m^3}{1000}$$

$$= 2,68 \frac{m^3}{día} \text{ de NaOH al } 17\%$$

### 3.6.11. Requerimiento de nutrientes para el proceso de lodos activos

En el tanque reactor biológico, se necesita la adición de nitrógeno y úrea, que son los nutrientes necesarios para mantener el proceso de oxidación biológica y el crecimiento de los microorganismos aeróbicos, por lo que es necesario el cálculo de las dosificaciones diarias productos químicos que contengan los nutrientes mencionados.

En la Tabla 3.11, se muestra las restricciones de caudal y demanda bioquímica de ingreso al reactor biológico, así también las relaciones recomendadas de los nutrientes al sistema.

**Tabla 3.11.** Parámetros de diseño y operación recomendados en lodos activos.

Parámetro	Unidades	Valor
Caudal de entrada	m <sup>3</sup> /día	60,48
DBO <sub>5</sub> entrada	Kg/m <sup>3</sup>	0,873
Concentración de Fósforo (P)	mg/L	5
Concentración de Nitrógeno (N)	mg/L	5

*Elaboración propia.*

Los nutrientes que se deben de agregar al reactor biológico, no son encontrados en el mercado a una concentración pura, sino como componentes activos en diferentes productos químicos. En la Tabla 3.12 se especifican los productos

comerciales que se utilizarán con la concentración correspondiente de los nutrientes requeridos.

**Tabla 3.12.** Concentración de nutrientes en productos químicos comerciales.

Componente	Fórmula química	% Concentración (p/p)
Roca fosfórica	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$	28 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )
Úrea	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	46,2 (N)

**Fuente:** a) Ficha técnica de roca fosfórica – Fosfatos de Huila (2013).

b) Ficha técnica de úrea – Farmacia Ruales (2016).

Elaboración propia.

### 3.6.11.1. Dosificación diaria de úrea

Se procede a realizar el cálculo del requerimiento diario de nitrógeno, según el caudal de agua residual a tratarse.

$$\text{Nitrógeno} = 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de N} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times 60,48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 302,40 \frac{\text{g de N}}{\text{día}}$$

Teniendo la cantidad de nitrógeno a adicionarse al día en el sistema biológico, se estima la cantidad del producto químico comercial (úrea) a dosificarse, por lo cual se obtiene:

$$302,40 \frac{\text{g de N}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{100 \text{ g}} \times \frac{100 \text{ Kg de úrea}}{46,2 \text{ Kg de N}} = 0,65 \frac{\text{Kg de úrea}}{\text{día}}$$

### 3.6.11.2. Dosificación diaria de roca fosfórica

Se procede a realizar el cálculo del requerimiento diario de fósforo, según el caudal de agua residual a tratarse.

$$\text{Fósforo} = 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de P} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times 60,48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 302,40 \frac{\text{g de P}}{\text{día}}$$

Teniendo la cantidad de fósforo a adicionarse al día en el sistema biológico, se estima la cantidad del producto químico comercial (roca fosfórica) a dosificarse, por lo cual se obtiene:

$$\begin{aligned} 302,40 \frac{\text{g de P}}{\text{día}} &\times \frac{141,95 \text{ g de P}_2\text{O}_5}{30,97 \text{ g de P}} \times \frac{100 \text{ g de roca fosfórica}}{28 \text{ g de P}_2\text{O}_5} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \\ &= 4,95 \frac{\text{kg de roca fosfórica}}{\text{día}} \end{aligned}$$



### 3.7 Propuestas de mejora y planteamiento de medidas correctivas

Luego, de la evaluación realizada al tratamiento secundario de la empresa de alimentos, se indican en la Tabla 3.13, algunos aspectos operacionales que se deben de cumplir en el sistema, a fin de que se mantenga estable y no existan problemas futuros en la calidad de descargas del efluente de la industria.

**Tabla 3.13.** Parámetros de control diario del tratamiento secundario y sus acciones correctivas.

Parámetro de control	Punto de muestreo	Unidad	Rango recomendado	Acciones correctivas
pH	Entrada al reactor biológico	U	7,5 – 8,5	Si el pH se encuentra menor a 7,5 se deben adicionar 2,78 m <sup>3</sup> de NaOH al 17% para su neutralización.
Índice de biodegradabilidad	Entrada al reactor biológico	-	> 0,4	En caso de que la relación sea menor al valor indicado, se tratará que el agua de disminuya la carga inorgánica al ingreso, mediante la medición del DQO, a su vez para aumentar la DBO <sub>5</sub> se puede adicionar melaza para aumentar la relación.
TDS	Entrada al reactor biológico	mg/L	< 1500	Se debe procurar que los valores sean mínimos, por lo cual, a la par se debe medir la cantidad de cloruros en el agua, ya que representan la cantidad de sales que se envían de la producción.
Oxígeno disuelto	Reactor biológico	mg/L	1,5 – 2,0	Si la cantidad de oxígeno disuelto, se encuentra menor del rango recomendado, se debe de revisar las condiciones de funcionalidad del blower y difusores, en caso de existir algún problema, se debe corregirlo inmediatamente.
Temperatura	Reactor	°C	25 – 40	El monitoreo de la temperatura, se debe realizar para que no exista una

	biológico			afectación al desarrollo bacteriano en el reactor.
Nitrógeno	Reactor biológico	mg/L	5 – 10	Al presentarse valores menores a 5 mg/L, debe de dosificarse al sistema de 0,65 – 1,00 Kg/día de úrea para el balance adecuado del nutriente. Para valores mayores al rango recomendado, no debe de adicionarse el nutriente, ya que involucraría un desperdicio del químico y económico.
Fósforo	Reactor biológico	mg/L	5 – 10	Al presentarse valores menores a 5 mg/L, debe de dosificarse al sistema de 4,00 – 5,00 Kg/día de roca fosfórica para el balance adecuado del nutriente. Para valores mayores al rango recomendado, no debe de adicionarse el nutriente, ya que involucraría un desperdicio del químico y económico.
Volumen del licor de mezcla	Reactor biológico	mL/L	300 – 400	En el caso de presentarse el volumen de licor de mezcla debajo del rango recomendado, es conveniente realizar la recirculación de la biomasa al tanque de aireación. Cuando se presenten valores elevados del volumen de licor de mezcla, se deben de eliminar los organismos filamentosos existentes, mediante la adición de cloro, o a su vez la adición de bacterias benéficas al tanque de aireación.
Población de bacterias	Reactor biológico	UFC/mL	$> 5,0 \times 10^6$	Cuando se presente población baja de bacterias, deben de dosificarse para mantener el equilibrio en el sistema.
Purga de lodos	Reactor biológico	Kg/día	55 – 65	La cantidad de lodos a purgar, dependerá de la carga de DBO <sub>5</sub> y de la CM que se mide mediante la cantidad de MLSS que ingresan al sistema.

*Elaboración propia.*

Una vez, estabilizado el sistema mediante el control operacional de parte de la industria, y de modificaciones en el control de diseño del tratamiento secundario, se han obtenido los siguientes resultados del efluente actual del sistema en estudio.

**Tabla 3.14.** Comparación de las descargas de la industria entre el mes de septiembre de 2016 y enero de 2017 de acuerdo a la norma ambiental ecuatoriana.

Parámetro	Unidad	Resultado septiembre 2016	Resultado enero 2017	Norma ambiental ecuatoriana	Condición actual
Alcalinidad	mg/L	-	435	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	261	10	100	CUMPLE
DQO	mg/L	521	128	200	CUMPLE
pH	U	5,7	7,9	6 – 9	CUMPLE
SST	mg/L	-	18	130	CUMPLE
SSV	mg/L	-	18	-	-
TDS	mg/L	-	2129	-	-

**Fuente:** a) Análisis de laboratorio PSI, septiembre 2016.

b) Análisis de laboratorio PSI, enero 2017.

c) Acuerdo Ministerial No. 028, 13 de febrero de 2015.

*Elaboración propia.*

En adición, la capacidad de remoción actual de la carga contaminante en el reactor biológico, se ha calculado el porcentaje de remoción del DBO<sub>5</sub> y de la DQO. Por lo cual se obtiene un 98,85% que el sistema puede eliminar de la carga orgánica.

$$\%_{\text{Remoción}_{\text{DBO}_5}} = \frac{\text{DBO}_{5\text{Entrada}} - \text{DBO}_{5\text{Salida}}}{\text{DBO}_{5\text{Entrada}}}$$

$$\%_{\text{Remoción}_{\text{DBO}_5}} = \frac{873 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L}}{873 \text{ mg/L}} \times 100 = 98,85 \%$$

Además, el proceso de lodos activos muestra una remoción del 94,24% de los contaminantes orgánicos e inorgánicos que ingresan al sistema.

$$\%_{Remoción_{DQO}} = \frac{DQO_{Entrada} - DQO_{Salida}}{DQO_{Entrada}}$$

$$\%_{Remoción_{DQO}} = \frac{2223 \text{ mg/L} - 128 \text{ mg/L}}{2223 \text{ mg/L}} \times 100 = 94,24 \%$$

### 3.8 Análisis económico

El análisis económico que se presenta, se basa únicamente a las propuestas de mejoras que se implementaron en la industria, por lo cual los demás gastos que se involucren para el mantenimiento y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en general no serán considerados en el flujo de caja a realizarse.

Mediante la implementación de las propuestas de mejoras durante el mes de diciembre 2016 en la industria de alimentos, se han obtenidos valores económicos que representan un egreso, durante el proyecto. Sin embargo, por otra parte se han reducido consumo de químicos en el tratamiento secundario. A continuación, se detallan estos costos, los cuales fueron analizados durante el mes de la implementación de las mejoras en la PTAR.

**Tabla 3.15.** Análisis económico de la implementación de las propuestas de mejora a corto plazo durante el mes de diciembre de 2016.

Ítem	Unidad	Costo septiembre 2016	Costo diciembre 2016	Ahorro	Gasto
Adición de nutriente – úrea	Kg	\$120	\$9,75	\$110,25	-
Adición de nutriente – roca fosfórica	Kg	\$324	\$133,65	\$190,35	-
Mantenimiento de difusores	16	\$0	\$300	-	\$300
Adición de neutralizante – NaOH 17%	m <sup>3</sup>	\$0	\$80	-	\$80
TOTAL				\$300,60	\$380,00
<b>FLUJO DE CAJA = \$ -79,40</b>					

*Elaboración propia.*

Como se observa, el flujo de caja durante el mes de diciembre de 2016, durante la implementación de las mejoras se obtuvo un egreso de \$79,40. Sin embargo se evidencia que existe un ahorro económico en el consumo de los nutrientes. Además, se prevé que el mantenimiento de los difusores en el tanque de aireación no se realice todos los meses, como en el análisis económico detallado, con lo cual se estima que existirá durante el mes de enero 2017, el egreso será inferior.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Conclusiones

- Del monitoreo realizado a la entrada del tratamiento secundario, durante la semana del 29 de noviembre al 05 de diciembre del 2016, se evidencia que el agua residual presenta pH ácidos y TDS elevados, los cuales fueron comprobados con la determinación de iones cloruros, que se encontraron entre 0,4% – 0,8%. En adición, el agua que ingresa al sistema, tiene un factor de 0,39 de biodegradabilidad, lo que comprueba que la carga contaminante inorgánica es mucho mayor a la orgánica, y el sistema se encuentra al límite de ser tratado biológicamente.
- Por lo anteriormente expuesto, el efluente del tratamiento primario debe ser monitoreado el pH y neutralizado, en caso de ser necesario de acuerdo a las mejoras implementadas.
- El tanque de aireación o reactor biológico, tiene un volumen actual de 70,25 m<sup>3</sup>, con un tiempo de retención del agua residual de 31,05 horas, siendo su capacidad, tamaño y dimensiones adecuadas para el tratamiento de los 60,48 m<sup>3</sup>/día de caudal de agua que ingresan a diario, por lo tanto la necesidad de aumentar el volumen del tanque se daría únicamente en el caso de que el caudal aumente al ingreso del tratamiento secundario.
- Existen condiciones anóxicas en reactor biológico, debido a los escasos difusores instalados, ya que la distribución de oxígeno disuelto es de 0,42 mg/L, la cual es insuficiente para la degradación de la cantidad de carga orgánica que ingresan al sistema, además de ser un medio no óptimo para la supervivencia de las bacterias.
- La sedimentabilidad de los lodos del reactor era variable, debido a que la relación F/M era de 0,68 Kg/Kg-día, lo que indica la presencia de organismos filamentosos, los cuales provocan que el lodo se mantenga en

suspensión continuamente, es importante recalcar si esta relación F/M se encuentre baja, es imprescindible la adición de bacterias al sistema.

- Con las medidas correctivas puestas en práctica, se ha alcanzado valores de 98,85% en remoción de la DBO<sub>5</sub> y un 94,24% en la DQO, lo que conlleva a que el efluente de descarga contenga bajos valores de contaminación, por consiguiente, en la actualidad, el efluente de la PTAR de la industria de alimentos cumple con los límites máximos establecidos en la norma ambiental.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Incrementar el índice de biodegradabilidad del agua de entrada hasta un valor de 0,5 para que el tratamiento pueda ser tratado de manera biológica. Mediante la adición de melaza o de retención de los iones cloruros del agua al ingreso del sistema, mejorarían este parámetro.
- Mantener la regularización del pH de ingreso del agua al tratamiento secundario a 7,5, mediante la adición de 2,78 m<sup>3</sup>/día de NaOH al 17%. Se sugiere la adición de KOH, ya que además de elevar el pH, aporta favorablemente el desarrollo de las bacterias.
- Instalar al menos 25 difusores de burbuja fina en el reactor biológico, y mantener una distribución de oxígeno disuelto en el reactor de 2 mg/L de O<sub>2</sub>, para garantizar que el sistema aeróbico funcione de manera adecuada.
- Medir la cantidad de nutrientes del agua que ingresan al reactor, para garantizar que existan al menos 5 mg/L de N y P, ya que en ocasiones el agua se encuentra rica en los nutrientes y su dosificación en vano. Se propone el uso de úrea como fuente de nitrógeno y el uso de roca fosfórica como fuente de fósforo, libre del otro nutriente.
- Realizar, al menos una vez por semana el conteo de la población de bacterias en el reactor biológico, para verificar que existen las proporciones

necesarias para la degradación del contaminante orgánico. En caso de existir alguna desbalance se deben de dosificarlas.

- Mantener la cantidad del licor de mezcla o lodos sedimentables en un rango de 300 – 400 mL/L, con un índice volumétrico de lodos < 90 mL/g y una relación de alimento/microorganismo entre 0,3 – 0,6 Kg/Kg-día.
- Difundir la investigación en la comunidad universitaria y entregar los resultados del presente trabajo a la industria de alimentos



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ramos R., Sepúlveda R. y Villalobos F. (2003). *El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*. México: Editorial Plaza y Valdés S.A de C.V.
- [2] Calderón C. (2016). Operación de plantas de lodos activados. Disponible en:  
[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS\\_2004/CapituloII/7OperaciondeplantasdelodosactivadosCesarCalderon.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS_2004/CapituloII/7OperaciondeplantasdelodosactivadosCesarCalderon.pdf)
- [3] Delgadillo O., Camacho A., Pérez L. y Andrade M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Ediciones Antequera D.
- [4] Marín R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- [5] Nemerow N. y Dasgupta A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- [6] Rigola M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Ediciones Marcombo S.A.
- [7] Castells X. (2012). *Reciclaje de residuos industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Vías de tratamiento y valorización de fangos de depuradora*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- [8] Ramalho R., Jiménez B. y De Lora (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.
- [9] Orozco A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño*. Bogotá, Colombia: Editorial Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Acodal.
- [10] Manahan S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. México, México: Editorial Reverté S.A.
- [11] Núñez E. (2004). *Rediseño y mejora de la Planta de tratamiento de aguas residuales del área de producción textil de la Empresa "ENKADOR"*, Tesis de grado académico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- [12] Organización Internacional del Trabajo (1998). *La evolución tecnológica y el empleo en las industrias de productos alimenticios y de bebidas*. Ginebra, Suiza: Editorial Reverté S.A.
- [13] Tchobanoglous G., Burton F. y Stensel H. (2002). *Wastewater engineering. Treatment and reuse*. Londres, Estados Unidos: Editorial McGraw Hill Higher Education.
- [14] Tomar M. (1999). *Quality assessment of water and wastewater*. Florida, Estados Unidos: Editorial CRC Press LLC.
- [15] ESchooltoday: Types of wastewater (2008), disponible en: <http://www.eschooltoday.com/wastewater/types-and-sources-of-wastewater.html>
- [16] Dissolved air flotation corporation (2016), disponible en: <http://www.dafcorp.com/aboutdaf/>
- [17] Anterior también: Tecnologías por flotación por aire disuelto – DAF: [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_03.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_03.pdf)
- [18] Sainz J. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Madrid, España: Editora Fundación EOI.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

Datos obtenidos del monitoreo diario del tratamiento secundario de la PTAR

Martes 29-noviembre-2016

Nº	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	pH	TDS (ppm)	Conductividad (uS)
1	8:05	4,4	8	29,8	4,6	1337	2256
		5,8	10				
2	9:00	5,7	9	29,3	4,3	1406	2366
		4,9	8				
3	10:15	5,8	9	31	6,2	1947	3201
		5,9	10				
4	11:10	5,8	9	31,1	6,8	1947	3205
		6	10				
5	12:00	5,1	9	32,3	7,2	1930	3179
		5,1	8				
6	13:05	5,5	8	32,4	7,1	1964	3152
		5,8	9				
7	14:15	5,9	9	32,2	6,6	2035	3341
		5,7	8				
8	15:00	6,9	12	32,1	5,5	2113	3452
		6,8	11				
9	16:00	4,5	9	31	6,1	1814	3402
		3	6				
10	17:00	5	8	31	6,7	1953	3207
		5,8	9				

Miércoles 30-noviembre-2016

<b>Nº</b>	<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>Conductividad (uS)</b>																																																																																				
<b>1</b>	8:10	4,8	8	29,4	4,8	1608	2671																																																																																				
		4,7	7					<b>2</b>	9:10	5	8	30,2	4,8	1753	2907	5,1	8	<b>3</b>	10:15	5,3	9	30,4	5,8	1937	3012	5	8	<b>4</b>	11:10	4,9	7	32,2	6,1	1939	3196	5	8	<b>5</b>	12:15	5,8	7	31,1	5,9	1890	3195	6	6	<b>6</b>	13:05	4,5	7	31,5	5,9	1895	3204	4,7	8	<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223	5	6	<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7
<b>2</b>	9:10	5	8	30,2	4,8	1753	2907																																																																																				
		5,1	8					<b>3</b>	10:15	5,3	9	30,4	5,8	1937	3012	5	8	<b>4</b>	11:10	4,9	7	32,2	6,1	1939	3196	5	8	<b>5</b>	12:15	5,8	7	31,1	5,9	1890	3195	6	6	<b>6</b>	13:05	4,5	7	31,5	5,9	1895	3204	4,7	8	<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223	5	6	<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6				
<b>3</b>	10:15	5,3	9	30,4	5,8	1937	3012																																																																																				
		5	8					<b>4</b>	11:10	4,9	7	32,2	6,1	1939	3196	5	8	<b>5</b>	12:15	5,8	7	31,1	5,9	1890	3195	6	6	<b>6</b>	13:05	4,5	7	31,5	5,9	1895	3204	4,7	8	<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223	5	6	<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6														
<b>4</b>	11:10	4,9	7	32,2	6,1	1939	3196																																																																																				
		5	8					<b>5</b>	12:15	5,8	7	31,1	5,9	1890	3195	6	6	<b>6</b>	13:05	4,5	7	31,5	5,9	1895	3204	4,7	8	<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223	5	6	<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6																								
<b>5</b>	12:15	5,8	7	31,1	5,9	1890	3195																																																																																				
		6	6					<b>6</b>	13:05	4,5	7	31,5	5,9	1895	3204	4,7	8	<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223	5	6	<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6																																		
<b>6</b>	13:05	4,5	7	31,5	5,9	1895	3204																																																																																				
		4,7	8					<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223	5	6	<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6																																												
<b>7</b>	14:15	5,2	7	32,1	6,2	1984	3223																																																																																				
		5	6					<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343	5,6	7	<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6																																																						
<b>8</b>	15:00	5,6	8	32	6,3	2012	3343																																																																																				
		5,6	7					<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190	5,7	9	<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6																																																																
<b>9</b>	16:00	5,9	10	31,2	6,5	1945	3190																																																																																				
		5,7	9					<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018	5	6																																																																										
<b>10</b>	17:00	5,1	7	30,3	6,7	1844	3018																																																																																				
		5	6																																																																																								

Jueves 01-diciembre-2016

<b>Nº</b>	<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>Conductividad (uS)</b>																																																																																				
<b>1</b>	8:25	4	6	29,3	4,6	1130	1938																																																																																				
		4,7	7					<b>2</b>	9:05	4,9	9	30,1	4,7	1133	1944	4	6	<b>3</b>	10:10	4,9	8	31,5	4,9	1136	1950	4	7	<b>4</b>	11:05	4,6	8	31,3	4,8	1127	1884	5,2	9	<b>5</b>	12:15	4,9	8	32,1	4,5	997	1658	4,9	9	<b>6</b>	13:00	4,9	7	32,2	4,3	878,6	1543	5	7	<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502	4,8	8	<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8
<b>2</b>	9:05	4,9	9	30,1	4,7	1133	1944																																																																																				
		4	6					<b>3</b>	10:10	4,9	8	31,5	4,9	1136	1950	4	7	<b>4</b>	11:05	4,6	8	31,3	4,8	1127	1884	5,2	9	<b>5</b>	12:15	4,9	8	32,1	4,5	997	1658	4,9	9	<b>6</b>	13:00	4,9	7	32,2	4,3	878,6	1543	5	7	<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502	4,8	8	<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8				
<b>3</b>	10:10	4,9	8	31,5	4,9	1136	1950																																																																																				
		4	7					<b>4</b>	11:05	4,6	8	31,3	4,8	1127	1884	5,2	9	<b>5</b>	12:15	4,9	8	32,1	4,5	997	1658	4,9	9	<b>6</b>	13:00	4,9	7	32,2	4,3	878,6	1543	5	7	<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502	4,8	8	<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8														
<b>4</b>	11:05	4,6	8	31,3	4,8	1127	1884																																																																																				
		5,2	9					<b>5</b>	12:15	4,9	8	32,1	4,5	997	1658	4,9	9	<b>6</b>	13:00	4,9	7	32,2	4,3	878,6	1543	5	7	<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502	4,8	8	<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8																								
<b>5</b>	12:15	4,9	8	32,1	4,5	997	1658																																																																																				
		4,9	9					<b>6</b>	13:00	4,9	7	32,2	4,3	878,6	1543	5	7	<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502	4,8	8	<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8																																		
<b>6</b>	13:00	4,9	7	32,2	4,3	878,6	1543																																																																																				
		5	7					<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502	4,8	8	<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8																																												
<b>7</b>	14:10	5,2	9	32,1	4,4	851,6	1502																																																																																				
		4,8	8					<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470	4,5	8	<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8																																																						
<b>8</b>	15:00	4,3	7	31,8	4,1	839,5	1470																																																																																				
		4,5	8					<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567	4,7	9	<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8																																																																
<b>9</b>	16:00	4,4	8	31,1	4,6	855,4	1567																																																																																				
		4,7	9					<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346	4,9	8																																																																										
<b>10</b>	17:00	5	8	30,2	5,5	831,3	1346																																																																																				
		4,9	8																																																																																								

Viernes 02-diciembre-2016

<b>Nº</b>	<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>Conductividad (uS)</b>
<b>1</b>	8:15	5,1	9	30,6	3,9	1502	2518
		5	8				
<b>2</b>	9:05	4,8	7	31,2	4,1	1986	3058
		4,9	7				
<b>3</b>	10:05	4,9	7	31,9	4,4	2614	4252
		5	7				
<b>4</b>	11:15	5,1	8	32,3	4,2	2843	4610
		4,8	7				
<b>5</b>	12:05	4,7	7	32,1	4,6	2847	4634
		5,2	9				
<b>6</b>	13:00	4,9	8	31,7	4,7	2934	4697
		4,7	8				
<b>7</b>	14:10	5,7	9	32,7	4,7	2952	4767
		5,6	8				
<b>8</b>	15:00	5,3	7	31,6	4,9	3011	4896
		5,1	6				
<b>9</b>	16:00	5,2	8	31,2	5,4	3145	4923
		5,7	8				
<b>10</b>	17:00	4,9	8	29,8	5,8	3034	4913
		4,8	8				

Sábado 03-diciembre-2016

Nº	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	pH	TDS (ppm)	Conductividad (uS)
1	8:15	5,1	9	30,1	6,6	2556	4068
		5	9				
2	9:00	5,7	9	30,3	6,7	2463	4017
		5,6	8				
3	10:05	Sin entrada de agua residual al sistema					
4	11:30	5,8	8	31,8	6,9	2671	4329
		5,6	8				
5	12:05	5,5	8	30,5	6,5	2574	4123
		5,8	8				
6	13:10	5,5	8	32,1	8,1	4292	6692
		5,6	9				

Domingo 04-diciembre-2016

Nº	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	pH	TDS (ppm)	Conductividad (uS)
1	8:15	5,6	9	29,6	6,8	2544	4077
		5,3	9				
2	9:00	5,2	7	29,8	7,3	2634	4118
		5,8	8				
3	10:05	5,6	8	30,5	7,8	2692	4250
		5,6	7				
4	11:30	5,3	7	31	7,5	2794	4886
		5,2	7				
5	12:05	5	6	32,2	7,2	2880	5062



Lunes 05-diciembre-2016

<b>Nº</b>	<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>Conductividad (uS)</b>
<b>1</b>	8:15	5,6	8	29,6	7,1	2889	5128
		5,3	8				
<b>2</b>	9:00	5,2	7	29,8	7,6	2806	4975
		5,8	8				
<b>3</b>	10:05	5,8	8	31	7,8	2692	4250
		5,6	8				
<b>4</b>	11:30	5,3	8	32	7,2	2854	5018
		5	8				
<b>5</b>	12:05	4,5	8	31,5	7,1	2880	5062
		4,4	7				

# APÉNDICE B

Diagrama de la PTAR en 3D

