



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Tratamiento secundario biológico de las aguas residuales industriales en**  
**Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga**

**Tesis**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora**

Diana Stefany Rodriguez Grados

**Asesor**

M(o). Jesús Gustavo Barreto Meza

**Huacho - Perú**

2024



**Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



# **UNIVERSIDAD NACIONAL**

## **JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

### **LICENCIADA**

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y ambiental  
Escuela profesional de Ingeniería Ambiental

### **INFORMACIÓN**

<b>DATOS DEL AUTOR:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b>
Diana Stefany Rodriguez Grados	72868097	12-07-2024
<b>DATOS DEL ASESOR:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
M(o). Jesús Gustavo Barreto Meza	15589980	0000-0002-5790-6757
<b>DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS - PREGRADO:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
Dr. Edgardo Octavio Carreño Cisneros	03631561	0000-0001-7063-7072
Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco	46741141	0000-0002-4204-7320
M(o) Jhon Herbert Obispo Gavino	15728127	0000-0002-0972-2400

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion

Trabajo del estudiante

2%

2

[tesis.ucsm.edu.pe](http://tesis.ucsm.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

4

[repositorio.unasam.edu.pe](http://repositorio.unasam.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.upt.edu.pe](http://repositorio.upt.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

6

[repositorio.ucam.edu](http://repositorio.ucam.edu)

Fuente de Internet

1%

7

[www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)

Fuente de Internet

1%

8

[cdn.www.gob.pe](http://cdn.www.gob.pe)

Fuente de Internet

1%

9

[repositorio.uss.edu.pe](http://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi mamá y hermana, por su inquebrantable amor, apoyo y paciencia a lo largo de mi carrera universitaria. A mi madre, cuyo sacrificio y dedicación han sido mi inspiración constante. A mis profesores, por compartir su conocimiento y guía invaluable.

## **AGRADECIMIENTO**

    Mi agradecimiento principal es para Dios por darme salud y bienestar para lograr mis sueños, y a mi familia por ser motor y motivo para nunca rendirme

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXO.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1    Descripción de la realidad problemática.....	17
1.2    Formulación del problema.....	19
1.2.1    Problema general.....	19
1.2.2    Problemas específicos.....	19
1.3    Objetivos de la Investigación.....	19
1.3.1    Objetivo general.....	19
1.3.2    Objetivo específico.....	19
1.4    Justificación de la investigación.....	20
1.5    Delimitación del estudio.....	20
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1.    Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1.    Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2.    Antecedentes nacionales.....	23
2.2.    Bases teóricas.....	25
2.2.1.    Tratamiento biológico secundario.....	25
2.2.2.    Métodos de alternativos.....	26
2.2.3.    Sistemas aerobios.....	27
2.2.4.    Sistema anóxicas.....	28

2.2.5.	Sistema anaeróbico.....	29
2.2.6.	Demanda biológica de oxígeno (DBQ) y demanda química de oxígeno (DQO) .....	30
2.2.7.	Importancia del tratamiento secundario biológico.....	30
2.2.8.	Aguas residuales industriales.....	31
2.2.9.	Tipos de aguas residuales.....	32
2.2.10.	Caudal de aguas residuales industriales.....	33
2.2.11.	Contaminantes emergentes.....	34
2.2.12.	Parámetros de calidad de las aguas residuales.....	34
2.3.	Definiciones conceptuales.....	35
2.4.	Hipótesis de la investigación.....	36
2.4.1.	Hipótesis general.....	36
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	36
2.5.	Operacionalización de variables e indicadores.....	37
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....		39
3.1.	Diseño Metodológico.....	39
3.2.	Población y muestra.....	39
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información.....	40
CAPITULO IV. RESULTADOS.....		41
4.1.	Análisis de Resultados del tratamiento secundario bilógico.....	41
4.1.1.	Sistema aeróbico.....	42
4.1.2.	Sistema anaeróbico.....	43
4.1.3.	Sistema anóxico.....	45
4.2.	Análisis de resultados de las ARI.....	46
4.2.1.	Características físicas.....	48
4.2.2.	Características químicas.....	49
4.2.3.	Características biológicas.....	52

4.3.	Contrastación de hipótesis.....	54
4.3.1.	Hipótesis general.....	54
4.3.2.	Hipótesis específica.....	55
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....		57
5.1.	Discusión de resultados.....	57
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		58
6.1.	Conclusiones.....	58
6.2.	Recomendaciones.....	59
CAPÍTULO VI. FUENTES DE INFORMACIÓN .....		60
6.1.	Fuentes bibliográficas.....	60
6.2.	Fuentes documentales.....	60
6.3.	Fuentes hemerográficas .....	62
6.4.	Fuentes electrónicas.....	65
ANEXOS.....		67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminante por sector industrial.-----	31
Tabla 2. Principales características químicas de las aguas residuales. -----	35
Tabla 3. Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores. -----	37
Tabla 4. Resumen de resultados de la variable 1 - TSB -----	41
Tabla 5. Consolidado de los cuatro años la variable 2 - ARI -----	47
Tabla 6. Prueba de normalidad - Shapiro-Wilk-----	54
Tabla 7. Estadísticos descriptivos la hipótesis general-----	54
Tabla 8. Prueba de T - hipótesis general-----	55
Tabla 9. Estadísticos descriptivo - hipótesis específicas -----	55
Tabla 10. Prueba de T – hipótesis específicas -----	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medición de DBO – EF-01 -----	42
Figura 2. Medición de DBO – EF - 05 -----	42
Figura 3. Medición de STS – EF - 01 -----	43
Figura 4. Medición de STS – EF - 05 -----	43
Figura 5. Medición de la DQO – EF-01 -----	44
Figura 6. Medición de la DQO – EF-05 -----	44
Figura 7. Medición de grados Celsius (T°)- EF-01 -----	45
Figura 8. Medición de grados Celsius (T°)- EF-05 -----	45
Figura 9. Medición de Sulfatos – EF – 01 -----	46
Figura 10. Medición de Sulfatos – EF - 05 -----	46
Figura 11. Medición de los STD – EF-01 -----	48
Figura 12. Medición de los STD – EF-05 -----	48
Figura 13. Medición de los SS – EF-01-----	49
Figura 14. Medición de los SS – EF-05-----	49
Figura 15. Medición de Aceites y grasas – EF – 01 -----	50
Figura 16. Medición de Aceites y grasas – EF – 05 -----	50
Figura 17. Medición de Plomo – EF – 01 -----	51
Figura 18. Medición de Plomo – EF – 05 -----	51
Figura 19. Medición de pH – EF – 01 -----	52
Figura 20. Medición de pH – EF – 05 -----	52
Figura 21. Medición de coliformes fecales - EF – 01-----	53
Figura 22. Medición de coliformes fecales - EF – 05-----	53

## ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Instrumento para la toma de datos -----	68
Anexo 2. Localización geográfica de Papelera Nacional S.A.-----	69
Anexo 3. Diseño en 3D Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial -----	69
Anexo 4. Diagrama de flujo de Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial -----	70
Anexo 5. Consolidado de los reportes de los informes trimestrales del 2017 al 2020. -----	71
Anexo 6. Promedios anuales de los parámetros evaluados.-----	72

## RESUMEN

*Objetivo:* Establecer los efectos del tratamiento secundario biológico en las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga. *Metodología:* De tipo aplicada, nivel explicativo, no experimental de enfoque cuantitativo, la población considerada fue los reportes de laboratorio consignados en los informes trimestrales durante el 2017 al 2020, con muestra finita de 32 reportes. *Resultados:* Se evidenciaron efectos favorables a partir del último trimestre del 2019 hasta fines del 2020 (33.5 % STS, 14.7% Sulfatos, 60% DQO, 86% DBO, 36.1% STD, 43.8% SS. 45% A y G, 99.6% CF y 85.1% Pb, mientras que la T° y pH estuvieron dentro de la tolerancia. A través del Test de Shapiro-Wilk se determinó una distribución libre de los datos y con la prueba T se verificó la aceptación de la hipótesis mediante los valores de significancia:  $p\text{-valor} = 0.001 \leq 0.05$  rechazándose la hipótesis nula. *Conclusión:* El tratamiento secundario biológico tiene efectos significativos en las aguas residuales industriales en la Papelera Nacional S.A, ya ha permitido a la empresa continuar con sus operaciones y obtener los permisos por parte de las instituciones del estado, por cumplir con la normativa vigente a la fecha.

***Palabras Clave:*** Tratamiento biológico, aguas residuales, sistemas, características.

## ABSTRACT

*Objective:* Establish the effects of secondary biological treatment in industrial wastewater at Papelera Nacional S.A. – Paramonga Plant. *Methodology:* Applied type, explanatory level, non-experimental with a quantitative approach, the population considered was the laboratory reports recorded in the quarterly reports during 2017 to 2020, with a finite sample of 32 reports. *Results:* Favorable effects were evident from the last quarter of 2019 to the end of 2020 (33.5% STS, 14.7% Sulfates, 60% COD, 86% BOD, 36.1% STD, 43.8% SS. 45% A and G, 99.6% CF and 85.1% Pb, while the T° and pH were within the tolerance. Through the Shapiro-Wilk Test, a free distribution of the data was received and with the T test the acceptance of the hypothesis was verified through the values of. significance:  $p\text{-value} = 0.001 \leq 0.05$ , rejecting the null hypothesis. *Conclusion:* Secondary biological treatment has significant effects on industrial wastewater at Papelera Nacional S.A. It has already allowed the company to continue its operations and obtain permits. of state institutions, for complying with the regulations in force to date.

**Keywords:** *Biological treatment, wastewater, systems, characteristics.*

## INTRODUCCIÓN

La gestión del agua un tema que toma cada vez más importancia en las empresas, de cualquier rubro o sector. La responsabilidad empresarial netamente orientada a la parte ambiental debe ser un objetivo principal por parte de la empresa cumpliendo con las normativas vigentes, implementando instrumentos de gestión para una producción más eficiente, el control de calidad del agua con la finalidad de generar un ambiente recíproco de respeto entre el usuario y la empresa.

El informe mundial de la UNESCO (2021) señala que existe un 80% de aguas no tratadas que provienen del uso industrial con altos niveles de contaminación, menciona también que en solo el 40% de aguas de uso industrial en América latina y el Caribe reciben algún tratamiento seguro. A nivel nacional el INEI (2021) afirma que durante el 2020 se registró el mayor incremento de vertimiento de aguas residuales siendo este de 624 millones 1 mil metros cúbicos. Hecho avizorado por CEPLAN (2020) quien señala que la problemática del tratamiento de las aguas de uso industrial es una dolencia que tiene el Perú, ya que su no tratamiento genera una contaminación significativa y como refería Dancé y Sáenz (2013), hace más de 6 años atrás cerca del 75 % de estas aguas eran vertidas sin ningún tratamiento a ríos, lagos o al mar.

La investigación aborda el tratamiento biológico secundario como un proceso, que permite reducir significativamente el contenido de parámetros establecidos en la normativa vigente a nivel nacional e internacional como contaminantes de las aguas industriales, el cumplimiento de los índices de permisibilidad es la dolencia de la mayoría de empresas, sin embargo una implementación a tiempo de sistema puede hacer la diferencia, según refiere Gutiérrez, A. (2019) y Zúñiga, E. (2020), la optimización del sistema del PTAR mediante un tratamiento biológico secundario reduce de los índices de DBO, CF, DQO, SST, SS. A y G, Sulfuros, entre otros; al respecto Martínez, R.; et al. (2020) señala que el monitoreo diario de los parámetros físicos, biológicos y químicos de las aguas industriales garantiza un proceso efectivo.

El contexto de estudio se da en la Papelera Nacional S.A, teniendo como punto de partida los valores elevados en los índices de permisibilidad reportados en el 2017, que fueron los causantes de la implementación de una PTAR, no obstante, no era suficiente para reducir los parámetros, por lo cual en el 2019 se procedió agregar el tratamiento secundario biológicos, con efectos significativos en el siguiente año, y como continúa haciendo a la fecha.

Es importante instaurar precedencias en la significancia del control y monitoreo de las aguas residuales industriales para prevenir efectos en la salud de los ecosistemas, en el caso de estudio se tomó los reportes de los efluentes 1 y 5, para establecer el nivel de efecto del tratamiento secundario biológico desde el punto más cercano a la planta hasta el punto más lejano, resultados que fueron favorables para el EF-01 con una reducción importante en sus parámetros de control, a diferencia del EF-05 que mantuvo su elevada medición e incluso con incrementos pero que se hizo responsable a factores externos a la planta por ubicarse fuera del alcance de la planta. Es válido mencionar que la medición de permisibilidad de parámetros estuvo basado a la Guía sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad (Banco Mundial, 2007) y el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35- (2000), así como a nivel nacional la norma de los ECA para aguas y D.S. N.º 003-2002 (MINAM ) y D.S. N.º 004-2017 (MINAM).

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática.**

En la actualidad, las empresas no gestionan y controlan el tratamiento de sus aguas residuales de forma rutinaria debido a la falta de requisitos reglamentarios. Se cree que las tasas crecientes de aguas residuales industriales en países con mayor progreso son bastante altas a comparación de los países en camino al desarrollo. Este hecho predice la contaminación por aguas residuales industriales, como un problema medio de contaminación ambiental, trasladándose de países desarrollados a países en desarrollo a principios del siglo XXI.

La industria del papel tiene un consumo excesivo de agua, lo cual genera un impacto significativo en el medio ambiente respecto al uso de recursos naturales causando un desequilibrio ecológico. Según Shi, H. (2002) las manufactureras de pulpa y papel depende en gran medida de las sustancias a base de cloro y, como resultado, los efluentes de las plantas de pulpa y papel contienen cloruros orgánicos y dioxinas, así como también sólidos en suspensión y desechos orgánicos. Para Hansson (2014) los efluentes contienen sustancias orgánicas de diversos orígenes y propiedades. Estos solo pueden eliminarse mediante un pretratamiento especial de las aguas residuales, seguido de un tratamiento biológico.

Justo, A. (2015), indica que los métodos biológicos con las que se trata las aguas utilizan organismos microbianos para eliminar o reducir los contaminantes orgánicos descomponiéndolos en productos más simples. Para Martínez, R.; et al. (2020) el monitoreo diario de los cuantificaciones físicas, biológicas y químicas de las aguas de industriales garantiza un proceso efectivo. Según Ayob et al. (2021) el método de selección a utilizar en el sistema de tratamiento depende de las características de dichas aguas.

El informe mundial de la UNESCO (2021) señala que existe un 80% de aguas no tratadas que provienen del uso industrial con altos niveles de contaminación, menciona también que en solo el 40% de aguas de uso industrial en América latina y el Caribe reciben algún tratamiento seguro. A nivel nacional el INEI (2021) afirma que durante el 2020 se registró el mayor incremento de vertimiento de aguas residuales siendo este de 624 millones 1 mil metros cúbicos. Hecho avizorado por CEPLAN (2020) quien señala que la problemática del tratamiento de las aguas de uso industrial es una dolencia que tiene el Perú, ya que su no tratamiento genera una contaminación significativa y como refería

Dancé y Sáenz (2013), hace más de 6 años atrás cerca del 75 % de estas aguas eran vertidas sin ningún tratamiento a ríos, lagos o al mar.

La empresa Papelera Nacional S.A., hace uso de las aguas superficiales de Río Pativilca por un total de 500 m<sup>3</sup> mensualmente, y sus aguas residuales industriales son vertidas al mar. En el año 2017 se obtuvieron los valores más altos desde la implementación del tratamiento primario de efluentes en los parámetros de DBO, DQO y STS: 286.3, 1047.9 y 300 mg/L respectivamente, superando los límites máximos permisibles a los que se rige Papelera Nacional S.A, como son la Guía sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad (Banco Mundial, 2007) y el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35- (2000), así como a nivel nacional la norma de los ECA para aguas y D.S. N.º 003-2002 (MINAM ) y D.S. N.º 004-2017 (MINAM).

Para el 2018 y mediados del 2019, la papelera sólo contaba con un tratamiento primario para sus aguas empleadas, una de las debilidades de dicho tratamiento era la presencia de contaminantes biológicos y sólidos provocado por la materia prima que se empleaba en el proceso, ocasionando el exceso cuantificable en la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO) y Sólidos suspendidos totales (SST).

Papelera Nacional S.A. se encontraba incumpliendo el instrumento de gestión ambiental sobre las responsabilidades ambientales estipuladas, los requisitos legales exigidos por las autoridades del estado y generando impactos ambientales negativos al mar adyacente a la playa “Las delicias” de Paramonga. Por ello para el último trimestre del año 2019 implementa el tratamiento secundario biológico a la PTARI, consiguiendo resultados favorables en los parámetros mencionados anteriormente, a la fecha y según consta en R.D. N° 00136 – 2023 (PRODUCE), la empresa ha aprobado actualización del Plan de Manejo Ambiental (PMA).

La investigación tiene por objetivo establecer los reesultados del tratamiento secundario biológico en las aguas residuales en la Papelera Nacional S.A, basado en el análisis descriptivo de sus informes de reportes trimestrales de los años 2017 hasta el 2020, ya que a través de ellos se puede observar el antes y después de la implementación del tratamiento secundario biológico como parte de la PTAR, pudiendo ser un aporte académico y confiable.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuáles son los resultados del tratamiento secundario biológico de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- i. ¿Qué efectos produce el tratamiento secundario biológico en la caracterización física de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga?
- ii. ¿Qué efectos produce el tratamiento secundario biológico en la caracterización química de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga?
- iii. ¿Qué efectos produce el tratamiento secundario biológico en la caracterización biológica de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga?

## **1.3 Objetivos de la Investigación.**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Establecer los efectos del tratamiento secundario biológico en las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga

### **1.3.2 Objetivo específico**

- i. Establecer los efectos del tratamiento secundario biológico en la caracterización física de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.
- ii. Establecer los efectos del tratamiento secundario biológico en la caracterización química de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.
- iii. Establecer los efectos del tratamiento secundario biológico en la caracterización biológica de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.

#### **1.4 Justificación de la investigación.**

La metodología dispuesta para el presente estudio envuelve dos variables de gran importancia para el medio ambiente, las cuales son tratamiento secundario biológico y aguas residuales industriales, se optó por emplear en nivel explicativo; cabe señalar que el diseño no experimental tendrá un enfoque cuantitativo basado en los informes analíticos de las aguas industriales del 2019 y 2020. El método designado será de tipo deductivo para la interpretación de tendencias y resultados cuantificados.

A nivel práctico el tema de estudio contribuye a la estandarización de parámetros controlables dentro de una planta de tratamiento, considera tres tipos de sistemas de degradación de materia orgánica, cómo son el sistema aeróbico, anóxico y anaeróbico. Asimismo, para determinar la calidad del agua residual industrial se debe de considerar sus características físicas, químicas y biológicas postratamiento; de esta manera se garantizaría que éstas no afecten al sistema ecológico que se encuentra a su alrededor o directo como es la desembocadura en este caso refiere a la playa Las Delicias, cercana a la planta de Paramonga.

La eficiencia y el adecuado tratamiento de aguas hacen que el daño e impacto ambiental sobre el ecosistema que se encuentra a su alrededor o este directamente involucrado a la zona industrial se reduzca considerablemente, ya que en el proceso se considera la caracterización fisicoquímica y biológica que debe de tener las aguas antes de ser vertidas directamente hacia las zonas cercanas, llámese playas, ríos, suelos etc. La temática ambiental a nivel mundial y nacional es una demanda de la población que busca vivir en ambientes saludables libres de contaminación y, los estados también emiten de manera permanente normas que exigen a las empresas adecuarse a patrones ambientales.

#### **1.5 Delimitación del estudio.**

La investigación se realizó en la planta industrial de Papelera Nacional S.A, situada en el distrito de Paramonga, de coordenadas UTM: 191131.9 al Este y 1181606.1 al Norte. La temporalidad del desarrollo del proyecto se situó en el año 2022.

Los recursos empleados fueron: humanos, tecnológicos y de servicios, los cuales fueron incluidos dentro de presupuesto inicial de proyecto de tesis.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales.

Bhandari, V.; Gayatari, L. y Ranade, V. (2016), en su investigación *“Industrial wastewater treatment for fertilizer industry—A case study”* [Tratamiento de aguas residuales industriales para la industria de fertilizantes: un estudio de caso], con el objetivo de evaluar soluciones de tratamiento de efluentes y la comparación de diferentes métodos para aguas residuales reales de la industria de fertilizantes. Se realizó una metodología utilizando un diodo de con vórtice para cavitación hidrodinámica y también mediante adsorción, para varias corrientes de aguas residuales reales de diferentes lugares de Maharashtra, India. La estrategia involucró la caracterización de aguas residuales, estudios sobre la eliminación efectiva de la DQO y el diseño de soluciones para la reducción efectiva del nitrógeno amoniacal, un problema más serio en la industria. La caracterización de las aguas de diferentes corrientes reveló una gran variación en DQO de 50 a 140 000 ppm y nitrógeno amoniacal de 6 a 1700 ppm. Algunas corrientes de efluentes contenían hasta un 5 % de alcohol. Para el tratamiento de estas corrientes se utilizó cavitación hidrodinámica con diodo vortex y adsorción con carbones modificados. Se observó que la estrategia de tratamiento de efluentes requiere una cuidadosa identificación y aplicación de un método de tratamiento adecuado sobre la base de la naturaleza del efluente. Por lo que se concluye que, además, la cavitación hidrodinámica, el uso de los diodos de vórtice, son una opción tecno-económicamente atractiva en dicho tratamiento, ya que ofrece una reducción muy alta de DQO y nitrógeno amoniacal (hasta un 85 %), similar a la adsorción.

Manu, D. (2018), en su estudio *“Hybrid biological systems for wastewater treatment, Mangalore”* [Sistemas biológicos híbridos para el tratamiento de aguas residuales, Mangalore - India], siendo el propósito principal estudiar el desempeño del sistema biológico híbridos bajo la influencia de una relación C/N variable, concentración de biomasa, tiempo de retención hidráulica (TRH) y concentración de oxígeno disuelto. El resultado se basó en varios ensayos de observación al reactor ASbiofilm logrando buena eficiencia de eliminación con respecto a DQO-92 %,  $\text{NH}_4^+$ - N- 93 %, TN- 86 % y TP-52 %. Del mismo modo, para optimizar la utilidad del sistema en términos de nitrógeno y fósforo, además de la eliminación de carbono, se diseñó y operó un reactor integrado de biopelícula de lodo activado anaeróbico/anóxico/óxico (biopelícula A<sup>2</sup>O-AS) en

condiciones operativas variables tales como C/N de ratio, biomasa suspendida (X), TRH y DO. Concluyendo que el reactor de biopelícula A<sup>2</sup>O-AS logró buenas eficiencias de eliminación de DQO-95,5 %, TP-93,1 %, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N-98 % y TN-80 % cuando el reactor mantuvo C/ Proporción de N - 4, biomasa suspendida (X) - 3 a 3,5 g/L, TRH -10hr y DO - 1,5 a 2,5 mg/L. Se estudió la aplicabilidad de las técnicas de computación blanda para la predicción del rendimiento del sistema híbrido y se aplicó ANFIS en una PTAR en tiempo real de 43,5 MLD de capacidad. Los modelos ANFIS mostraron una mayor eficiencia al modelar las aguas residuales mediante análisis multivariante, demostraron ser capaces de predecir los parámetros de efluentes del reactor con condiciones de operación variables y pueden adoptarse para modelar los datos no lineales.

Kumar, P. (2018), en su estudio “*Design and Performance Study of a Bench-Scale Biological Wastewater Treatment Plant for a Sea Food Processing Industry, Khulna - Bangladesh*” [Estudio de Diseño y Funcionamiento de una Planta de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales a Escala de Banco para una Industria Procesadora de Alimentos del Mar], siendo su objetivo el diseñar la mejor planta de tratamiento, sus resultados muestran que las aguas industriales sin tratar de la industria contienen un promedio de OD, DBO<sub>5</sub>, DQO, TDS, SS y cloruro de 2.07, 177, 355, 2894, 383 y 821 mg/L respectivamente. La CE y el pH fueron de 4,51 mS/cm y 8,03. La planta a escala de banco ha eliminado una notable carga orgánica. La reducción de DBO<sub>5</sub> se ha encontrado de 177 a 41 mg/L (77%) y DQO de 355 a 117 mg/L (67%) respectivamente. El resto de todos los parámetros han cumplido con el estándar nacional. Concluyendo que el análisis obtenido que el tratamiento fue de nivel moderado. Por lo tanto, se puede decir que este criterio de diseño o planta a escala de banco se puede usar de manera efectiva en el tratamiento de aguas residuales procesadas con camarones.

Zajda, M. y Aleksander-Kwaterczak, U. (2019), en su estudio “*Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry – an Overview, Krakow, Poland*” [Métodos de tratamiento de aguas residuales para efluentes de la industria de la confitería: descripción general, Cracovia, Polonia], con el objetivo de revisar varios métodos, se prestó atención a la aplicabilidad de un método en particular, sus ventajas y desventajas y los costos de implementación; siendo este el uso del reactor biológico de membranas que combina la técnica clásica de fangos activados y filtración sobre membranas microfiltrantes. Las peculiaridades de las aguas son valores altos de indicadores de oxígeno: DBO y DQO. La coagulación y la floculación no son buenos métodos para las aguas residuales discutidas, porque solo reducen parcialmente la DBO y

la DQO y su principal desventaja es la producción de una gran cantidad de desechos. La electrocoagulación contribuye a una reducción significativa de los indicadores de oxígeno y no requiere aditivos químicos. Concluyendo que las técnicas de membrana que utilizan sistemas de múltiples etapas, aunque se caracterizan por una alta reducción de DBO y DQO, tienen algunas desventajas., ya que los procesos aeróbicos como anaeróbicos de lodos activados provocan una disminución en el contenido de compuestos orgánicos en las aguas. Sin embargo, la entrada desigual de aguas puede conducir a la degradación del lodo activado lo que hace que estas técnicas a no sean muy rentables, porque es importante considerar su aplicabilidad y las ventajas y desventajas del método antes de la implementación.

Tenlong, L. (2019), en su investigación “*Operating and Optimizing the Pilot Wastewater Treatment Plant, Shanghai*” [*Operación y Optimización de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales, Shanghai*], tiene como objeto estudiar las variables, considerando los resultados experimentales de los cursos de SAVONIA y de los equipos de prueba de los maestros de escuela así como la interceptación de algunos datos y del experimental propio, se dividió en dos partes: una para las pruebas de las aguas residuales (2, 4, 6) y la otra para agua potable (1, 3, 5). Los resultados experimentales se dividen en dos partes, una son los resultados experimentales del curso, la otra es la síntesis de todos los resultados experimentales. Concluyendo que los microorganismos son extremadamente sensibles a los factores ambientales. El pH óptimo está entre 6,5 y 8,5, el O<sub>2</sub> es óptimo entre 2 y 3 mg/l, y para la temperatura las condiciones óptimas son de aproximadamente 20 °C con lodo.

Jimenez, J. (2021) en su trabajo “*Evaluación de un biofiltro anaeróbico como tratamiento secundario de aguas residuales urbanas para una planta de tratamiento ubicada en Monteverde, Costa Rica*”, siendo su objeto de estudio el determinar la eficiencia de remoción orgánica debido a la variabilidad estacional en la generación de aguas residuales. Investigación experimental cuyo resultado presenta que el FAF reduce en el DBO (88%) y el DQO (89%) y superiores al 70% en sólidos suspendidos. Concluyendo que, para la regeneración de aguas residuales es necesario la construcción de un filtro de 1665 m<sup>3</sup> compuesto de 4 cámaras independientes de 5 m de alto, el cual puede funcionar inicialmente al 75% de la capacidad e ir en incremento en los siguientes años.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales.**

Blas, A. (2018), en su estudio aplicativo busco “*Determinar y mejorar de la eficiencia del sistema de tanque Séptico y filtro biológico de la planta de tratamiento de*

*aguas residuales de la localidad de Jivia - Huánuco*”, la investigación fue descriptiva y no experimental. La población la conformo las aguas de la PTAR, tomando como muestra puntos estratégicos. Los resultados demostraron una mejora en DBO reducido de 241mg/l a 98mg/l y SST de 31 mg/l a 21mg/l, cumpliendo el límite máximo permisible.

Concluyendo que el sistema de tratamiento tiene un funcionamiento correcto, removiendo los parámetros analizados.

Castillo, M. y López, J. (2018), en su investigación descriptiva y analítica sobre el *“Tratamiento del agua residual industrial de la Curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de los valores máximos admisibles”*, tuvo como propósito implementar mejoras en el sistema de tratamiento de efluentes. Para lo cual la población fue las aguas industriales, la muestra 8 litros de agua de cada etapa. Los resultados reflejaron altos porcentajes de remoción en las concentraciones finales, realizados en un periodo de 11 días reflejando lo siguiente 709,6 mg/ en DQO, 311,4 mg/L en TSS, 35,2 mg/L en A y G, 2,0 mg/L en SS, 3,8 mg/L Sulfuros, 355,7 mg/L en DBO, 5,2 mg/L en Cr Total y 15,9mg/L en NH<sub>3</sub>. En tanto el pH en el periodo de los 11 días se encontraron entre los rangos de 7,2 a 7,8. Concluyendo que con la implementación se cumple con la normativa vigente.

Gutiérrez, A. (2019), en su estudio, *“Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales "San José" para su reúso con fines agrícolas-Chiclayo-2015”*, tuvo como propósito determinar la relaciona entre ambas variables, investigación correlacional causal, no experimental transaccional, como población considero la PTAR San José, y como muestra sus unidades de tratamiento. Empleo como instrumento los reportes de monitoreo anual, obteniendo como resultado que la concentración de CF es equivalente a 390 NMP/100mL encontrándose en los rangos permisibles. Concluyendo que existe relación entre las variables, debido a que los cálculos efectuados exponen que la eliminación de los contaminantes fue eficiente.

Huarachi, Y. (2020), en su investigación exploratoria *“Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero Municipal de Tacna”*, siendo su objetivo elaborar la propuesta en mención, investigación exploratoria, cuya muestra fue el matadero municipal, los resultados mencionan que solo el indicador de Grasas y Aceites cumple con lo estipulado en el D.S. N°010-2019 con un 1797 mg/l de afluente y 26.20 mg/l en efluente, mientras que el DBO<sub>5</sub>, DQO y Nitrógeno amoniacal lo incumplen; con un caudal promedio de 0.82 l/s. Concluyendo que para el tratamiento correcto de las aguas residuales es necesario la utilización de unidades para el desempeño correcto, cumpliendo la ley vigente.

Zúñiga, E. (2020), en su estudio experimental busco “*determinar los sustratos óptimos de diseño de lombrifiltro como tratamiento secundario de las aguas residuales del fundo la banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María*”, empleo 2 litros de aguas como muestra. Teniendo como que resultado en el LB2 un mayor porcentaje de remoción DQO (57.92%), DBO (39.73%) y conductividad (19.57%), además de que su promedio de calidad fue mejor, en tanto el LB1 presento mayor porcentaje en turbidez (64.24%) y fósforo total (31.64%). Concluyendo que el LB2 fue más eficiente el sistema de tratamiento.

## **2.2. Bases teóricas.**

### **2.2.1. Tratamiento biológico secundario.**

De acuerdo con Justo, A. (2015), los procesos biológicos para tratar las aguas son utilizan organismos microbianos para eliminar o reducir los agentes orgánicos descomponiéndolos en productos más simples.

Las bacterias son el organismo más común a cargo de la biodegradación en los tratamientos biológicos y su capacidad de tratamiento para biodegradar compuestos químicos depende de una variedad de factores como la concentración del producto, estructura química, pH, temperatura, disponibilidad de nutrientes, oxígeno disuelto, mezcla, etc.

Su buen rendimiento, junto con su operatividad económica para descontaminar aguas residuales en comparación con otros tratamientos, son las razones por las que las empresas están utilizando biorreactores como parte de su operación.

Burton, F. y Tchobanoglous, G. (1991), señalan que los procesos biológicos se pueden clasificar según la disponibilidad de oxígeno y en consecuencia de acuerdo al tipo de aceptor de electrones que interviene en el proceso de oxidación de la MO: *aerobios*, *anaerobios*, *anóxicos*, combinando estos tres en el mismo reactor, pero en tiempos diferentes, y estanques (procesos lagunares, en los que las tres primeras condiciones se dan simultáneamente en distintas zonas de la laguna). Henze et al (2008) señala que cada grupo de procesos biológicos se puede subdividir en: procesos de crecimiento suspendido, procesos de crecimiento adjunto o una combinación de ambos

De acuerdo con Hansson, H. (2014), estos procesos pueden ser sensibles tanto a las propiedades químicas como físicas de algunos compuestos lo que reduce la efectividad del tratamiento. Sin embargo, los métodos de tratamiento biológico principales son: aeróbica: en presencia de oxígeno, los microorganismos convierten los sustratos orgánicos en

dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ); y anaeróbico, cuando los microorganismos convierten el sustrato orgánico en metano ( $\text{CH}_4$ ) y  $\text{CO}_2$  sin la presencia de oxígeno.

De acuerdo a la literatura este tratamiento se puede dividir en dos categorías procesales:

- (1) ***Procesos de crecimiento suspendidos.*** Este sistema emplea un reactor como contenedor de los microorganismos y las aguas residuales, donde mediante la inyección de oxígeno se a la actividad biológica.
- (2) ***Procesos de crecimiento fijos.*** Este sistema permite el crecimiento de masa biológica en cualquier medio por acción de la dispersión del agua residual sobre este.

### **2.2.2. Métodos de alternativos.**

#### **a) *Tratamiento de acoplamiento biológico (TAB)***

En la actualidad es sumamente importante el desarrollo de tratamientos alternativos de aguas residuales y tecnologías de reutilización del agua. Por lo cual los TAB deben ser altamente competitivos en la eliminación de contaminantes orgánicos persistentes, aunque la oxidación química para la mineralización completa suele ser costosa. Por otro lado, Oller et al. (2011) asumen que no todos los agentes contaminantes se eliminan mediante tratamientos biológicos convencionales ya que en ocasiones estos son persistentes debido a su estabilidad química o baja biodegradabilidad.

#### **b) *Carbón activado biológico (CAB)***

El carbono se ha utilizado como adsorbente durante siglos. Bhatnagar et al. (2013) informaron usos tempranos del carbón para la filtración de agua y para la purificación de soluciones de azúcar. La capacidad de CAB para eliminar una gran variedad de compuestos de las aguas contaminadas ha llevado a su mayor uso en los últimos treinta años.

Velten et al. (2011) señalan que los filtros de carbón activado granular (CAG) se han utilizado durante mucho tiempo para eliminar por adsorción compuestos orgánicos indeseables, incluida la materia orgánica biodegradable, microcontaminantes, hidrocarburos halogenados y compuestos de sabor y olor. Para Simpson (2008) el CAG ofrece un medio eficaz para eliminar compuestos orgánicos debido a su forma irregular de partículas porosas y agrietadas, incluso en bajas concentraciones. Sin embargo, una de las grandes limitaciones del CAG es la

saturación que implica la necesidad de regenerarlo, con los costes económicos que conlleva.

Por esta razón Velten et al. (2011) afirma que esta transición de filtro CAG a CAB es un proceso dependiente del tiempo en el que pueden coexistir procesos simultáneos de adsorción y biodegradación. Mientras Kalkan et al. (2011) refiere que el mecanismo de biodegradación consiste en una primera adsorción de la materia orgánica extraída del agua en los macroporos. Este proceso prolonga la vida útil del CAG y reduce la frecuencia de retrolavado, siendo los principales beneficios de los filtros CAB. Así mismo Velten et al. (2007) señala que la preoxidación de efluentes altamente recalcitrantes antes de la filtración CAB es una combinación comúnmente utilizada que da como resultado un aumento de la biodegradabilidad del efluente de entrada, por lo tanto, promueve la actividad biológica de la biopelícula y, en consecuencia, prolonga la vida útil de los medios CAG

La caracterización de la biomasa activa es importante durante los procesos de filtrado CAB para establecer conexiones entre el proceso de degradación y la biomasa involucrada. Varios métodos han sido utilizados por diferentes autores para evaluar la actividad de la biomasa. Stewart et al. (1990) y Urfer (2001) incluyen recuentos de placas heterótrofas, método de extracción de fosfolípidos, análisis de trifosfato de adenosina (ATP) y mediciones respirométricas, entre otros. Asimismo, la determinación de las comunidades microbianas también es información esencial para una mejor comprensión del rendimiento de los filtros CAB. Niemi et al. (2009) han realizado estudios utilizando métodos dependientes del cultivo en aplicaciones de CAB en agua potable, sin embargo, solo una fracción muy pequeña de los microorganismos en el medio ambiente es cultivable en los medios comúnmente aplicados.

### **2.2.3. Sistemas aerobios.**

Este tipo de sistemas emplea el oxígeno como medio oxidante de los compuestos orgánicos a dióxido de carbono promoviendo el crecimiento de microorganismos en favor del proceso. Judal (2015) afirma que dichos sistemas pueden llegar a acoplar procesos convencionales con contactores biológicos rotativos, filtros percoladores, etc.

De acuerdo con Rangwala, (2016), estos procesos emplean en la coagulación y eliminación de sólidos a microorganismos. Los diferentes tratamientos biológicos aeróbicos son los siguientes:

**1) *Proceso de lodos activados***

- Aireación cónica
- Aireación extendida
- Estabilización de contacto
- Zanja de oxidación

**2) *Filtro percolador***

- Filtros de goteo de tasa estándar
- Filtros percoladores de alta velocidad.
- Sistema de filtro Accelo
- Biofiltración
- Sistema de aerofiltro
- Filtración cerrada.
- Doble filtración alterna

**3) *Contactores biológicos rotativos***

**4) *Lagunas aireadas***

**5) *SBR (reactor secuencial por lotes)***

**2.2.4. Sistema anóxicas.**

Sistema común donde los lodos activados son empleados en la eliminación biológica de nitrógeno consiste en un tanque anóxico seguido de un tanque aeróbico. De acuerdo con Curtin et al. (2011) en el sistema anóxico el oxígeno solo está disponible en forma combinada, como nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ) o sulfato ( $\text{SO}_4$ ) en un ambiente acuoso

Horne, G. (1998), señala que los tanques anóxicos proporcionan condiciones favorables para que las bacterias empleen al nitrato en lugar de oxígeno como aceptor terminal de electrones durante el consumo de sustrato orgánico. El tanque aeróbico proporciona condiciones oxigenadas que permiten que las bacterias nitrificantes conviertan el nitrógeno orgánico y el amoníaco dentro de las aguas residuales afluentes en nitrato. Una porción del licor mixto nitrificado se recicla nuevamente al tanque anóxico, proporcionando nitrato para el paso de desnitrificación. Este sistema de lodo único se denomina sistema de lodo activado de sistema anóxico-aeróbico (A/O). El nitrato

producido en la zona aeróbica se alimenta a la zona anóxica mediante una corriente de reciclaje a un caudal que puede ser de 2 a 4 veces el caudal.

Para Li et al. (2022) los parámetros de diseño clave que determinan la cantidad de eliminación de nitrógeno son los tiempos de detención de la zona aeróbica y anóxica, la concentración del licor mezclado y la tasa de reciclado interno.

### **2.2.5. Sistema anaeróbico.**

Para Henze (2008) la digestión anaeróbica es un método común para preparar los sólidos de lodo para su disposición final. Todos los sólidos sedimentados en depósitos primarios, secundarios u otros se bombean a un digestor hermético cerrado, donde se descomponen en un ambiente anaeróbico. La velocidad de su descomposición depende principalmente de la siembra adecuada, el ph, el carácter de los sólidos, la temperatura, etc.

Guyer (2011) señala que la digestión (hidrolito y metano) tiene el doble propósito de hacer que los sólidos del lodo sean fácilmente drenables y convertir una parte de la materia orgánica en productos gaseosos finales, llegando hasta un 50% de reducción. Después de la digestión, el lodo se seca y/o se quema o se utiliza como fertilizante o vertedero. La fermentación de la materia orgánica se desarrolla en dos etapas:

1. Acción hidrolítica, convirtiendo la materia orgánica en ácidos y alcoholes orgánicos de bajo peso molecular.
2. Evolución del dióxido de carbono y la reducción simultánea a metano (el CO<sub>2</sub> se consume realmente).

Curtin (2011), menciona que el entorno adecuado para ambos tipos de bacterias requiere un equilibrio entre la población de organismos, el suministro de alimentos, la temperatura, el ph y la accesibilidad de los alimentos. Del mismo modo Justo (2015) refiere que los siguientes factores son medidas de la efectividad de la acción digestiva: producción de gas, balance de sólidos, DBO, acidez y ph, características del lodo y olores.

Los requisitos habituales de capacidad unitaria para Jimenez (2021) se reducen en que siempre que las operaciones se controlen y realicen de la siguiente manera:

1. El contenido del tanque debe agitarse para mantener una mezcla uniforme de sólidos crudos y sólidos en digestión.
2. El lodo crudo debe agregarse continuamente al digesto en la unidad
3. Los lodos crudos deben concentrarse antes de agregarse al digestor. La digestión en dos etapas, con la primera etapa utilizada principalmente para la

digestión activa y la segunda etapa para el almacenamiento y la consolidación de lodos, a menudo se lleva a cabo en dos tanques separados.

#### **2.2.6. Demanda biológica de oxígeno (DBQ) y demanda química de oxígeno (DQO)**

Dewangan (2015), afirma que la prueba DQO se usa para medir la cantidad de compuestos orgánicos las aguas, estableciendo la valoración del oxígeno necesario para oxidar los contaminantes. El rango aplicable de esta prueba es de 3 a 900 mg/ml. Generalmente, el tiempo necesario es de 5 días a una temperatura de 20 °C. También predice la biodegradabilidad de cualquier muestra de agua o aguas residuales.

La eficiencia de las aguas residuales se mide mediante la DBO efluente y la DBO entrante de la muestra tomada. Cualquier efluente que se descargue en el agua debe tener una DBO inferior a 30 mg/ml.

El valor de DQO siempre es mayor que el valor de DBO. Según la investigación, los valores de DQO en efluentes residuales domésticos e industriales son aproximadamente 2,5 veces el valor de DBO. Si la proporción de DBO a DQO es superior a 0,8, se considera que el agua está muy contaminada y es susceptible de tratamiento biológico.

#### **2.2.7. Importancia del tratamiento secundario biológico.**

Rigola. M. (1989) señala que esta etapa elimina el 85% de MO en las aguas residuales por acción de las bacterias que emplea en su proceso, así como técnicas que emplea filtros percoladores y lodos activados. De acuerdo con Rahmat, S., et al. (2022), para lograr el funcionamiento eficiente de del tratamiento, se deben efectuar procedimientos complejos de monitoreo de datos para medir una serie de parámetros como son DBO, DQO, OD, STS, aceites y grasas totales, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> y P, mientras que el pH y la temperatura deben monitorearse con precisión. El comportamiento dinámico de las PTAR se debe a la no linealidad y variaciones en las propiedades físicas en términos de condiciones ambientales, amplia variación en el caudal y varias concentraciones de composición del afluente.

Para Martínez, R.; et al. (2020) el monitoreo diario de los cuantificaciones físicas, biológicas y químicas son necesarios para planificar el tratamiento adecuado requerido para garantizar un proceso de desempeño efectivo. Según Bagherzadeh et al. (2021) el desempeño sostenible de las instalaciones plantas se basa en una operación consistente lograda a través del ahorro de energía, la reducción del consumo y la recuperación de

recursos para reducir los costos operativos para el manejo de varios tipos de monitoreo de datos.

Según Ayob et al. (2021) el método de selección a utilizar en el sistema de tratamiento suele depender de las características de las aguas a tratar, ya que cada una tiene sus limitaciones, como son su factibilidad, viabilidad, eficiencia, practicidad, confiabilidad, impacto ambiental, etc.

### 2.2.8. Aguas residuales industriales.

Son una de las fuentes de contaminación importantes en la contaminación del medio ambiente acuático. De acuerdo con Bhandari (2016) durante el siglo pasado, una gran cantidad de estas se vertieron en ríos, lagos y zonas costeras. Esto resultó en serias consecuencias medio ambientales a nivel acuático y causó efectos negativos al ecosistema y a la vida humana.

Manu (2018) señala que al igual que las diversas características de las aguas residuales industriales, su tratamiento debe diseñarse específicamente para el tipo particular de efluente producido. La cantidad de aguas residuales depende del nivel técnico del proceso en cada sector industrial y se reducirá gradualmente con la mejora de las tecnologías industriales.

Según el caso de estudio la producción de la pulpa y el papel depende en gran medida de las sustancias a base de cloro y, como resultado, los efluentes de las plantas de pulpa y papel contienen cloruros orgánicos y dioxinas. A continuación, tenemos la tabla de especificación de contaminante por sector industrial.

Tabla 1.  
Contaminante por sector industrial.

<b>Sector</b>	<b>Contaminante</b>
<i>Hierro y acero</i>	<i>DBO, DQO, aceite, metales, ácidos, fenoles y cianuro.</i>
<i>Textiles y cuero</i>	<i>DBO, sólidos, sulfatos y cromo.</i>
<i>Pulpo y papel</i>	<i>DBO, DQO, sólidos, compuestos orgánicos clorados.</i>
<i>Petroquímica y refinerías</i>	<i>DBO, DQO, aceites minerales, fenoles y cromo.</i>
<i>Químicos</i>	<i>DQO, productos químicos orgánicos, metales pesados, SS y cianuro.</i>
<i>Metales no ferrosos</i>	<i>Flúor y SS.</i>
<i>Microelectrónica</i>	<i>DQO y productos químicos orgánicos.</i>
<i>Minería</i>	<i>SS, metales, ácidos y sales.</i>

Nota: Shi, H. (2002), Tipos, cantidades y efectos de aguas industriales

### **2.2.9. Tipos de aguas residuales.**

Para Shi, H. (2002), hay muchos tipos de aguas residuales industriales basadas en diferentes industrias y contaminantes; cada una de ellas tiene su particularidad en sus contaminantes debido a tipo de producción o sector de aplicación.

Generalmente, estas aguas se pueden dividir en dos tipos: inorgánicas y orgánicas.

#### **a) Residuales inorgánicas.**

Este tipo de efluentes se producen principalmente en la industria del carbón y del acero, de minerales no metálicos y en empresas comerciales e industrias para el procesamiento superficial de metales (plantas de extracción de hierro y plantas de galvanoplastia).

Según Curtin (2011) estas aguas residuales contienen una gran proporción de materia en suspensión, que puede eliminarse por sedimentación, a menudo junto con floculación química mediante la adición de sales de hierro o aluminio, agentes de floculación y algunos tipos de polímeros orgánicos.

En muchos casos, las aguas residuales se producen además de sustancias sólidas y aceites, y también contienen solutos extremadamente dañinos. Estos incluyen aguas residuales de lavado de gases de alto horno que contienen cianuro, desechos de la industria de procesamiento de metales que contienen ácidos o soluciones alcalinas que en su mayoría contienen metales no ferrosos y, a menudo, cianuro o cromato.

#### **b) Aguas residuales industriales orgánicas.**

Según Dewangan (2015) las aguas residuales industriales orgánicas contienen flujo de desechos industriales orgánicos de esas industrias químicas y plantas químicas a gran escala, que utilizan principalmente sustancias orgánicas para reacciones químicas.

Para Hansson (2014) los efluentes contienen sustancias orgánicas de diversos orígenes y propiedades. Estos solo pueden eliminarse mediante un pretratamiento especial, seguido de un tratamiento biológico. De acuerdo con Castillo y Lopez (2018) la mayoría de este tipo de efluentes son producidas por las siguientes industrias y plantas:

- Las fábricas de productos farmacéuticos, cosméticos, colorantes orgánicos, colas y adhesivos, jabones, detergentes sintéticos, plaguicidas y herbicidas.
- Curtidurías y fábricas de cuero.

- Fábricas textiles.
- Plantas de fabricación de celulosa y papel.
- Fábricas de la industria de refinación de petróleo.
- Fábricas de cerveza y fermentación.
- Industria de procesamiento de metales.

#### **2.2.10. Caudal de aguas residuales industriales.**

Guyer (2011) señala que el caudal se determina en función del tipo, tamaño, proceso de fabricación, nivel de reciclaje, existencia de pretratamiento, etc. Cabe mencionar que así la producción sea de un solo tipo de producto su flujo residual puede ser muy diferentes implicando valoraciones.

Horne (1998) afirma que, si existen grandes industrias que influyen en el sistema de tratamiento de alcantarillado público, por lo que la evaluación adecuada de sus respectivos caudales es de gran importancia, ya que estos efluentes tienen una gran influencia en la planificación y operación de PTAR. Se deben obtener datos específicos para cada industria significativa, a través de encuestas industriales, que permitan suministrar datos de interés para el proyecto.

Con relación al consumo de agua y descarga de efluentes residuales, se deberá obtener al menos la siguiente información para las principales industrias:

##### ***a) Consumo de agua***

- Volumen total consumido (por día o mes)
- Volumen consumido en las distintas etapas del proceso
- Recirculaciones internas
- Origen del agua (abastecimiento público, pozos, etc.)
- Sistemas internos de tratamiento

##### ***b) Producción de aguas residuales***

- Flujo total
- Número de puntos de vertido (con el correspondiente proceso industrial asociado a cada punto)
- Patrón de descarga (continua o intermitente; duración y frecuencia) en cada punto de descarga
- Destino de descarga (alcantarillado, curso de agua)
- Mezcla ocasional de aguas residuales con residuales domésticas y pluviales

Adicionalmente, siempre que sea posible, se deben realizar mediciones de caudal de efluentes a lo largo de la jornada laboral, para registrar el patrón de descarga y sus variaciones.

#### **2.2.11. Contaminantes emergentes.**

Por lo general se asume que los agentes contaminantes en las aguas se pueden eliminar a través de un tratamiento específico. Sin embargo, no todos los agentes contaminantes se eliminan mediante tratamientos estándar. Se sabe que varios compuestos persisten a pesar de ello en forma inalterada, según refiere Teijon et al. (2010)

Ginebreda et al. (2010) señala que compuestos más persistentes se encuentran en el grupo de los contaminantes emergentes, constituido por su prevalencia química compleja, como son la producción de medicamentos de tipo esterooidal, hormonal, antisépticos, antisépticos, metales pesados y metaloides, disruptores endocrinos, etc.

#### **2.2.12. Parámetros de calidad de las aguas residuales.**

Guyer (2011) respalda que el 99,9% de un efluente residual es agua, con llevando a que el restante corresponda a sólidos disueltos orgánicos e inorgánicos y microorganismos, los cuales a pesar que solo significan un 0.1% generan la contaminación e implican el desarrollo de un tratamiento que pueda minimizar o revertir dicha afectación ambiental.

Como se mencionado en los puntos anteriores la composición de los agentes contaminantes y su complejidad de tratamiento depende del uso que se le dio al agua sea industrial o doméstico. Por lo cual se recomienda considerar las características físicas que presentes las aguas antes y después de ser usada como son la temperatura, el color, el olor y la turbidez.

Sperling (2007) señala que, es lamentable que los parámetros de control para los compuestos contaminantes no sean considerados en el diseño y estructuración de una PTAR, lo cual genera dificultades una vez que esta entra en operaciones.

Entonces se vuelve necesario emplear parámetros indirectos y en ocasiones estandarizados de acuerdo el tipo de contaminante su carácter y potencial de envergadura según el sector industrial al que pertenezca. Estas mediciones contribuyen a la calidad del proceso de tratamiento de las aguas por lo cual se pueden dividir en físicos, químicos y biológicos.

Tabla 2.  
Principales características químicas de las aguas residuales.

Parámetros	Descripción
<b>Sólidos Totales</b>	
Orgánicos e inorgánicos; suspendido y disuelto; decantable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suspendidos fijos y volátiles</li> <li>Sólidos disueltos (inferior a 10–3 µm) fijos y volátiles</li> <li>Decantables</li> </ul>
<b>Materia Orgánica</b>	
Mezcla heterogénea de varios compuestos orgánicos (proteínas, carbohidratos y lípidos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinación indirecta: DBO5, DQO, DBO final</li> <li>Determinación directa: COT</li> </ul>
<b>Nitrógeno Total</b>	
Nitrógeno orgánico + el amoníaco = nitrógeno total kjeldahl (TKN).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nitrógeno orgánico</li> <li>Amoníaco</li> <li>Nitrito</li> <li>Nitrato</li> </ul>
<b>Fósforo total</b>	
Orgánico e inorgánico, nutriente fundamental en el tratamiento biológico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fósforo orgánico</li> <li>Fósforo inorgánico</li> </ul>
<b>pH</b>	
Indicador de acidez o alcalinidad de las aguas.	
<b>Alcalinidad</b>	
Indicador de la capacidad tampón del medio (resistencia a las variaciones de pH).	
<b>Cloruros</b>	
Procedentes del agua potable y de los desechos humanos e industriales.	
<b>Aceites y grasas</b>	
Fracción de materia orgánica soluble en hexano.	

Nota: Sperling (2007)

### 2.3. Definiciones conceptuales.

- **Aeróbico:** Condición en la que el oxígeno libre y disuelto está disponible en un ambiente acuoso (Judal, Bhadania, & Upadhyay, 2015, pág. 717)
- **Alcalinidad:** Capacidad del agua para neutralizar ácidos por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y otros compuestos del agua, también conocida como capacidad amortiguadora (Guyer, 2011, pág. 36).
- **Anaeróbico:** Una condición en la que el oxígeno libre, disuelto y combinado no está disponible en un ambiente acuoso (Henze et al, 2008).

- **Anóxico:** Condición en la que el oxígeno solo está disponible en forma combinada, como nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ) o sulfato ( $\text{SO}_4$ ) en un ambiente acuoso (Rigola, 1989, pág. 19)
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** total de oxígeno empleado en la oxidación bioquímica de la MO en un período específico (generalmente 5 días), a una temperatura específica (generalmente 20 °C) y en condiciones específicas (en el oscuro) (Rigola, 1989, pág. 37)
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Medición indirecta de los parámetros orgánicos en el agua (Rigola, 1989, pág. 37)
- **Nutrientes:** Son elementos importantes para el crecimiento de los microorganismos que favorezcan al tratamiento (Diaz, 2018, pág. 316).
- **Oxígeno disuelto (OD):** Oxígeno molecular disuelto en el agua (Rigola, 1989, pág. 36)
- **Sólidos en suspensión (SS):** partículas sólidas que están presentes en un líquido, pero que no se han disuelto completamente (Rigola, 1989, pág. 32).

## 2.4. Hipótesis de la investigación.

### 2.4.1. Hipótesis general.

El tratamiento secundario biológico tiene efectos significativos en las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga, 2020

### 2.4.2. Hipótesis específicas.

- i. El tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización física de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.
- ii. El tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización química de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.
- iii. El tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización biológica de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.

## 2.5. Operacionalización de variables e indicadores.

Para la presente investigación se asignó dos variables estudio, siendo “V<sub>1</sub>” = Tratamiento secundario biológico, y “V<sub>2</sub>” = Aguas Residuales Industriales, cuyo desarrollo se dio en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga. Dentro de su ejecución se propuso tres dimensiones para cada variable, así como indicadores y técnicas correspondientes.

Tabla 3.

Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores.

Variable 1	Concepción operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas / Instrumentos
Tratamiento secundario biológico (TBS)	“Fase crucial en el proceso de tratamiento de aguas, donde se utilizan microorganismos para descomponer y eliminar materia orgánica presente, el tiempo de esta depende de las condiciones aerobias, anóxicas y anaerobias que se da en el tanque de almacenamiento”	Sistema aeróbico	1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	<b>Técnica/ Instrumentos:</b> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio
		Sistema anaeróbico	2. Sólidos Totales en Suspensión (STS)	<b>Técnica/ Instrumentos:</b> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio
			3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
		4. Temperatura	<b>Técnica/ Instrumentos:</b> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio	
		Sistema anóxico	5. Sulfatos	<b>Técnica/ Instrumentos:</b> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio

Variable 2	Concepción operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas / Instrumentos
Aguas Residuales Industriales (ARI)	“Son consideradas como aguas desechadas con alteraciones físicas, químicas y biológicas, debido al proceso en cual has sido utilizadas”	Características físicas	1. Sólidos totales disueltos 2. Sólidos sedimentables	<i>Técnica/ Instrumentos:</i> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio
		Características químicas	3. Aceites y grasas 4. Plomo 5. pH	<i>Técnica/ Instrumentos</i> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio
		Características biológicas	6. Coliformes fecales	<i>Técnica/ Instrumentos</i> Cuantitativa (análisis de resultados) / reportes de laboratorio

*Nota: Elaboración propia.*

## CAPITULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. Diseño Metodológico.

#### 3.1.1. Tipo de investigación.

Corresponde a la tipología aplicada, ya que se analizaron los resultados de los informes de laboratorio de los efectos del tratamiento secundario biológico en las aguas residuales provenientes de la industria papelera.

#### 3.1.2. Nivel de investigación.

Para el desarrollo de la tesis se empleó un nivel explicativo, pues se explica los efectos positivos y negativos de las variables.

#### 3.1.3. Diseño de la investigación.

El objetivo de la tesis considera un diseño investigativo no experimental, el cual se explicó de acuerdo a los resultados e interpretación mediante técnicas cuantitativas.

#### 3.1.4. Enfoque de la investigación.

Siguiendo con los objetivos empleados, se considera de tipo cuantitativo durante el desarrollo de la investigación, de esta manera se empleó la documentación referente al proceso, se interpretó la cuantización resultante basada en la deducción científica de la data.

### 3.2. Población y muestra.

#### 3.2.1. Población

De tipo finita, se utilizó reportes de laboratorio de los informes trimestrales del 2017 hasta 2020 respecto al proceso que aborda el caso de estudio

#### 3.2.2. Muestra

Pertenece al tipo no probabilístico, mediante la fórmula de muestreo finito para 32 reportes de laboratorio de los informes trimestrales del 2017 hasta 2020.

$n = \frac{n}{1+(n/N)}$  se obtuvo como resultado un valor de 30 como muestra significativa, sin embargo, se optó por procesar el total de la población, ya que era menor a los 50.

### **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

Se consideró en los años 2017 al 2020 para la consolidación y procesamiento de datos referentes al tratamiento secundario biológico de las aguas residuales, en el cual se procesó los indicadores registrados en los reportes de laboratorio.

#### **3.3.1. Técnicas.**

- ✓ *Documental*; se dio a través de diversas plataformas en líneas de carácter científico como Scopus, Scielo, Dialnet, entre otros.
  - Fichas bibliográficas (Libros y Artículos Científicos)
  - Memoria descriptiva.
- ✓ *Cuantitativa*; estas técnicas se emplearon para la medición específica de las variables e indicadores.
  - Reportes de laboratorio.
  - Informes trimestrales del proceso.

### **3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.**

El procesamiento de la data establecida estuvo sujeto a la cantidad representativa de 32 reportes de laboratorio referente al proceso, para lo cual se empleó el SPSS y Excel en la determinación de la normalidad a través de la Prueba Shapiro-Wilk, y para la contrastación de las hipótesis la Prueba T.

## CAPITULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de Resultados del tratamiento secundario biológico.

La investigación consideró los reportes de laboratorio de los informes trimestrales de los años 2017 hasta el 2020, ya que la primera variable aborda el “Tratamiento Secundario Biológico” - TSB, el cual se implementó a la PTAR en el último trimestre del año 2019, como una necesidad debido a que en el 2017 la empresa superó los límites permisibles de: DBO, DQO y STS con: 247.3, 275.10 y 287 mg/L para el EF-01 y 1047.89, 286.26 y 300.50 para el EF-05 respectivamente, por ello se propone controlar dichos los parámetros.

Se debe mencionar que en la variable 1 (TBS) se consideraron tres dimensiones (sistema aeróbico, anaeróbico y anóxico dividido en 5 indicadores en total (DBO, STS, DQO, T° y Sulfatos)

A continuación, en la tabla 4 se tiene el promedio de los resultados de los indicadores en los cuatros años, observando efectos favorables, sobre todo en el EF – 01 (descarga de efluente de la planta al canal norte), sin embargo, no ocurre lo mismo en el EF – 05 debido a que está ubicado a 700 m mar adentro, entrando a tallar factores externos a la descarga de la papelera.

*Tabla 4.  
Resumen de resultados de la variable 1 - TSB*

<b>Efluente</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Límite</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>EF-01</b>	S T S mg/l	50	287.00	60.00	61.25	40.75
<b>EF-05</b>	S T S mg/l	50	300.50	252.25	253.75	175.25
<b>EF-01</b>	Sulfatos	1000	174.60	301.75	189.63	161.68
<b>EF-05</b>	Sulfatos	1000	1662.73	1100.49	1054.73	1059.32
<b>EF-01</b>	DQO (mg/L)	100	275.10	443.08	188.93	75.63
<b>EF-05</b>	DQO (mg/L)	100	286.26	131.78	121.01	88.10
<b>EF-01</b>	DBO (mg/L)	30	247.30	143.00	21.60	3.03
<b>EF-05</b>	DBO (mg/L)	30	1047.89	38.75	38.50	39.25
<b>EF-01</b>	T (°C)	Δ 3	24.75	24.75	23.00	25.00
<b>EF-05</b>	T (°C)	Δ 3	26.75	25.00	27.00	27.50

*Nota: Elaboración basada en los registros de los informes de laboratorio.*

Como se expone en la tabla 4 los valores promedio trimestral de los parámetros considerados como indicadores en la variable 1 están dentro de los límites permisibles en el 2020 tomando como referencia los valores de EF-01 por estar directamente conectado a la Planta, existe una marcada reducción respecto al 2019 en los parámetros: 33.5 % STS, 14.7% Sulfatos, 60% DQO y 86% DBO mientras que en T° conserva la tolerancia.

#### 4.1.1. Sistema aeróbico.

Para esta dimensión se consideró como indicadores la DBO y STS, lo cual se explica mediante la figura 1 y 2 que durante en 2017 y 2018 se superaron considerablemente los límites permisibles, reduciendo en el 2019, mejorando considerablemente en el 2020 con valores 2 a 5.1mg/L en el DBO y de 32 a 48 mg/L en STS para el EF - 01, evidenciando la mejora por implementación de la Planta de Tratamiento de Aguas.

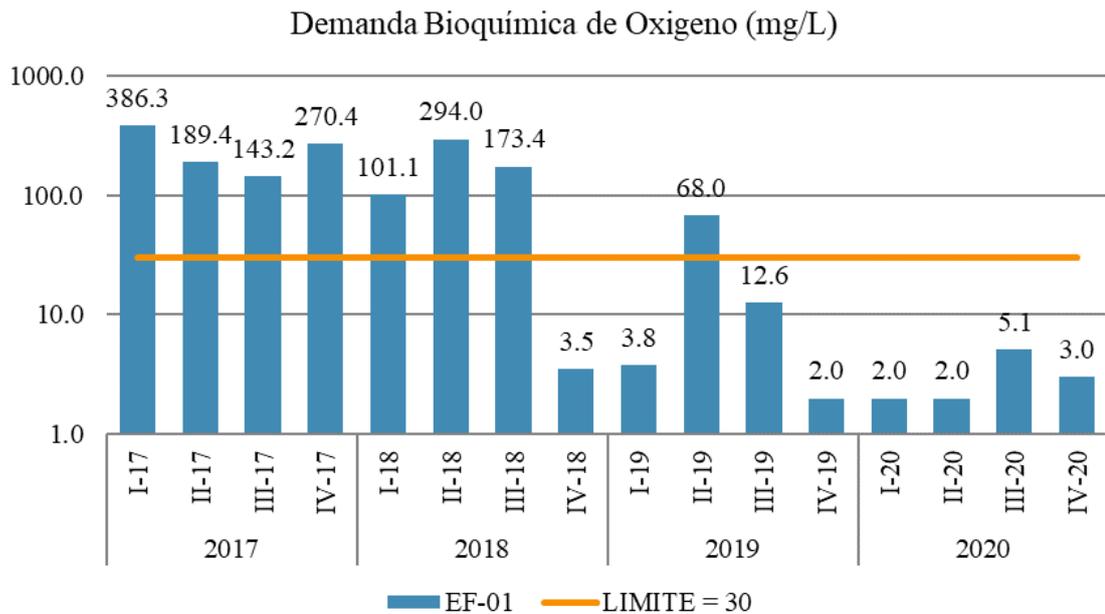


Figura 1. Medición de DBO – EF-01

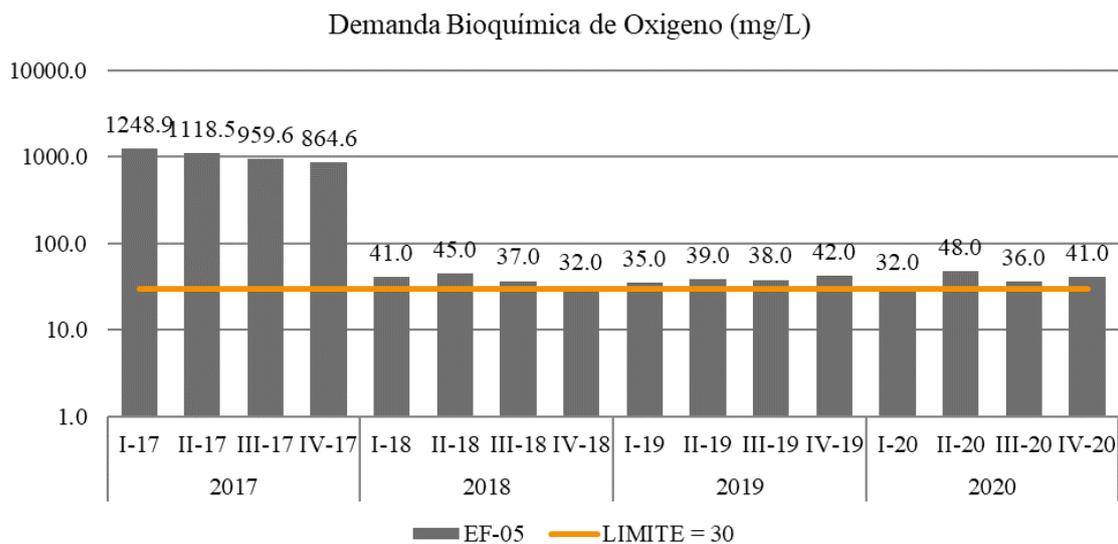


Figura 2. Medición de DBO – EF - 05

En el caso de EF – 05, hubo un descenso de los resultados del 2018 y 2019, aun así, tuvo valores elevados de 32 a 48mg/L en el DBO y de 162 a 195mg/L en STS

en el año 2020, atribuidos a la intervención de factores externos por encontrarse mar a dentro.

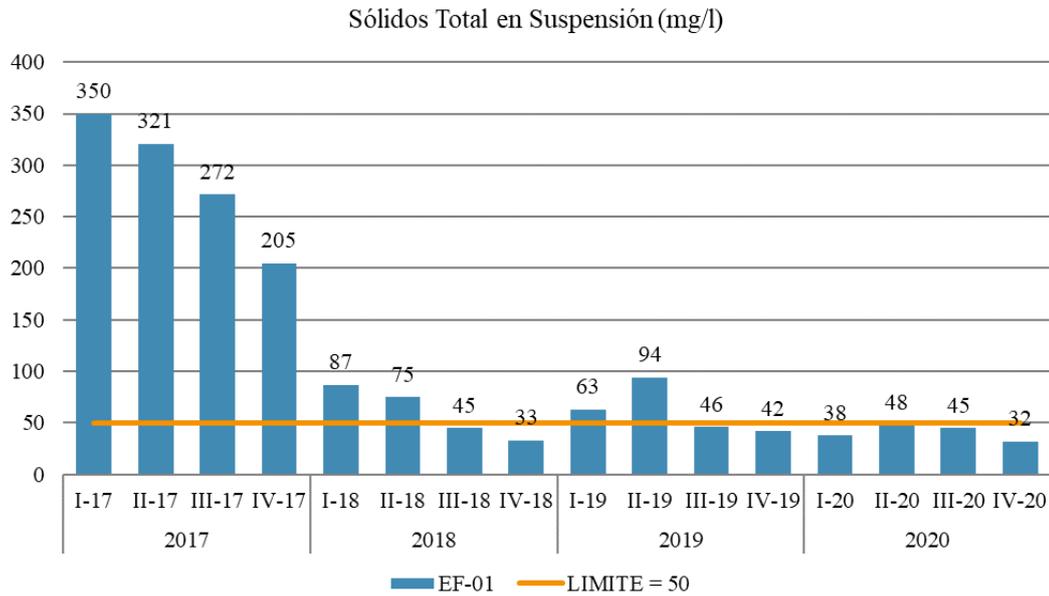


Figura 3. Medición de STS – EF - 01

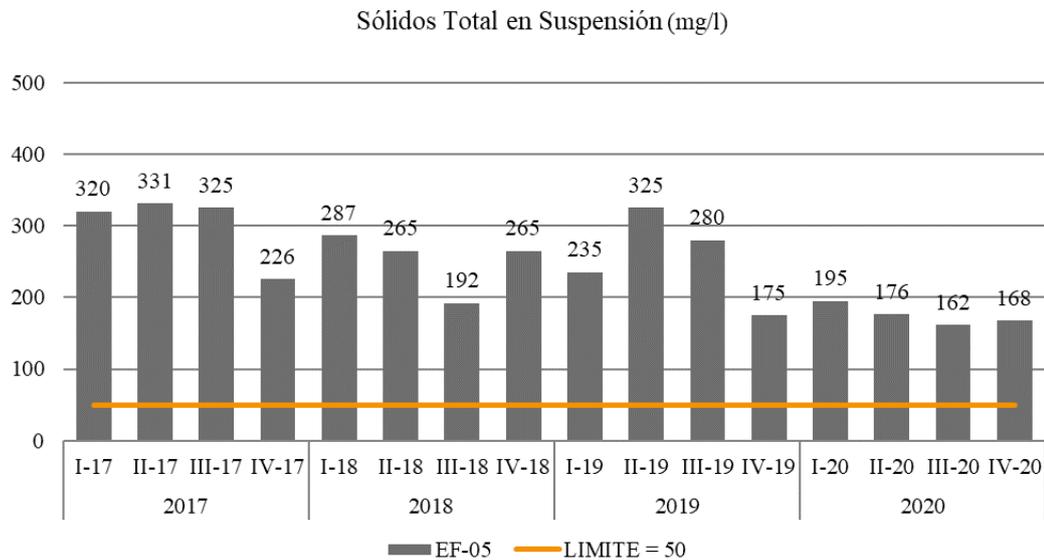


Figura 4. Medición de STS – EF - 05

#### 4.1.2. Sistema anaeróbico

En la segunda dimensión se asignó como indicadores a DQO y Temperatura (°C), para ello se tiene la figura 5 donde el EF - 01 durante el 2017, 2018 y 2019, supero límites permisibles oscilando entre 110.8 a 702.1 mg/L, contrariamente al año 2020 que los valores no pasaron de 91.30mg/L encajando en la norma respecto a la DQO, en el caso del EF-05 lo valores estuvieron entre 106.19 a 341.35 mg/L durante

el 2017 al 2019, evidenciando una mejora para el 2020 con una valoración máxima de 101.2 mg/L, por lo que se puede deducir que se debió a la implementación de PTAR

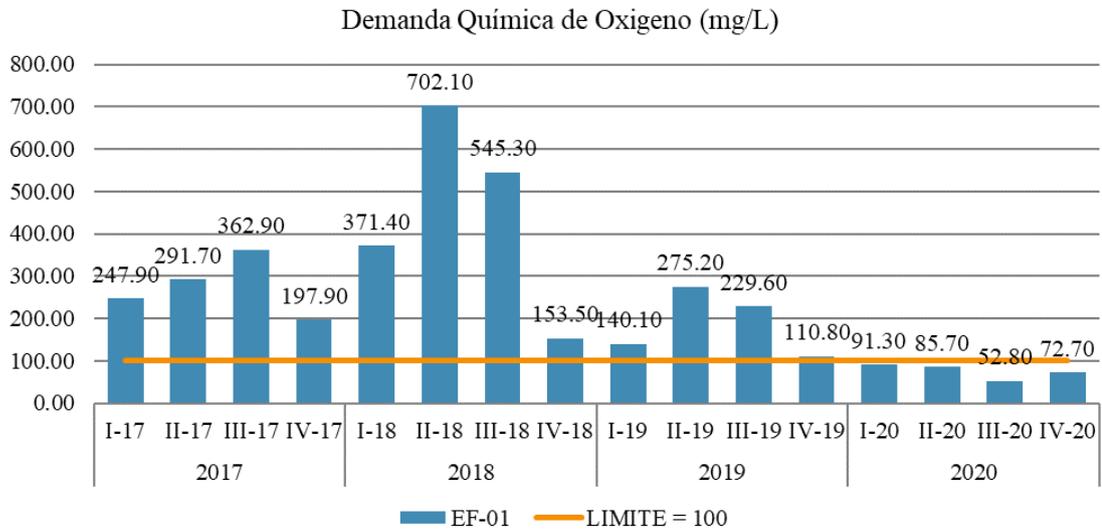


Figura 5. Medición de la DQO – EF-01

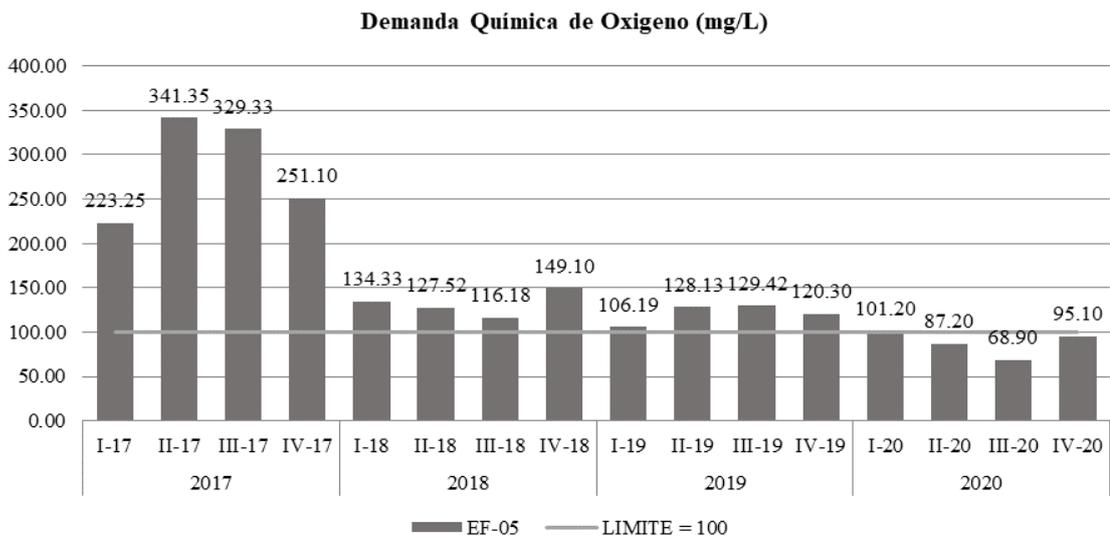


Figura 6. Medición de la DQO – EF-05

En la figura 7 se puede observar que la temperatura se encuentra por debajo del límite permisible durante los 4 años, con un rango de 20°C a 28°C para el EF-01, mientras que para el EF-05 (Figura 8) los valores estuvieron entre 20°C a 32°C, a nivel del estándar de calidad amoniacal la T° esta relaciona proporcionalmente a la medición del pH para la protección de la vida acuática.

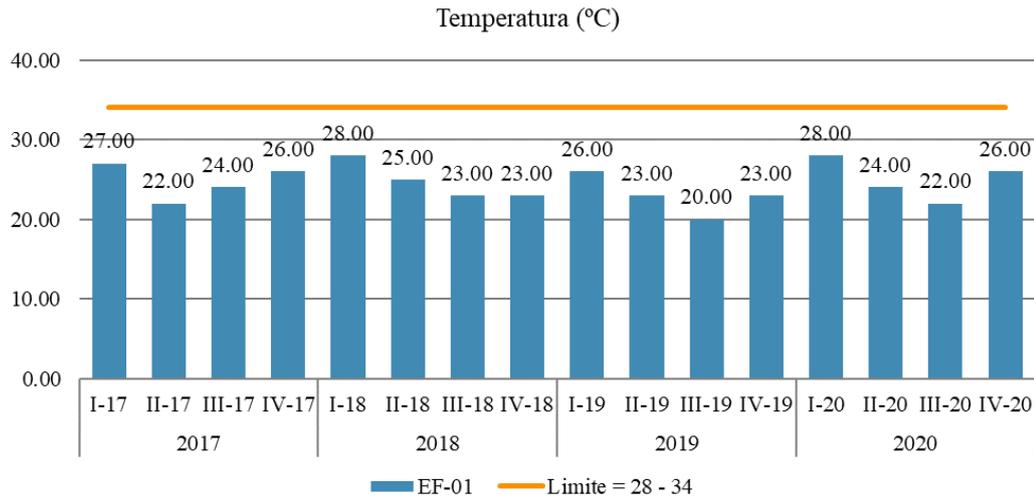


Figura 7. Medición de grados Celsius (T°)- EF-01

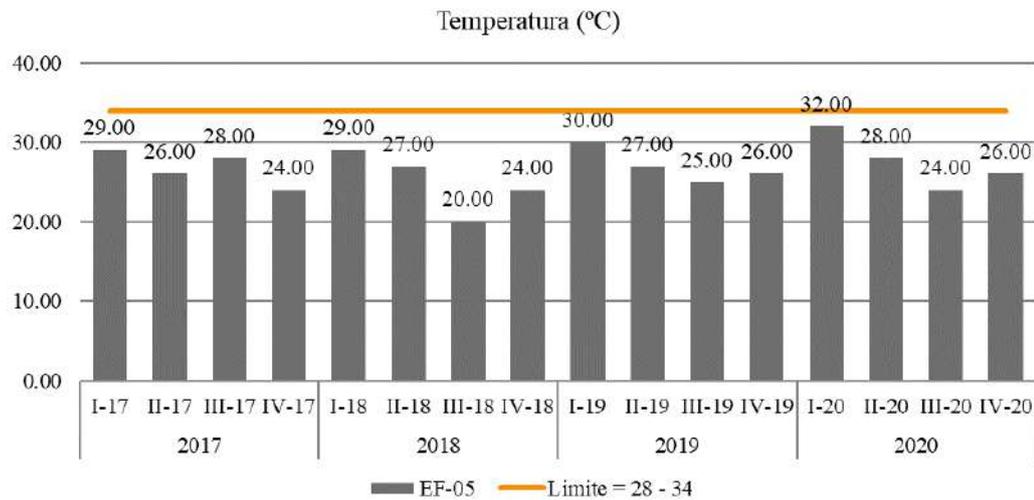


Figura 8. Medición de grados Celsius (T°)- EF-05

#### 4.1.3. Sistema anóxico.

En la última dimensión se estableció como único indicador a los Sulfatos, medición expuesta en la figura 9 para el EF-01, cuyos valores se encontraron por debajo del límite permisible constantemente, sin embargo, es válido mencionar que en el cuarto trimestre del 2018 se obtuvo el mayor valor de sulfatos con 532.9mg/L, volviendo a nivelarse durante el 2019 y 2020 con valores máximos de 230.1 y 230mg/L respectivamente, muy por debajo de los 1000mg/L de sulfatos que establece la norma, en este parámetro no se observa mucha incidencia de la PTAR.

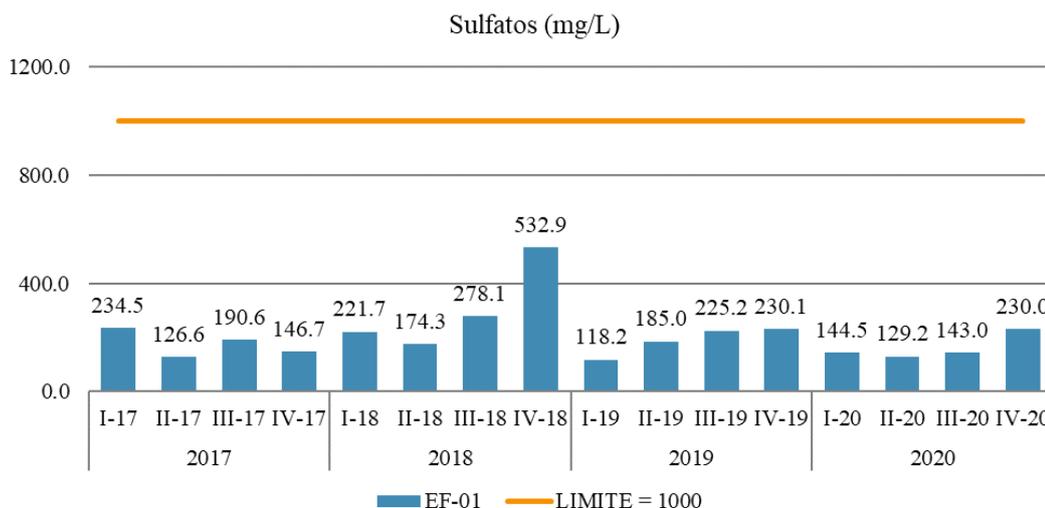


Figura 9. Medición de Sulfatos – EF – 01

La figura 10 representa como en el 2017 los valores superaron el límite permisible por un significativo margen, a diferencia del 2018, 2019 y 2020 donde existe una reducción, conservando una linealidad regular con valores de 1001.9 a 1181.1 mg/ para el EF – 05, aun así, dichos valores siguen superando el límite que marca la norma.

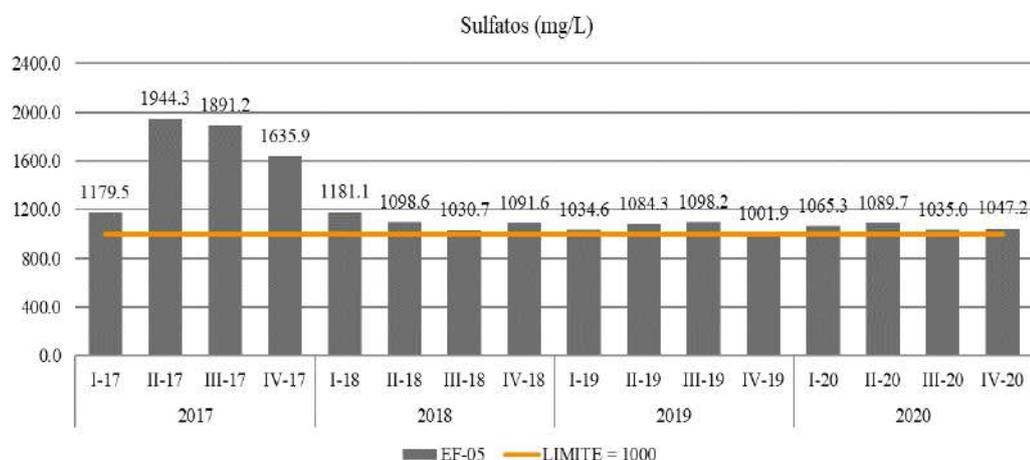


Figura 10. Medición de Sulfatos – EF - 05

#### 4.2. Análisis de resultados de las ARI.

De acuerdo a los reportes de laboratorio de los informes trimestrales de los años 2017 hasta el 2020, esta segunda variable aborda las “Aguas Residuales Industriales” (ARI), la empresa papelera hace uso de 500 m<sup>3</sup> de aguas mensualmente, las cuales con vertidas al mar de forma residual, por lo que se ve obligada a tratarlas antes de ser desechadas, ya en el 2017 se reportaron valoraciones altas en los parámetros que estable la norma, lo mismo

sucedió en el 2018, a pesar de contar con un tratamiento primario de aguas, este no era suficiente, por ello, en el último trimestre del año 2019 implementa el Tratamiento Biológico Secundario, lo cual mejora considerablemente la valoración de los parámetros, sobre todo en el EF-01 que es el punto de descarga directo de la planta de papel al canal norte.

Se debe mencionar que en la variable 2 (ARI) se consideraron tres dimensiones (Características Físicas, Químicas y Biológicas) dividido en 6 indicadores en total (SDT, SS, Aceites y grasas, Plomo, pH y CF)

Mediante la tabla 5 se explica el promedio resultante de los indicadores durante los cuatros años, observando efectos favorables, sobre todo en el EF – 01 (descarga de efluente de la planta al canal norte), sin embargo, no ocurre los mismo en el EF – 05 debido a que está ubicado a 700 m mar adentro, entrado a tallar factores externos a la descarga de la papelera.

Tabla 5.  
Consolidado de los cuatro años la variable 2 - ARI

<b>Efluente</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Limite</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
EF-01	S T D - mg/l	500	626.25	735.00	623.75	398.75
EF-05	S T D - mg/l	500	566.75	578.50	577.00	413.25
EF-01	S S ml/l	15	35.00	21.50	20.00	11.25
EF-05	S S ml/l	15	33.75	25.25	32.75	39.00
EF-01	Aceites y Grasas	10	13.00	17.00	15.00	8.25
EF-05	Aceites y Grasas	10	15.25	15.75	15.25	17.25
EF-01	C F (NMP/100ml)	400	1191.50	1506.75	370.68	1.58
EF-05	C F (NMP/100ml)	400	5125.00	3575.00	2733.75	1110.75
EF-01	Plomo (mg/L)	0.01	0.012	0.013	0.012	0.002
EF-05	Plomo (mg/L)	0.01	0.024	0.032	0.030	0.036
EF-01	pH	5.5 - 8.5	6.93	7.08	7.27	6.82
EF-05	pH	5.5 - 8.5	6.23	6.93	6.76	7.07

*Nota: Elaboración basada en los registros de los informes de laboratorio.*

En la tabla 5 también expone los valores promedio trimestral de los parámetros considerados como indicadores en la variable 2 están dentro de los límites permisibles en el 2020 tomando como referencia los valores de EF-01 por estar directamente conectado a la Planta, existe una marcada reducción en los parámetros: 36.1% STD, 43.8% SS. 45% A y G, 99.6% CF y 85.1% Pb, mientras que en pH conserva la tolerancia.

#### 4.2.1. Características físicas.

Para esta dimensión se consideró como indicadores a los Solidos Totales Disueltos (STD) y a los Solidos Sedimentables (SS), como se puede apreciar en la figura 11 y 13, durante los trimestres del 2017 al 2019, los valores sobrepasaron considerablemente el límite permisible, pero en el 2020 a partir de la instalación del tratamiento biológico secundario disminuyeron los resultados y se tuvieron valores de 310 a 485mg/L en el STD y de 9 a 12 mg/L en SS para el EF - 01

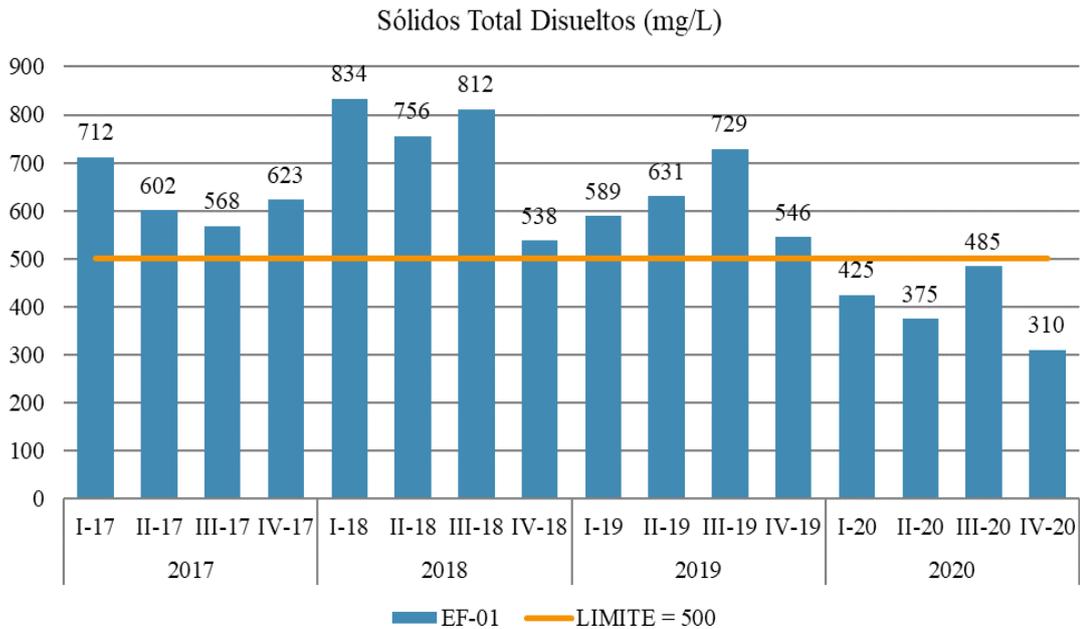


Figura 11. Medición de los STD – EF-01

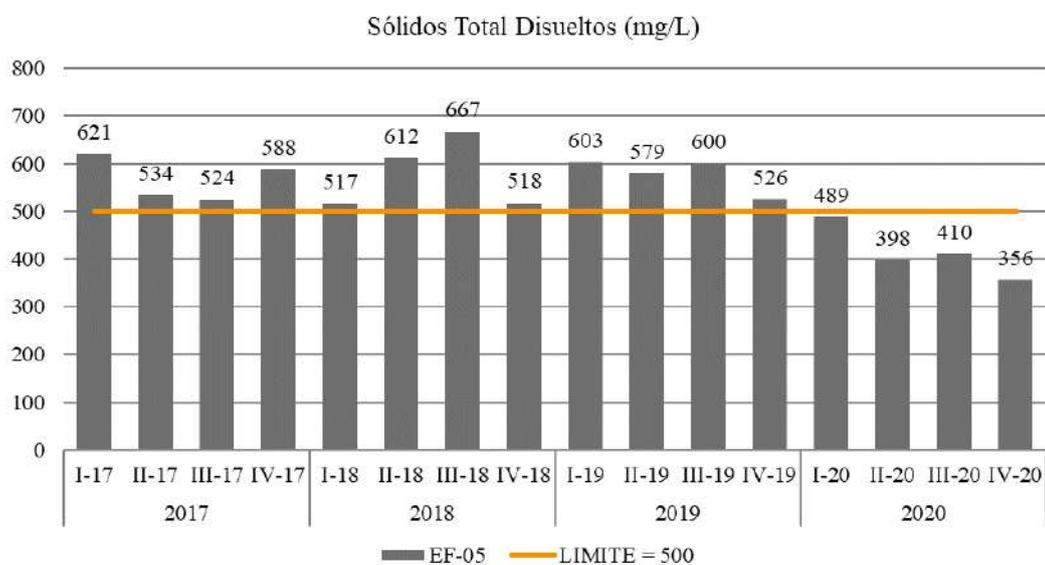


Figura 12. Medición de los STD – EF-05

En la medición del EF – 05, respecto a los STD (figura 12) los valores estuvieron elevados hasta del 2019, observado una variación en el 2020 con un descenso de 356mg/L, caso contrario para los SS (Figura 13) donde se mantuvo resultados superiores a la permisibilidad, atribuidos a los desechos de otras empresas aledañas y la contaminación externa.

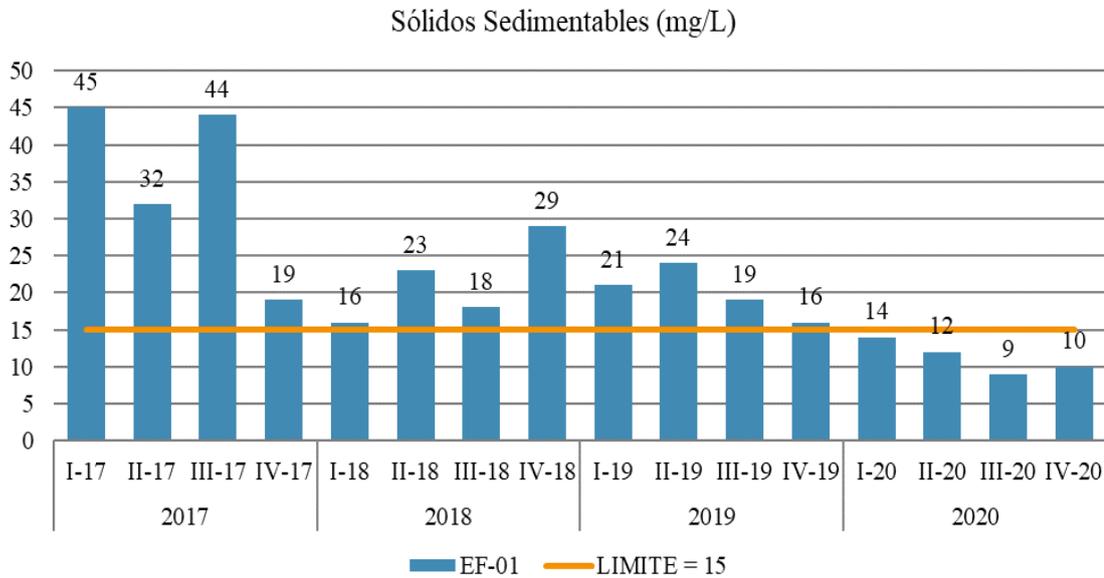


Figura 13. Medición de los SS – EF-01

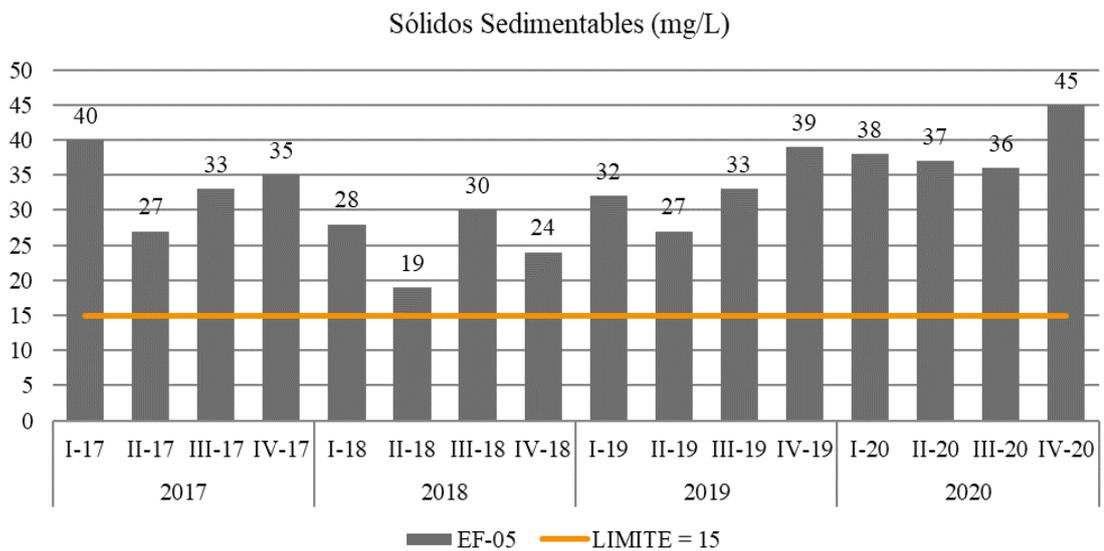


Figura 14. Medición de los SS – EF-05

#### 4.2.2. Características químicas.

En el caso de la dimensión en mención, se utilizó como indicadores al Aceite y grasas (A y G), medición de plomo (Pb), potencial de hidrogeno (pH), como se

observa en la figura 15 y 17 para el EF-01, los valores estuvieron elevados del 2017 al 2019, mientras que en el 2020 los valores se ajustan a lo que exige la norma con valores de 6 a 10 mg/L en A y G y de 0.001 a 0.003mg/L en Pb.

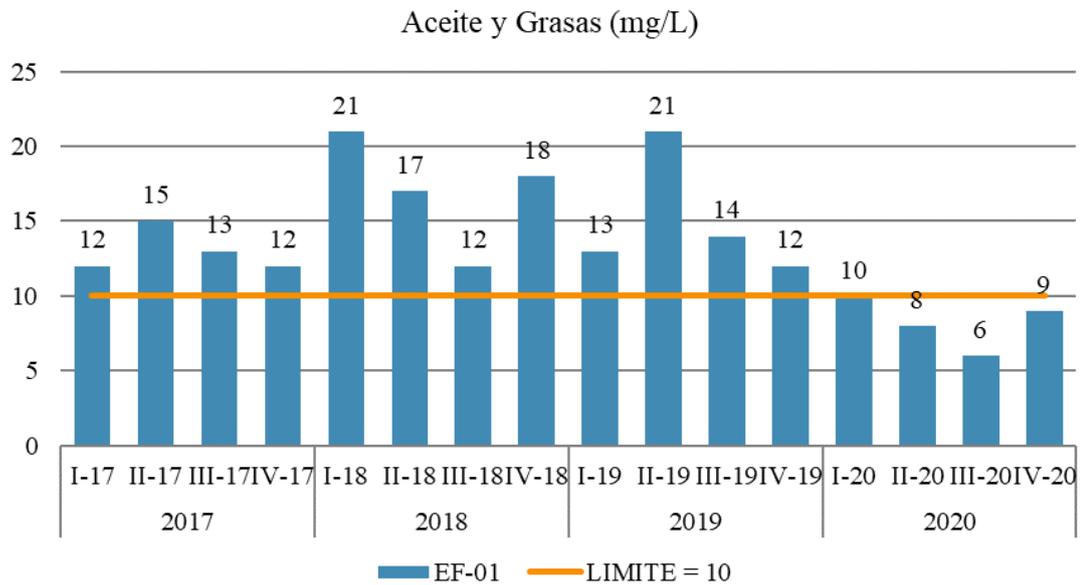


Figura 15. Medición de Aceites y grasas – EF – 01

Para la medición del EF – 5 (figura 16 y 18) de los indicadores de A y G y Pb, los valores no se ajustaron a la norma, todo lo contrario, conservaron patrones altos con valores de 14 a 23mg/L en A y G, y de 0.018 a 0.041mg/L para Pb, referente al 2020.

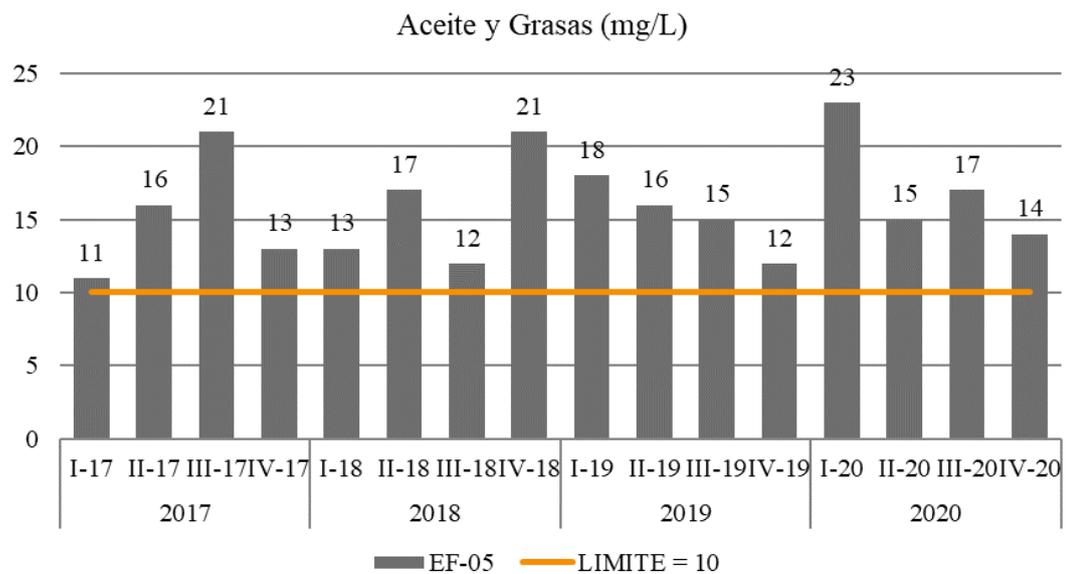


Figura 16. Medición de Aceites y grasas – EF – 05

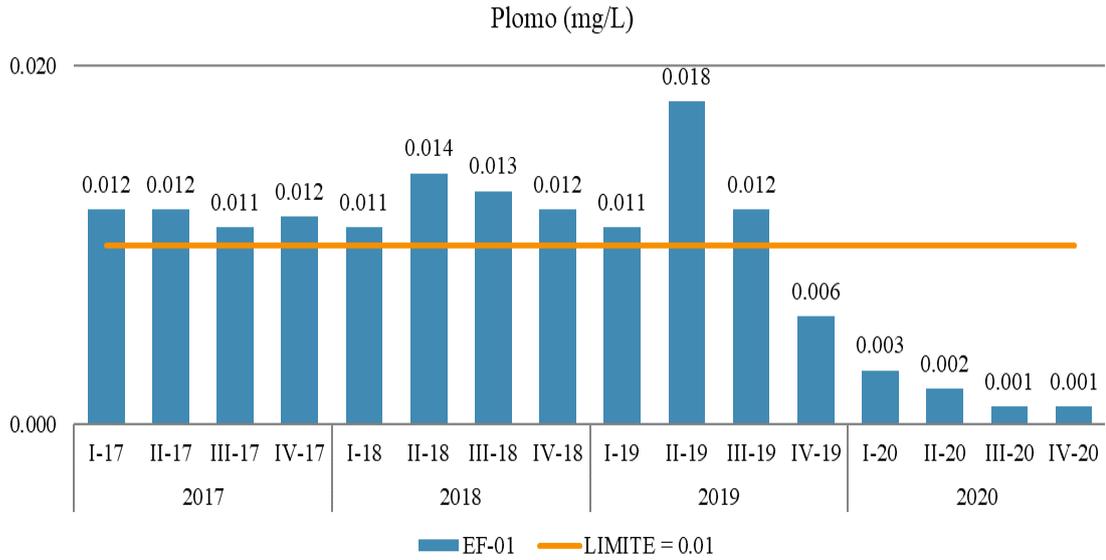


Figura 17. Medición de Plomo – EF – 01

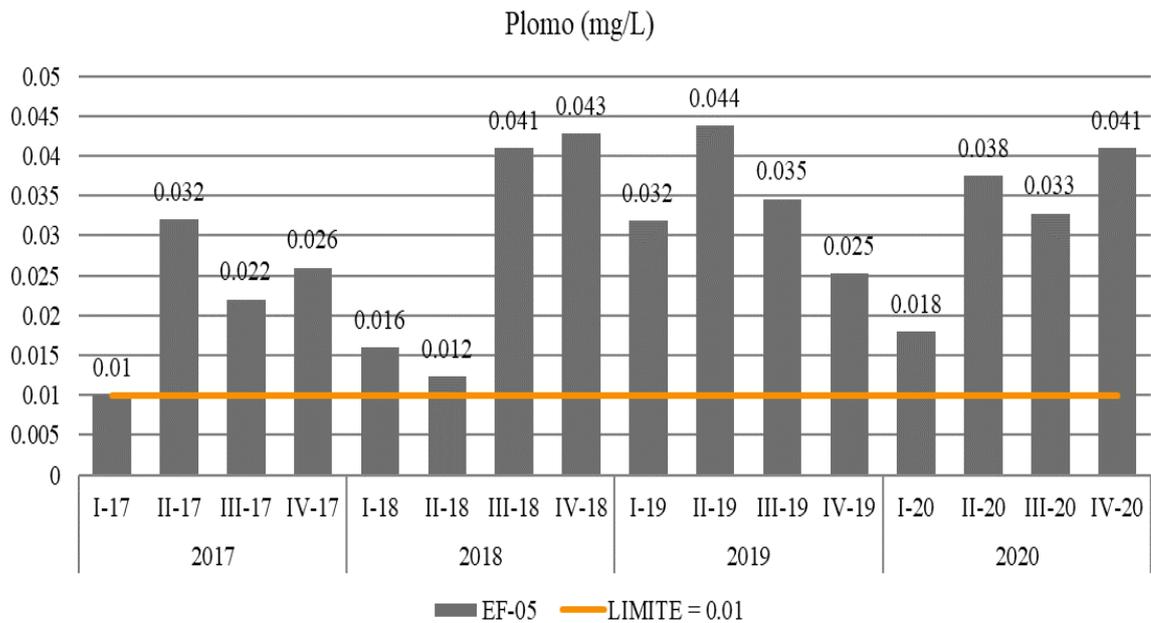


Figura 18. Medición de Plomo – EF – 05

En el caso del pH para el EF – 01 y EF-05, los valores estuvieron por debajo del límite por un pequeño margen, con valores entre 7.89 a 5.99 mg/L. Encontrándose dentro de lo que establece la normativa.

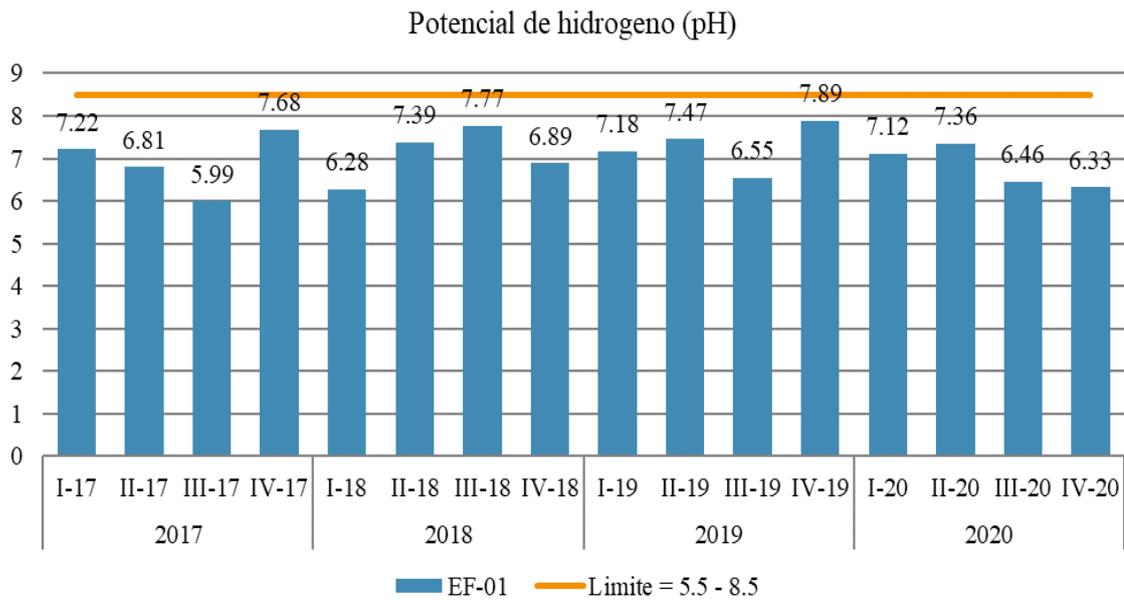


Figura 19. Medición de pH – EF – 01

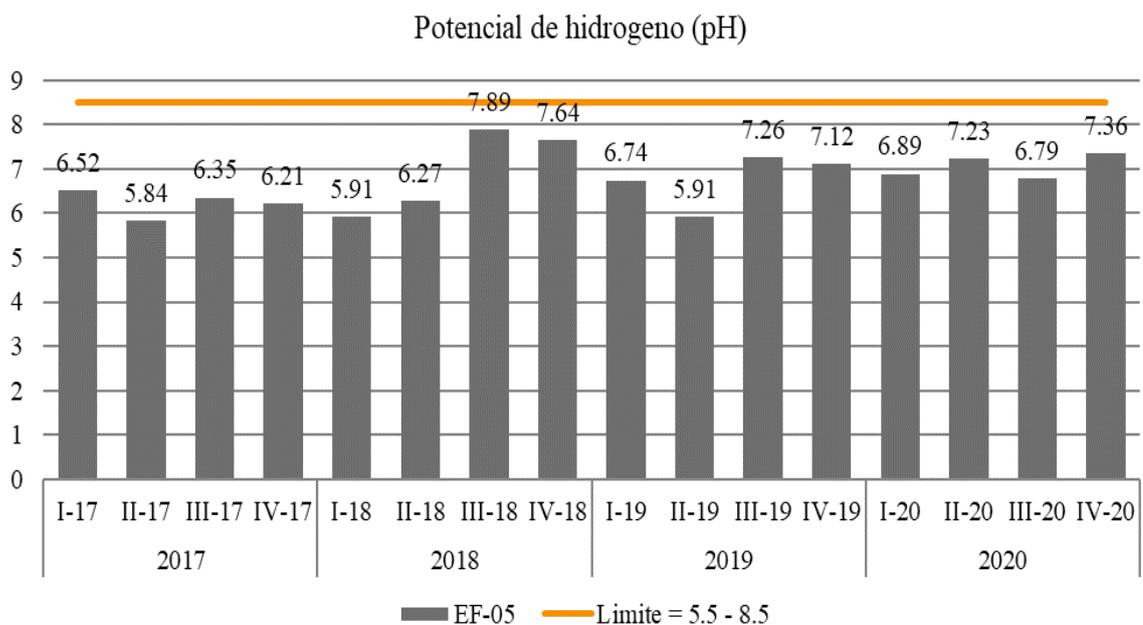


Figura 20. Medición de pH – EF – 05

#### 4.2.3. Características biológicas.

Para la última dimensión se utilizó como único indicador a los Coliformes Fecales (CF), como se observa en la figura 21 en el 2017, 2018 y 2019 los valores sobrepasan el límite permisible, sin embargo, el 2020 los valores se reducen de manera muy significativa permitiéndole encontrarse dentro de los limite en el EF-01.

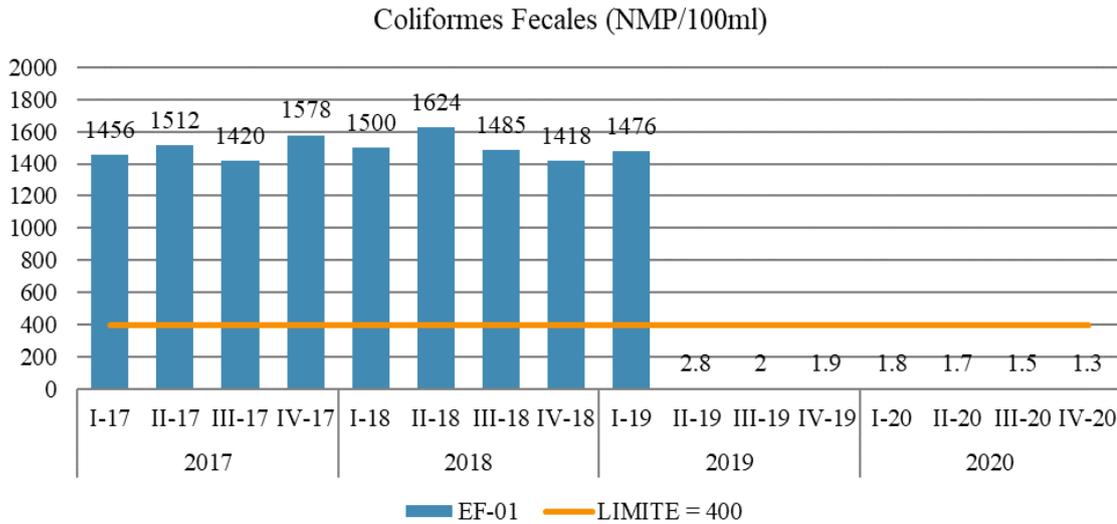


Figura 21. Medición de coliformes fecales - EF – 01

Sin embargo, no ocurrió lo mismo en el EF – 05, ya que si bien es cierto hubo un descenso para el 2020 con valores de 1010 a 1286 NMP/100ml, menores a la de los años anteriores, no se logró alcanzar los límites permisibles, debido a como se mencionó anteriormente, este efluente está ubicado a 700m mar adentro lo que implica que no solo llega la descarga de la planta de papel sino de terceros que se encuentran dentro de la zona costera.

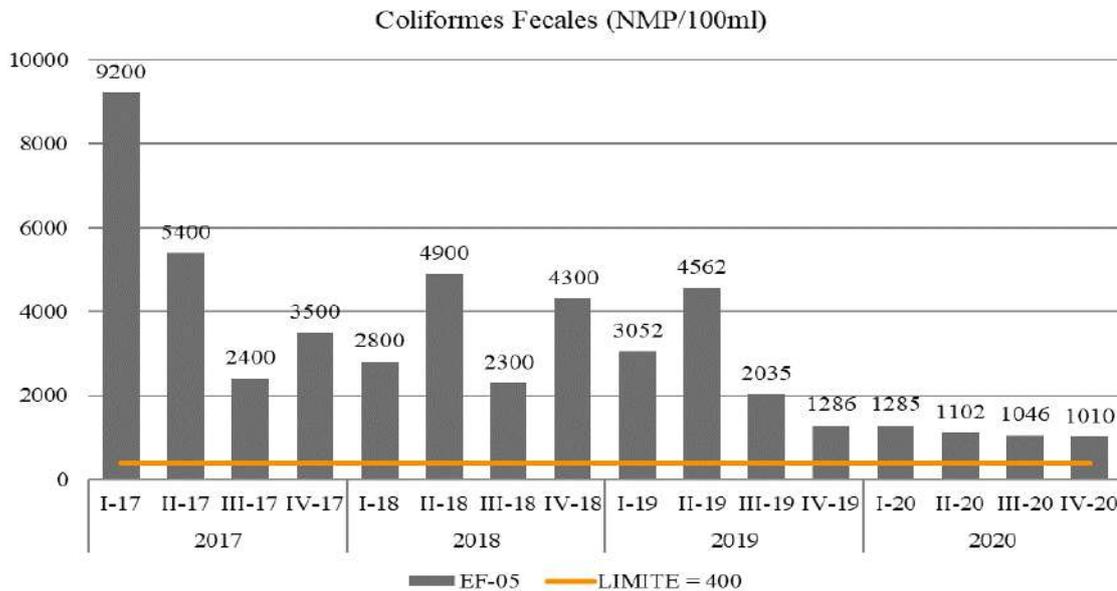


Figura 22. Medición de coliformes fecales - EF – 05

### 4.3. Contrastación de hipótesis.

La investigación planteo hipótesis descriptivas, considerando el promedio de los valores resultantes de los trimestres de 2017 al 2020 de los efluentes 1 y 5 de la empresa papelera, respecto a las dimensiones e indicadores asignados en la tabla 5, para ello se empleó una data de 32 reportes procesadas en SPSS donde se efectuó la prueba de normalidad, en este caso por ser una muestra menor a 50 se empleó Shapiro-Wilk, que revela la dispersión de los datos y significancia según su p-valor, como se aprecia en la siguiente tabla el Sig. es  $< ,001$ , lo que se interpreta como una distribución libre así como el rechazo de la hipótesis nula.

Tabla 6.  
*Prueba de normalidad - Shapiro-Wilk*

	Estadístico	gl	Sig.
Tratamiento secundario biológico	,797	32	$< ,001$
Aguas Residuales Industriales	,730	32	$< ,001$

#### 4.3.1. Hipótesis general.

De acuerdo a la tabla anterior la data corresponde a una distribución no paramétrica, para lo cual se empleó la Prueba T, en la verificación de hipótesis, considerando la valoración los estadísticos descriptivos como es media (M) y desviación estándar (DE).

Tabla 7.  
*Estadísticos descriptivos la hipótesis general*

	N	Media (M)	Desviación estándar (DE)	Media de error estándar
Tratamiento secundario biológico	32	2,41	,499	,088
Aguas Residuales Industriales	32	2,88	,336	,059

La tabla 7 expone una M de 2.41 y 2.88 y una DE de 0.499 y 0.336 para “TBS” y “ARI” respectivamente, y en la tabla 8 se reportó  $t_{(31)} = 27.279$  en “TBS” y un  $t_{(31)} = 48.402$  para “ARI”, y en ambos una significancia de  $p - \text{valor} = < .001$

Entonces según la valoración del sig. ( $p - \text{valor} = 0.001 < 0.05$ ) de la prueba T para las variables, se acepta la hipótesis de la investigación: *H<sub>1</sub>: El tratamiento secundario biológico tiene efectos significativos en las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga, 2020*

Rechazando la hipótesis nula:  $H_0$ : El tratamiento secundario biológico no tiene efectos significativos en las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga, 2020

Tabla 8.  
Prueba de T - hipótesis general

Variables	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Tratamiento secundario biológico	27,279	31	<,001	2,406	2,23	2,59
Aguas Residuales Industriales	48,402	31	<,001	2,875	2,75	3,00

#### 4.3.2. Hipótesis específica.

Al igual que para la hipótesis general se empleó los estadísticos descriptivos y la prueba T, donde se consideró el resultado de la significancia (sig.) para determinar el rechazo (sig.< 0.05) o aceptación (sig.>0.05) de la hipótesis nula.

Tabla 9.  
Estadísticos descriptivo - hipótesis específicas

	N	Media (M)	Desviación estándar (DE)	Media de error estándar
Características Físicas	32	2,88	,336	,059
Características Químicas	32	3,13	,336	,059
Características Biológicas	32	1,78	,420	,074

En los estadísticos descriptivos (tabla 9) se obtuvo los valores de M= 2.88 (Carac. Fís.), 3.13 (Carac. Quím.) y 1.78 (Carac. Bio.); y en la DE = 0.336 (Carac. Fís.), 0.336 (Carac. Quím.) y 0.420 (Carac. Bio.)

Tabla 10.  
Prueba de T – hipótesis específicas

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Características Físicas	48,402	31	<,001	2,875	2,75	3,00
Características Químicas	52,610	31	<,001	3,125	3,00	3,25
Características Biológicas	23,990	31	<,001	1,781	1,63	1,93

La tabla 10 reportó un T observado de  $t_{(31)} = 48.402$  (Carac. Fís.),  $52.610$  (Carac. Quím.) y  $23.90$  (Carac. Bio.), los tres con una significancia de p – valor =  $0.001 < 0.05$ , de

acuerdo con estos resultados se aceptan las tres hipótesis específicas propuestas para la investigación y se rechazan las hipótesis nulas.

**Específica 1:**

*H<sub>i</sub>: El tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización física de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.*

H<sub>0</sub>: El tratamiento secundario biológico no produce efectos significativos en la caracterización física de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.

**Específica 2:**

*H<sub>ii</sub>: El tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización química de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.*

H<sub>0</sub>: El tratamiento secundario biológico no produce efectos significativos en la caracterización química de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.

**Específica 3:**

*H<sub>iii</sub>: El tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización biológica de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.*

H<sub>0</sub>: El tratamiento secundario biológico no produce efectos significativos en la caracterización biológica de las aguas residuales industriales en Papelera Nacional S.A. – Planta Paramonga.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### 5.1. Discusión de resultados.

En este apartado se revisó los resultados de las referencias previas al estudio, para poder realizar comparaciones, similitudes y/o verificaciones sobre la problemática que aborda esta investigación, considerando los efectos significativos de las variables sobre los dimensiones e indicadores.

Bhandari, V.; Gayatari, L. y Ranade, V. (2016), afirma que uso de nuevas tecnologías en el tratamiento de efluentes de ARI puede significar una reducción efectiva en el contenido de DQO y de nitrógeno, sin embargo, se debe considerar la naturaleza del efluente, por ello hablar de la implementación del tratamiento secundario biológico en PTAR marco un antes y después de las actividades de la empresa, puesto que se observó una variación en el registro de dichos parámetros.

Como señala Manu, D. (2018), Zajda, M. y Aleksander-Kwaterczak, U. (2019) la utilización híbrida de un bioreactor con lodo activado anaeróbico/anóxico/óxico, reduce el contenido de DQO, concentración de biomasa, N, P, C entre otros, por la intervención de las membranas microfiltrantes. Tenlong, L. (2019), añade que, para conseguir parámetros óptimos en los efluentes, es necesario pruebas experimentales sin descuidar los factores ambientales sobre todo para la medición de pH, O<sub>2</sub> y la T°. A través de esta investigación se puede afianzar lo que manifiestan los antecesores, ya que en efecto en la empresa papelera durante los años previos a la implementación del bioreactor en la PTAR superaba considerablemente los límites permisibles, variando en el 2020 con una reducción de: 33.5% STS, 14.7% Sulfatos, 60% DQO, 86% DBO, 36.1% STD, 43.8% SS. 45% A y G y 99.6% CF. Resultados que concuerdan con Jiménez, J. (2021) que afirma que usar un biofiltro puede dar una eficiencia de eliminación en 88% DBO, 89% DQO y 70% SS.

Respecto a la referencia nacional se tiene a Blas, A. (2018), quien afirma que la utilización de un sistema de tanque séptico y filtro biológico en la PTAR es eficiente en la obtención resultados permisibles en MO, DBO y SST en el vertimiento de efluentes. En el mismo contexto Castillo, M. y López, J. (2018), Gutiérrez, A. (2019) y Zúñiga, E. (2020), coinciden que el diseño y mejoras en el sistema del PTAR, como lo es, la implementación de un tratamiento biológico secundario contribuye con la reducción de los valores el DBO, CF, DQO, SST, SS. A y G, Sulfuros, entre otros. Es válido, entonces, decir que el tratamiento secundario biológico tiene efectos significativos en las aguas residuales industriales, no obstante, Huarachi, Y. (2020), añade que para obtener estos efectos los equipos deben funcionar eficientemente y estar completos en el sistema de la PTAR.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones.

Se afirma concretamente que la hipótesis planteada fue aceptada y verificada a través de los resultados expuestos anteriormente, la significancia del tratamiento secundario biológico en las aguas residuales industriales vertidas en los efluentes de la planta, fue evidente, ya que los parámetros variaron a partir del último trimestre del 2019 hasta fines del 2020 (33.5 % STS, 14.7% Sulfatos, 60% DQO, 86% DBO, 36.1% STD, 43.8% SS. 45% A y G, 99.6% CF y 85.1% Pb, mientras que la T° y pH estuvieron dentro de la tolerancia. Mediante la Prueba T para la hipótesis ( $t_{(31)} = 27.279$  en “TBS” y un  $t_{(31)} = 48.402$  para “ARI”) y una significancia de  $p\text{-valor} = 0.001 \leq 0.05$ , por ello se rechazó la hipótesis nula.

Al igual que para la hipótesis general se empleó la prueba T, de donde se extrajo los valores del p-valor respecto al  $T_{obs}$  para las hipótesis específicas, en la tabla de resultados se pudo exponer el valor de  $t_{(31)} = 48.402$  (Carac. Fís.), 52.610 (Carac. Quím.) y 23.90 (Carac. Bio.), los tres con una significancia de  $p\text{-valor} = 0.001 < 0.05$ , de acuerdo con ello se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las propuestas en la investigación, en tal sentido se concluye que el *tratamiento secundario biológico produce efectos significativos en la caracterización física, química y biológica de las aguas residuales industriales...*”

De lo mencionado se puede afirmar que el tratamiento secundario biológico tiene efectos significativos en las aguas residuales industriales en la Papelera Nacional S.A, lo cual ha permitido a la empresa continuar con sus operaciones y obtener los permisos por parte de las instituciones del estado, si bien es cierto esta investigación describe un antes y después de las mejoras en la PTAR, permite consolidar los conocimientos a través de un análisis deductivo respaldado en el método científico, lo cual puede ser un antecedente favorable para futuros estudios sobre el medio ambiente, su remediación minimización de agentes contaminantes.

## **6.2.Recomendaciones.**

Con respecto a la investigación se recomienda continuar con la evaluación de los efluentes 1 y 5, debido que sus aguas residuales desembocan en las playas del distrito de Paramonga, ante ese escenario debe de basarse a la Guía sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad y a su vez cumplir con las normas establecidas dispuesto en los ECA para aguas y D.S. N.º 003-2002 (MINAM ) y D.S. N.º 004-2017 (MINAM).

Los reportes deben de realizarse de manera clara y concisa para todos los efluentes considerando que la planta tiene 5 operativos de los cuales para el estudio se consideró los efluentes 1 y 5.

Solicitar semestralmente una evaluación por parte de las instituciones competentes sujetas MINAM, para la verificación del cumplimiento de permisibilidad de los parámetros considerados por la empresa papelera.

## CAPÍTULO VI. FUENTES DE INFORMACIÓN

### 6.1. Fuentes bibliográficas

- Burton, F., & Tchobanoglous, G. (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Díaz, J. (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Fernández, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill.
- Henze, M.; et al. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. Cambridge University Press.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico D.C.: McGRAW-HILL.
- Rangwala. (2016). *Water Supply And Sanitary Engineering* (29.<sup>a</sup> edición ed.). Charotar Publishing House Pvt.
- Rigola, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de Proceso y Residuales*. Barcelona: Marcombo S.A.

### 6.2. Fuentes documentales.

- Bagheri, M. (2021). Removal of heavy metals from industrial wastewater using microbial fuel cell [Eliminación de metales pesados de aguas residuales industriales utilizando Microbial Fuel Cells]. *Tesis de Maestría*. University of Sharjah, Sharjah. Obtenido de <https://dspace.aus.edu/xmlui/bitstream/handle/11073/21595/35.232-2021.48a%20Marzieh%20Bagheri.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bhandari, V., Gayatari, L., & Ranade, V. (2016). Industrial wastewater treatment for fertilizer industry—A case study [Tratamiento de aguas residuales industriales para la industria de fertilizantes: un estudio de caso]. *Desalination and Water Treatment*, 27934-27944. doi:<https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1186399>
- Blas, A. (2018). Determinación y mejoramiento de la eficiencia del sistema de tanque Séptico y filtro biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Jivia - Departamento de Huánuco. *Tesis de titulación*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz. Obtenido de [http://www.repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2350/T033\\_41784239\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2350/T033_41784239_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Castillo, M., & Lopez, J. (2018). Tratamiento del agua residual industrial de la Curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de los valores maximos admisibles. *Tesis de titulacion*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/825/INFORME%20FINAL%20DE%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dewangan, N. (2015). Wastewater treatment in Inverse Fluidization Unit using Algae [Tratamiento de aguas residuales en Unidad de Fluidización Inversa mediante Algas]. *Thesis on Tecnología en Ingeniería Química*. National Institute of Technology, Rourkela. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/80147972.pdf>
- Gutierrez, A. (2019). Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales "San Jose" para su reuso con fines agricolas-Chiclayo-2015. *Tesis para titulacion*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz. Obtenido de [http://www.repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3623/T033\\_43846598\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3623/T033_43846598_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hansson, H. (2014). Treatment of wastewater generated by wood-based dry industries: advanced oxidation processes and electrocoagulation [Tratamiento de aguas residuales generadas por industrias secas a base de madera: procesos de oxidación avanzada y electrocoagulación]. *Thesis Doctoral*. Linnaeus University, Kalmar.
- Horne, G. (1998). Denitrification Kinetics in Anoxic/Aerobic Activated Sludge Systems [Cinética de desnitrificación en sistemas de lodos activados anóxicos/aeróbicos]. *Master of Science in Civil Engineering*. University of Washington. Obtenido de <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA358621.pdf>
- Huarachi, Y. (2020). Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero Municipal de Tacna. *Tesis de Titulacion*. Universidad Privada de Tacna, Tacna. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1527/Huarachi-Nunes-Yannela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jimenez, J. (2021). Evaluación de un biofiltro anaeróbico como tratamiento secundario de aguas residuales urbanas para una planta de tratamiento ubicada en Monteverde. *Tesis de titulacion*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Obtenido de <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2022/04/TFG-JuniorJimenezQ.pdf>
- Justo, A. (2015). Advanced technologies applied to wastewater treatment plant effluents [Tecnologías avanzadas aplicadas a efluentes de plantas de tratamiento de aguas

- residuales]. *Doctoral Thesis*. Universitat de Barcelona. Obtenido de [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/379819/AJL\\_THESIS.pdf;jsessionid=99CB73C133F0A63D7B6F294EE4790E47?sequence=1](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/379819/AJL_THESIS.pdf;jsessionid=99CB73C133F0A63D7B6F294EE4790E47?sequence=1)
- Kumar, P. (2018). Design and Performance Study of a Bench-Scale Biological Wastewater Treatment Plant for a Sea Food Processing Industry [Estudio de Diseño y Funcionamiento de una Planta de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales a Escala de Banco para una Industria]. *Tesis de maestría*. Khulna University of Engineering & Technology, Khulna. Obtenido de <http://dspace.kuet.ac.bd/bitstream/handle/20.500.12228/507/Full%20Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manu, D. (2018). Hybrid biological systems for wastewater treatment [Sistemas biológicos híbridos para el tratamiento de aguas residuales, Mangalore]. *Tesis de doctorado*. National Institute of technology Karnataka, Mangalore. Obtenido de <https://idr.nitk.ac.in/jspui/bitstream/123456789/14088/1/138004CV13F05.pdf>
- Tenlong, L. (2019). Operating and Optimizing the Pilot Wastewater Treatment Plant [Operación y Optimización de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales, Shanghai]. *Tesis de titulación*. Shanghai Polytechnic University, Shanghai. Obtenido de [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/184846/Tenlong\\_Liao.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/184846/Tenlong_Liao.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Zuñiga, E. (2020). Determinación de los sustratos óptimos de diseño de un lombrifiltro como tratamiento secundario de las aguas residuales del Fundo la Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María. *Tesis de titulación*. Universidad Católica de trujillo, Arequipa. Obtenido de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/10200/4G.0031.IA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### 6.3.Fuentes hemerográficas

- Ayob, S., Othman, N., Hamood, W., Sheikn, F., Abu, N., Tahir, M., & Setiadi, E. (2021). A Review on Adsorption of Heavy Metals from Wood-Industrial Wastewater by Oil Palm Waste [Una revisión sobre la adsorción de metales pesados de las aguas residuales de la industria maderera por los desechos de la palma aceitera]. *J. Ecol. Eng.*, 22(3), 249–265. doi:DOI:10.12911/22998993/132854

- Bagherzadeh, F., Mehrani, M., Basirifard, M., & Roostaei, J. (2021). Comparative study on total nitrogen prediction in wastewater treatment plant and effect of various feature selection methods on machine learning algorithms performance [Estudio comparativo sobre predicción de nitrógeno total en plantas de tratamiento de aguas residuales y efecto de varios métodos de selección de características en el rendimiento de algoritmos de aprendizaje automático]. *J. Water Process Eng.*, 41(102033). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102033>
- Bhandary, V., Gayatari, L., & Ranade, V. (2016). Tratamiento de aguas residuales industriales para la industria de fertilizantes: un estudio de caso. *Desalination and Water Treatment*. doi: <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1186399>
- Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., & Sillanpää, M. (2013). An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications [Una descripción general de los métodos de modificación del carbón activado para sus aplicaciones de tratamiento de agua]. *Chem. Eng. J.* 219, 499-511. doi:10.1016/j.cej.2012.12.038.
- Ginebreda, A.; et al. (2010). Environmental risk assessment of pharmaceuticals in rivers: Relationships between hazard indexes and aquatic macroinvertebrate diversity indexes in the Llobregat River (NE Spain) [Evaluación del riesgo ambiental de los productos farmacéuticos en los ríos: relaciones entre los índices de peligrosidad y los índices de diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Llobregat (NE de España)]. *Environ.*, 36(2), 153–162. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.003>.
- Judal, A., Bhadania, A., & Upadhyay, J. (2015). Biological Unit operation for waste water treatment: Aerobic Process [Operación de la Unidad Biológica para el tratamiento de aguas residuales: Proceso Aerobio]. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 3(4), 716-721 . Obtenido de <https://ijari.org/assets/papers/3/4/IJARI-DE-15-12-103.pdf>
- Kalkan, C., Yapsakli, K., Mertoglu, B., Tufan, D., & Saatci, A. (2011). Evaluation of Biological Activated Carbon (BAC) process in wastewater treatment secondary effluent for reclamation purposes [Evaluación del proceso de carbón activado biológico (BAC) en efluentes secundarios de tratamiento de aguas residuales con fines de recuperación]. *Desalination*, 266–273. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.060>

- Li, C., Maqbool, T., Kang, H., & Zhenghus, Z. (2022). In-Situ Sludge Reduction in Membrane-Controlled Anoxic-Oxic-Anoxic Bioreactor: Performance and Mechanism [Reducción de lodos in situ en biorreactor anóxico-óxico-anóxico controlado por membrana: rendimiento y mecanismo]. *Membranes*, 12(659), 2 - 17. doi:<https://doi.org/10.3390/membranes12070659>
- Martínez, R., Vela, N., Aatik, A., Murray, E., Roche, P., & Navarro, J. (2020). On the Use of an IoT Integrated System for Water Quality Monitoring and Management in Wastewater Treatment Plants [Sobre el Uso de un Sistema Integrado IoT para el Monitoreo y Gestión de la Calidad del Agua en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales]. *Water*, 12(4). doi:<https://doi.org/10.3390/w12041096>
- Niemi, R., Heiskanen, I., Heine, R., & Rapala, J. (2009). Previously uncultured  $\beta$ -Proteobacteria dominate in biologically active granular activated carbon (BAC) filters [Las  $\beta$ -proteobacterias previamente no cultivadas dominan en los filtros de carbón activado granular (CAG) biológicamente activos]. *Water Res*, 5075–5086.
- Oller, I., Sánchez, S., & Malato, J. (2011). Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination —A review. *Science of The Total Environment*, 409(20), 4141-4166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.061>
- Rahmat, S.; et al. (2022). Prediction of Wastewater Treatment Plant Performance Using Multivariate Statistical Analysis: A Case Study of a Regional Sewage Treatment Plant in Melaka, Malaysia [Predicción del rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante análisis estadístico multivariable: un estudio de caso de una planta regional de tratamiento de aguas residuales en Melaka, Malasia.]. *Water*, 14(3297), 1-16. doi:<https://doi.org/10.3390/w14203297>
- Shi, H.-c. (2002). Industrial wastewater-types, amounts and effects [Aguas residuales industriales: tipos, cantidades y efectos]. *Encyclopedia of Life Support Systems, I*, 191-203. Obtenido de <https://www.eolss.net/sample-chapters/c09/e4-11-02-02.pdf>
- Simpson, D. (2008). Biofilm processes in biologically active carbon water purification [Procesos de biopelícula en la purificación de agua con carbón biológicamente activo.]. *Water Res*. 42, 2839–2848. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.02.025>
- Stewart, H., Wolfe, R., & Means, E. (1990). Assessment of the bacteriological activity associated with granular activated carbon treatment of drinking water [Evaluación

- de la actividad bacteriológica asociada al tratamiento de agua potable con carbón activado granular]. *Appl. Environ Microbiol*, 3822–3829.
- Teijon, G., Candela, L., Tamoh, K., Molina, A., & Fernandez, A. (2010). Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain) [Presencia de contaminantes emergentes, sustancias prioritarias (2008/105/CE) y metales pesados en aguas residuales tratadas y aguas subterráneas en la planta de Depurbaix (Barcelona, España)]. *Sci. Total Environ*, 408, 3584–3595.  
doi:doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.041
- Urfer, D., & Huck, P. (2001). Measurement of biomass activity in drinking water biofilters using a respirometric method [Medida de la actividad de la biomasa en biofiltros de agua potable mediante un método respirométrico]. *Water Res.*, 1469–1477.  
doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00405-X.
- Velten, S., Boller, M., Köster, O., Helbing, J., Weilenmann, U., & Hammes, F. (2011). Development of biomass in a drinking water granular active carbon (GAC) filte [ Desarrollo de biomasa en un filtro de carbón activo granular (CAG) de agua potable.]. *Water Res.* 45, 6347–6354. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.017.
- Velten, S., Hammes, F., Boller, M., & Egli, T. (2007). Rapid and direct estimation of active biomass on granular activated carbon through adenosine tri-phosphate (ATP) determination [Estimación rápida y directa de biomasa activa en carbón activado granular mediante la determinación de trifosfato de adenosina (DTA)]. *Water Res*, 1973–1983.
- Zajda, M., & Aleksander-Kwaterczak, U. (2019). Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry – an Overview [Métodos de tratamiento de aguas residuales para efluentes de la industria de la confitería: una descripción general]. *Journal of Ecological Engineering*, 293-304.  
doi:https://doi.org/10.12911/22998993/112557

#### 6.4.Fuentes electrónicas

- Architectural Institute of Japan. (2010). *Design recommendation for storage tanks and their supports with emphasis on seismic design*. Obtenido de <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2011/storagetanks2010edition.pdf>

- Curtin, K., Duerre, S., Fitzpatrick, B., & Meyer, P. (2011). *Biological Nutrient Removal*. Minnesota: Minnesota Pollution Control. Obtenido de <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-wwtp8-21.pdf>
- Guyer, P. (2011). *Introduction to Secondary Wastewater Treatment*. Continuing Education and Development, Inc. Obtenido de <https://www.cedengineering.com/userfiles/An%20Introduction%20to%20Secondary%20Wastewater%20Treatment%20R1.pdf>
- Henze, M.; Loosdrecht, M.; Ekama, G.; Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. Cambridge University Press. doi:DOI: <https://doi.org/10.2166/9781780401867>
- INEI. (2021). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2021*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1827/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1827/libro.pdf)
- Sperling, M. (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal [Características, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales]. En *Biological Wastewater Treatment Series*. Brazil: IWA Publishing. Obtenido de <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402086.pdf>
- UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021*. Francia: UNESCO. Obtenido de <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es/water-for-environment>

## **ANEXOS**

## INFORME DE ENSAYO N° 198113 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : PAPELERA NACIONAL S.A.  
 Dirección : Jr. Luisa Beeusejour 2450 - Urb. Chaca Rios Norte  
 Solicitado Por : Ing. Diana Rodriguez  
 Referencia : Colización N° 4533-10  
 Proyecto : Monitoreo de efluentes industrial  
 Procedencia : Paramonga  
 Muestra Realizado Por : EL CLIENTE  
 Cantidad de Muestra : 1  
 Producto : Agua Residual  
 Fecha de Recepción : 11/12/2019  
 Fecha de Ensayo : 11/12/2019 al 18/12/2019  
 Fecha de Emisión : 18/12/2019

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

### I. Resultados

Código de Laboratorio	190113-01
Código de Cliente	EF - 01 P
Fecha de Muestra	11/12/2019
Hora de Muestra (H)	15:00
Tipo de Producto	Agua residual

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultado
Microbiológico			
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.0	15.3

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método. \* = Menor que el L.C.M., \*\* = L.D.M. indicado, "N/A" = No Analizado.

### II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Demanda Química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 522 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method

NOTAS: \*Método Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017

  
 Quim. Alma Vargas C.  
 Supervisor de Laboratorio Inorgánico  
 C.C. 0 10\* 574

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.

Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto.

El tiempo de validez de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.

El tiempo de validez del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 6 años.

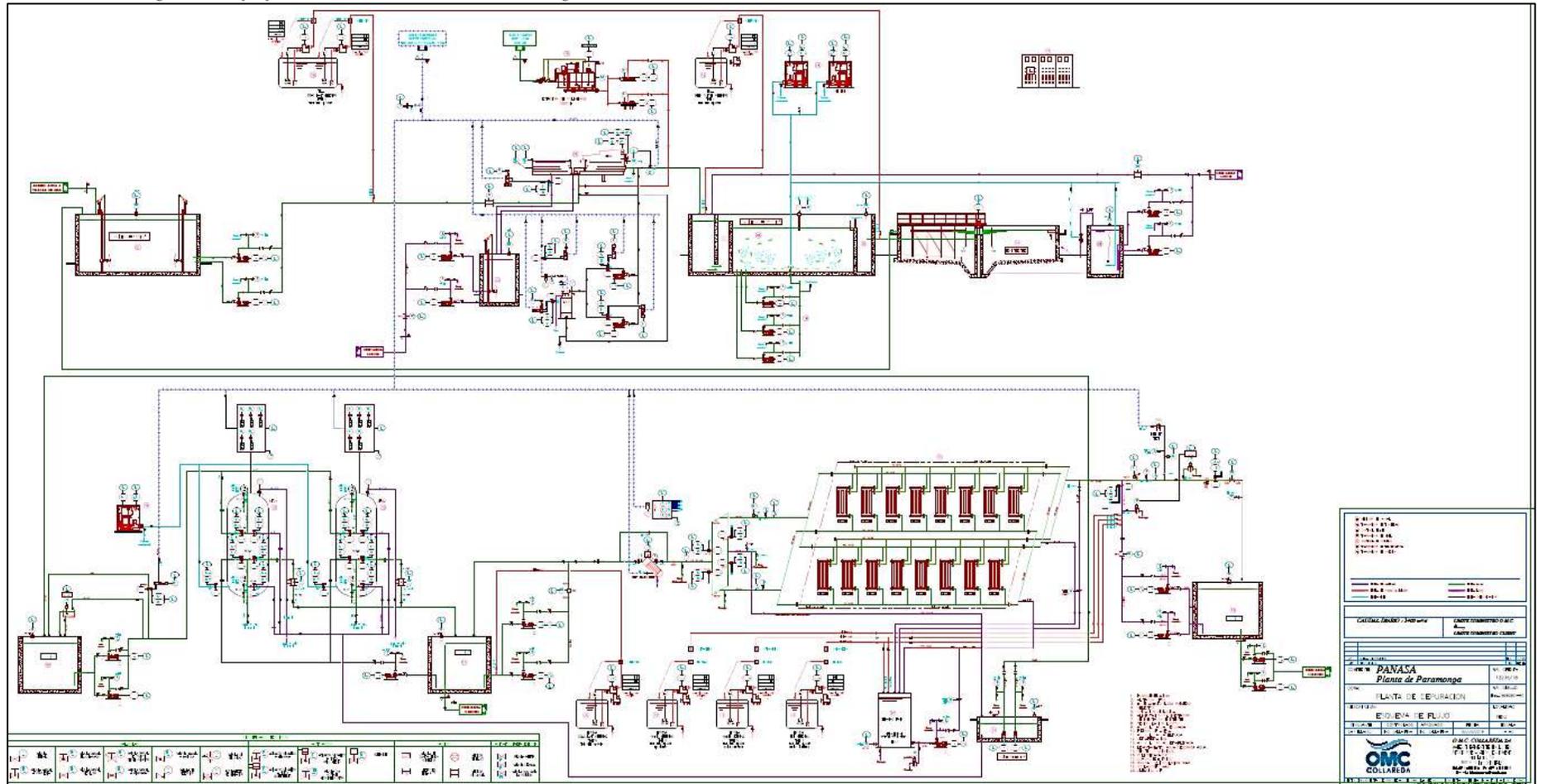
El tiempo de preservación de la muestra está en función a lo establecido en los métodos consultados de ingreso y rigi desde la toma de muestra.

Queda prohibida la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

— FIN DEL INFORME —



Anexo 4. Diagrama de flujo de Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial



Anexo 5. Consolidado de los reportes de los informes trimestrales del 2017 al 2020.

EFLUENTE	PARAMETROS	LIMITE	2017				2018				2019				2020			
			I-17	II-17	III-17	IV-17	I-18	II-18	III-18	IV-18	I-19	II-19	III-19	IV-19	I-20	II-20	III-20	IV-20
EF-01	S T D - mg/l	500	712	602	568	623	834	756	812	538	589	631	729	546	425	375	485	310
EF-05	S T D - mg/l	500	621	534	524	588	517	612	667	518	603	579	600	526	489	398	410	356
EF-01	S T S mg/l	50	350	321	272	205	87	75	45	33	63	94	46	42	38	48	45	32
EF-05	S T S mg/l	50	320	331	325	226	287	265	192	265	235	325	280	175	195	176	162	168
EF-01	S S ml/l	15	45	32	44	19	16	23	18	29	21	24	19	16	14	12	9	10
EF-05	S S ml/l	15	40	27	33	35	28	19	30	24	32	27	33	39	38	37	36	45
EF-01	Aceites y Grasas	10	12.0	15.0	13.0	12.0	21.0	17.0	12.0	18.0	13.0	21.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0	9.0
EF-05	Aceites y Grasas	10	11.0	16.0	21.0	13.0	13.0	17.0	12.0	21.0	18.0	16.0	15.0	12.0	23.0	15.0	17.0	14.0
EF-01	Sulfatos	1000	234.5	126.6	190.6	146.7	221.7	174.3	278.1	532.9	118.2	185.0	225.2	230.1	144.5	129.2	143.0	230.0
EF-05	Sulfatos	1000	1180	1944	1891	1636	1181	1099	1031	1092	1035	1084	1098	1002	1065	1090	1035	1047
EF-01	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	100	248	292	363	198	371	702	545	154	140	275	230	111	91	86	53	73
EF-05	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	100	223	341	329	251	134	128	116	149	106	128	129	120	101	87	69	95
EF-01	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	30	386.3	189.4	143.2	270.4	101.1	294.0	173.4	3.5	3.8	68.0	12.6	2.0	2.0	2.0	5.1	3.0
EF-05	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	30	1249	1118	960	865	41	45	37	32	35	39	38	42	32	48	36	41
EF-01	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	400	1456	1512	920	878	1500	1624	1485	1418	1476	2.8	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5	1.3
EF-05	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	400	9200	5400	2400	3500	2800	4900	2300	4300	3052	4562	2035	1286	1285	1102	1046	1010
EF-01	Plomo (mg/L)	0.01	0.012	0.012	0.011	0.012	0.011	0.014	0.013	0.012	0.011	0.018	0.012	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001
EF-05	Plomo (mg/L)	0.01	0.032	0.022	0.026	0.016	0.012	0.041	0.043	0.032	0.044	0.035	0.025	0.018	0.038	0.033	0.041	0.034
EF-01	Potencial de Hidrogeno (pH)	5.5 - 8.5	7.22	6.81	5.99	7.68	6.28	7.39	7.77	6.89	7.18	7.47	6.55	7.89	7.12	7.36	6.46	6.33
EF-05	Potencial de Hidrogeno (pH)	5.5 - 8.5	6.52	5.84	6.35	6.21	5.91	6.27	7.89	7.64	6.74	5.91	7.26	7.12	6.89	7.23	6.79	7.36
EF-01	Temperatura (°C)	Δ 3	27	22	24	26	28	25	23	23	26	23	20	23	28	24	22	26
EF-05	Temperatura (°C)	Δ 3	29	26	28	24	29	27	20	24	30	27	25	26	32	28	24	26

Anexo 6. Promedios anuales de los parámetros evaluados.

Efluente	Parámetros	Limite	2017	2018	2019	2020	% Reducc
EF-01	S T D - mg/l	500	626.25	735.00	623.75	398.75	36.1
EF-05	S T D - mg/l	500	566.75	578.50	577.00	413.25	28.4
EF-01	S T S mg/l	50	287.00	60.00	61.25	40.75	33.5
EF-05	S T S mg/l	50	300.50	252.25	253.75	175.25	30.9
EF-01	S S ml/l	15	35.00	21.50	20.00	11.25	43.8
EF-05	S S ml/l	15	33.75	25.25	32.75	39.00	-19.1
EF-01	Aceites y Grasas	10	13.00	17.00	15.00	8.25	45.0
EF-05	Aceites y Grasas	10	15.25	15.75	15.25	17.25	-13.1
EF-01	Sulfatos	1000	174.60	301.75	189.63	161.68	14.7
EF-05	Sulfatos	1000	1662.73	1100.49	1054.73	1059.32	-0.4
EF-01	DQO (mg/L)	100	275.10	443.08	188.93	75.63	60.0
EF-05	DQO (mg/L)	100	286.26	131.78	121.01	88.10	27.2
EF-01	DBO (mg/L)	30	247.30	143.00	21.60	3.03	86.0
EF-05	DBO (mg/L)	30	1047.89	38.75	38.50	39.25	-1.9
EF-01	C F (NMP/100ml)	400	1191.50	1506.75	370.68	1.58	99.6
EF-05	C F (NMP/100ml)	400	5125.00	3575.00	2733.75	1110.75	59.4
EF-01	Plomo (mg/L)	0.01	0.012	0.013	0.012	0.002	85.1
EF-05	Plomo (mg/L)	0.01	0.024	0.032	0.030	0.036	-19.5
EF-01	pH	5.5 - 8.5	6.93	7.08	7.27	6.82	6.3
EF-05	pH	5.5 - 8.5	6.23	6.93	6.76	7.07	-4.6
EF-01	T (°C)	Δ 3	24.75	24.75	23.00	25.00	-8.7
EF-05	T (°C)	Δ 3	26.75	25.00	27.00	27.50	-1.9