

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA



“CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE UNA INDUSTRIA PESQUERA DE CONSUMO HUMANO DIRECTO Y SU GRADO DE CUMPLIMIENTO CON LAS NORMAS VIGENTES (2014-2016)”

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO PESQUERO

NYA XIMENA LUJAN CARBAJAL

LIMA-PERÚ

2019

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA

**“CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE UNA INDUSTRIA
PESQUERA DE CONSUMO HUMANO DIRECTO Y SU GRADO DE
CUMPLIMIENTO CON LAS NORMAS VIGENTES (2014-2016)”**

Presentada por

Nya Ximena Lujan Carbajal

Trabajo Académico para optar el Título Profesional de:

INGENIERO PESQUERO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

M. Eng. María Miglio Toledo
PRESIDENTE

M. Sc. Luis Lorenzo Carillo La Rosa
MIEMBRO

Dr. Luis Alfredo Icochea Salas
MIEMBRO

M.Sc. Arcadio Henry Orrego Albañil
ASESOR

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

Se lo dedico al forjador de mi camino, a mi padre celestial, a mi madre, la persona que siempre me da fuerzas y me levanta de mi continuo tropiezo y a mi padre por su apoyo y amor permanente.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------|--|
| Índice General | |
| Índice de Tablas | |
| Índice de Figuras | |
| Índice de Anexos | |
| Resumen | |

| | | |
|-------|---|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LA LITERATURA | 3 |
| 2.1. | INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN LA GESTIÓN DE..... | 3 |
| 2.1.1 | OEFA..... | 3 |
| 2.1.2 | ANA | 3 |
| 2.1.3 | MINAM..... | 4 |
| 2.1.4 | PRODUCE | 4 |
| 2.2 | MARCO LEGAL..... | 4 |
| 2.2.1 | De los Límites Máximos Permisibles..... | 4 |
| 2.2.2 | Del protocolo de monitoreo..... | 9 |
| 2.2.3 | De la obligatoriedad de tratar aguas residuales | 9 |
| 2.3 | PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN EL SECTOR PESQUERO DE CHD..... | 10 |
| 2.3.1 | Caracterización de los efluentes | 10 |
| 2.3.2 | Pre-Tratamiento | 12 |
| 2.3.3 | Tratamiento físico..... | 13 |
| 2.3.4 | Tratamiento químico..... | 16 |
| 2.3.5 | Tratamiento biológico..... | 17 |
| III. | METODOLOGÍA..... | 20 |
| 3.1 | Ubicación | 20 |
| 3.2 | Características de la Empresa y Tratamientos de efluentes | 21 |
| 3.3 | Materiales utilizados | 26 |
| 3.4 | Metodología | 26 |
| 3.4.1 | Parámetros de calidad de efluentes..... | 26 |
| 3.4.2 | Puntos de monitoreo | 27 |
| 3.4.3 | Procesamiento de datos | 27 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIONES | 30 |
| 4.1 | Análisis de datos de los monitoreos de efluentes por Boxplot | 31 |
| 4.2 | Variación temporal de los parámetros | 34 |
| 4.3 | Cumplimiento de los LMP de los monitoreos de efluentes | 39 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.4 | Eficiencia de remoción de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales... | 45 |
| V. | CONCLUSIONES | 49 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 50 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |
| VIII. | ANEXO | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|---------------|
| Tabla 1: Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE..... | 6 |
| Tabla 2: LMP para Efluentes de la Industria Pesquera de Consumo Humano Directo según R.M. N°178-2014-PRODUCE..... | 7 |
| Tabla 3: LMP para efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto. D.S. N° 010- 2018-.MINAM..... | 8 |
| Tabla 4: Norma referencial de Ecuador para descarga de efluentes mediante emisores submarinos | 8 |
| Tabla 5: Eficiencia de remoción de contaminantes de efluentes de las industrias pesqueras según las tecnologías de tratamiento utilizadas..... | 19 |
| Tabla 6: Etapas del proceso de congelado y sus aspectos ambientales..... | 21 |
| Tabla 7: Efluentes industriales generados por etapas..... | 22 |
| Tabla 8: Efluentes industriales y domésticos..... | 22 |
| Tabla 9: Puntos de monitoreo..... | 27 |
| Tabla 10: Número de datos de cada parámetro durante el periodo de estudio (2014-2016)..... | 31 |
| Tabla 11: Concentraciones mensuales de cada parámetro (2014-2015)..... | 34 |
| Tabla 12: Porcentaje de cumplimiento de la normativa ambiental LMP..... | 44 |
| Tabla 13: Eficiencia de remoción de los parámetros..... | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|------------|---|
| Figura 1: | Fotografía Satelital del EIP (Establecimiento Industrial Pesquero).....20 |
| Figura 2: | Flujograma del proceso de tratamiento de agua residual industrial.....25 |
| Figura 3: | Diagrama Box Plot para los parámetros.....33 |
| Figura 4: | Variación Temporal de AyG en el efluente asociado a la producción.....35 |
| Figura 5: | Variación Temporal de DBO ₅ en el efluente asociado a la producción.....36 |
| Figura 6: | Variación Temporal de SST en el efluente asociado a la producción.....37 |
| Figura 7: | Variación Temporal de pH en el efluente asociado a la producción.....38 |
| Figura 8: | Variación Temporal de coliformes termotolerantes en el efluente asociado a la producción.....39 |
| Figura 9. | Cumplimiento de los LMP para AyG en el periodo 2014-2016.....40 |
| Figura 10. | Cumplimiento de los LMP para DBO ₅ en el periodo 2014-2016.....41 |
| Figura 11. | Cumplimiento de los LMP para SST en el periodo 2014-2016.....41 |
| Figura 12. | Cumplimiento de los LMP para pH en el periodo 2014-2016.....42 |
| Figura 13. | Cumplimiento de los LMP para coliformes termotolerantes en el periodo 2014-201643 |
| Figura 14. | Variación del porcentaje de eficiencia cada parámetro 2014 y 2015.....48 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Página |
|---|---------------|
| Anexo 1: Descarga de efluentes mediante emisores submarinos Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador, 2006..... | 57 |
| Anexo 2: Informes de monitoreo antes y después del tratamiento 2014 y 2015..... | 58 |
| Anexo 3: Datos de los parámetros monitoreados mensualmente 2014-2016..... | 59 |

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar los efluentes industriales de una Empresa Industrial Pesquera, de consumo humano directo (CHD), ubicada en el departamento de Piura, distrito de Sechura, durante el periodo 2014-2016, determinar el grado de cumplimiento legal vigente del vertimiento autorizado; y evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual industrial (PTARI). La Empresa Industrial Pesquera remitió reportes de monitoreo de efluentes a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), esta información fue procesada y analizada. Se determinó el grado de cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) de los parámetros aceites y grasas (AyG), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), potencial de hidrógeno (pH), y coliformes termotolerantes, establecidos en el D.S. N°010-2008-PRODUCE, norma de cumplimiento obligatorio según de la autorización de vertimiento de la empresa otorgado por la ANA, y según en la R.M. N°178- 2014-MINAM, proyecto de Decreto Supremo en la Industria Pesquera. Del análisis de la información se concluyó que la Empresa cumplió con todos los LMP establecidos en el D.S. N°010-2008-PRODUCE, donde los parámetros AyG y pH presentaron un cumplimiento del 100 por ciento y los SST un 78 por ciento. Con respecto a la R.M N° 178-2014-MINAM, los parámetros AyG y pH presentaron un cumplimiento de 100 por ciento, DBO₅ un 22 por ciento, SST un 34 por ciento y coliformes termotolerantes un 50 por ciento. Con respecto a la eficiencia de remoción de los cuatro contaminantes analizados, el parámetro AyG presentó un promedio de 86.68 por ciento de eficiencia de remoción, DBO₅ un 97.28 por ciento, seguido por un 98.10 por ciento de SST y un 86.18 por ciento de coliformes termotolerantes en el periodo 2014 al 2015.

Palabras claves: Contaminación, materia biodegradable, calidad de agua.

ABSTRACT

The objective of this work is to characterize the industrial effluents of a Industrial Fishing Company, of direct human consumption (CHD), located in the department of Piura, district of Sechura, during the period 2014-2016, determine the degree of current legal compliance of the authorized discharge; and evaluate the efficiency of the industrial wastewater treatment plant (PTARI). The Fishing Establishment Industrial remitted effluent monitoring reports to the Autoridad Nacional del Agua (ANA), this information was processed and analyzed. The degree of compliance with the maximum permissible limits (LMP) of the parameters oils and fats (AyG), biochemical oxygen demand (BOD₅), total suspended solids (SST), hydrogen potential (pH), and thermotolerant coliforms established in the Supreme Decree N° 010-2008-PRODUCE, mandatory compliance rule according to the authorization of the company granted by the ANA; and according to The R.M. N° 178- 2014-MINAM, draft Supreme Decree as environmental regulations in the Fisheries Industry. The analysis of the information concluded that the Company complied with all LMP set out in D.S. N° 010-2008-PRODUCE, where the AyG and pH parameters were 100 per cent compliant and SST 78 per cent. With respect to R.M. N° 178-2014-MINAM, the AyG and pH parameters were 100 per cent compliant, DBO₅ 22 per cent, 34 per cent SST and thermotolerant coliforms 50 per cent. With respect to the removal efficiency of the four pollutants analysed, the AyG parameter showed an average of 86.68 percent removal efficiency, DBO₅ a 97.28 percent, followed by 98.10 percent SST and 86.18 percent coliform thermotolerant from 2014 to 2015

Palabras claves: Contaminación, biodegradable matter, water quality.

I. INTRODUCCIÓN

En un cuerpo hídrico receptor al recibir descargas de efluentes industriales, se genera el problema de contaminación o alteración de sus aguas disminuyendo su calidad, la hace menos útil y modifica su condición de elemento beneficioso poniendo en peligro no solo la biodiversidad sino también los servicios que nos brinda, convirtiéndola en factor de amenaza para la misma. A parte del daño que puede causar al cuerpo marino receptor y al sector pesquero, esto no contribuye a la preservación del agua y su uso sostenible. El tratamiento de agua residual industrial a partir de 1960 es un tema de interés mundial (D'Alessandri, 2012). Desde entonces existen en la mayoría de los países legislaciones ambientales, que obligan a las empresas a tratar sus efluentes, de forma tal que no generen un impacto negativo a los cuerpos de agua receptores y el medio ambiente.

En el año 2015, según el Ministerio de Producción, el PBI del sector Pesca presentó una disminución de 9 por ciento con relación al año anterior. Este menor desempeño se presentó también en la industria pesquera de CHD, como consecuencia de las desfavorables condiciones oceanográficas y climatológicas que provocaron la poca disponibilidad de los recursos. Asimismo, subsisten implicancias ambientales que el desarrollo de las actividades pesqueras ejercen sobre la calidad del ambiente, y que requieren un efectivo control y vigilancia mediante el monitoreo sistematizado de los efluentes provenientes de las plantas de tratamiento de efluentes.

Según el portal del Ministerio de Producción, existen en el departamento de Piura, distrito y provincia de Sechura, 11 plantas pesqueras en estado de vigencia, de las cuales según el Visor de Autorización de Vertimientos de la ANA existen 3 empresas pesqueras con autorización de vertimientos vigentes: GAM CORP S.A, COPEINCA S.A. y PERUPEZ S.A.C.

La Empresa A, nombre que se le asigna al EIP por motivos de confidencialidad, donde se realiza el presente proyecto, está ubicada en la zona norte del Perú, colindante a la Playa Constante en Piura, de acuerdo a la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA; el cuerpo receptor final está considerado dentro de la Categoría 4: Conservación del ambiente Acuático-Ecosistemas Marinos -Costeros-Marinos. La PTARI de la empresa se encarga de procesar todos los efluentes líquidos del proceso de congelado de recursos hidrobiológicos, para luego ser vertidos al océano mediante un emisor submarino de 500 metros de longitud, según su autorización de vertimiento R.D. 165-2014-ANA-DGCRH por un plazo de 4 años.

De esta manera el objetivo general que plantea el presente estudio es caracterizar el efluente industrial de la planta pesquera de nombre Empresa A, ubicado en el departamento de Piura, distrito y provincia de Sechura, durante el periodo 2014-2016, y determinar el grado de cumplimiento legal vigente del vertimiento autorizado. Los objetivos específicos son:

Evaluar temporalmente la variación de la concentración de parámetros contaminantes de las aguas residuales industriales de la planta pesquera: demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, pH y coliformes termotolerantes durante los años 2014 al 2016, asociado a la producción. Analizar y evaluar las concentraciones de los parámetros y su grado de cumplimiento con la norma vigente y determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de efluentes industriales.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN LA GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

2.1.1 OEFA

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental- OEFA, es el ente rector del Sistema de Evaluación y Fiscalización Ambiental- SINEFA, de acuerdo a la Ley N° 29325 del 2009, se encarga de verificar el cumplimiento de la legislación ambiental por todas las personas naturales y jurídicas. Asimismo, supervisa que las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización y control se realicen de acuerdo a lo dispuesto jurídicamente en la Política Nacional del Ambiente creado por el MINAM (OEFA, 2009).

2.1.2 ANA

La Autoridad Nacional de Agua es un organismo altamente especializado creado por el Decreto Legislativo N° 997, en el año 2008. Es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos cuya función es administrar, conservar, proteger y aprovechar los recursos hídricos de las diferentes cuencas de manera sostenible, promoviendo a su vez la cultura del agua. El control de los parámetros de descargas de aguas residuales en un cuerpo receptor está a cargo de esta autoridad, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante el Instituto Nacional de la Calidad- INACAL (ANA, 2008).

2.1.3 MINAM

EL Ministerio Nacional del Ambiente es el ente rector del sector ambiental nacional, tiene la función de diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional del sector ambiental. , así como elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiendo contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante el Decreto Legislativo N° 1013 artículo 7 (MINAM, 2008).

2.1.4 PRODUCE

Tiene como finalidad diseñar, establecer, ejecutar y supervisar, en armonía con la política general y los planes de gobierno, política nacional y sectorial aplicable a los sectores de pesquería y de industria, asumiendo rectoría respecto de ellas. Dicta normas y lineamientos técnicos para la adecuada ejecución y supervisión de las políticas, la gestión de los recursos del sector, así como para el otorgamiento, la sanción, fiscalización y ejecución coactiva (PRODUCE, 2008).

2.2 MARCO LEGAL

En el 2009 se creó la Ley de Recursos Hídricos N° 29338 y en el 2010 su reglamento mediante el D.S. N° 001-2010-AG, derogando a la Ley General de Aguas de 1969. Esta Ley N° 29338 regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable; y tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

2.2.1 De los Límites Máximos Permisibles

Según el artículo 32° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el LMP, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, y que al ser excedida causa o pueda causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al MINAM. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los

organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

El Artículo 1 de la Ley General de Pesca, Decreto Ley N° 25977, tiene por objeto normar la actividad pesquera en el fin de promover su desarrollo sostenido asegurando el aprovechamiento responsable de los recursos hidrobiológicos en armonía con la preservación del medio ambiente y la conservación de la biodiversidad. Y los Artículos 85 y 86 del Reglamento de Ley, D.S. N°012-2001-PE, establecen que los titulares de las actividades pesqueras están obligadas a realizar programas de monitoreo periódicos y permanentes para evaluar la carga contaminante de sus efluentes en el cuerpo receptor; y que los programas de monitoreo de efluentes se realicen con la frecuencia que fije el Plan de Manejo Ambiental-PAMA y conforme a los protocolos aprobados por PRODUCE.

En ese contexto, se aprueba el D.S. N° 010-2008-PRODUCE. (Tabla 1), publicado el 30 de abril del 2008, que consta de un cuerpo principal articulado (8 artículos), seis disposiciones complementarias, finales y transitorias y un anexo, establece los LMP para los efluentes de la industria de harina y aceite de pescado, cuyo cumplimiento es obligatorio para los establecimientos industriales pesqueros o plantas de procesamiento nuevos y para aquellos que se reubiquen y, los existentes que tenían vigente su licencia de operación al aprobarse el D.S. N° 010- 2008-PRODUCE, no podrán seguir operando si no cuenta con la actualización de su PAMA aprobado y vigente presentado a la Dirección General de Asuntos Ambientales de Pesquería- DIGAAP, órgano técnico normativo encargado de ejecutar, y supervisar los objetivos, políticas y estrategias ambientales para el desarrollo sostenible, actualmente Dirección General de Asuntos Ambientales Pesqueros y Acuícolas-DGAAMPA.

Para facilitar el cumplimiento de este Decreto se aprueba la Guía para la actualización del Plan de Manejo Ambiental cuyo objetivo es brindar un instrumento de gestión que permita la agilización en su elaboración para que los administrados alcancen el cumplimiento de los LMP de sus efluentes pesqueros, la unificación de criterios de evaluación y seguimiento del desempeño ambiental y la disponibilidad de opciones tecnológicas de manejo ambiental.

Tabla 1: LMP para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias. (D.S N° 010-2008-PRODUCE)

| Parámetros contaminante | I | II | III | MÉTODO DE ANÁLISIS |
|---|--|---|---|---|
| | LMP de los efluentes que serán vertidos dentro de la zona de protección ambiental litoral (a) | LMP de los efluentes que serán vertidos fuera de la zona de protección ambiental litoral (b) | LMP de los efluentes que serán vertidos fuera de la zona de protección ambiental litoral (b) | |
| Aceites y Grasas (AyG) | 20 mg/L | 1.5*10 ³ mg/L | 0.35*10 ³ mg/L | Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th. Ed. Method 5520D. Washington; o Equipo Automático Extractor Soxhlet |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | 100 mg/L | 2.5*10 ³ mg/L | 0.70*10 ³ mg/L | Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th. Ed. Part.2540D Washington |
| pH | 6 – 9 | 5-9 | 5-9 | Protocolo de Monitoreo aprobado por Resolución Ministerial N° 003-2002-PE |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | ≤ 60 mg/L | (c) | (c) | Resolución Ministerial N° 003-2002-PE (d) |

FUENTE: PRODUCE, 2008.

- (a) La zona de Protección Ambiental Litoral establecida en la presente norma es para uso pesquero.
- (b) De obligatorio cumplimiento a partir de los dos (2) años posteriores a la fecha en que sean exigibles los LMP señalados en la columna anterior.
- (c) Ver Segunda Disposición Complementaria y Transitoria.
- (d) El Protocolo de Monitoreo será actualizado.

Por otro lado, en el año 2014 el Ministerio del Ambiente elabora el Proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Límites Máximos Permisibles para efluentes de la industria pesquera de consumo humano directo mediante la R.M N°178-2014-MINAM. (Tabla 2); propuesta que fue puesta en conocimiento del público, con la finalidad de contar con las sugerencias y/o comentarios de los interesados, conforme lo establece el artículo 39' del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales.

Finalmente en el 2018 se aprueban Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto mediante el D.S. N° 010-2018-MINAM derogándose el D.S. N° 010-2008-PRODUCE (Tabla 3).

Tabla 2: LMP para los Efluentes de la Industria Pesquera de CHD Consumo Humano Directo. (R.M. N° 178-2014-MINAM)

| Parámetros contaminante | Concentración en el efluente | | MÉTODO DE ANÁLISIS |
|---|--|--|---|
| | Columna 1 Dentro Zona Protección Ambiental Litoral (*) | Columna 2 Fuera de Zona Protección Ambiental Litoral | |
| Aceites y Grasas (AyG) | 10 mg/L | 200 mg/L | Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th. Ed. Method 5520D. Washington; o Equipo Automático Extractor Soxhlet |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | 40 mg/L | 350 mg/L | Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th. Ed. Part.2540D Washington |
| pH | 6-9 mg/L | 6-9 mg/L | Protocolo de Monitoreo aprobado por Resolución Ministerial N° 003-2002-PE |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 50 mg/L | 500 mg/L | APHA-AWWA-WPCF. 1992. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 18 ed.Part 5210B. Washigton.1134 p. |
| Demanda Química de Oxígeno | 60 mg/L | 600 mg/L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220B 2012, 22nd Ed, Open Reflux Method. |
| Coliformes Termotolerantes | 10 000 NMP/100ml | ----- | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E-1, 22nd Ed, 2012.Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. |

(*) Los valores de esta columna, incluye su aplicación para lagos y ríos.

FUENTE: MINAM, 2014.

Tabla 3: LMP para efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto. (D.S. N° 010- 2018-.MINAM)

| Parámetros/ contaminante | Unidad | Límite máximo permisible |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Aceites y Grasas (AyG) | mg/L | 350 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L | 700 |
| pH | Unidad de pH | 5-9 |

FUENTE: MINAM, 2018.

En el contexto internacional, respecto a los parámetros AyG, DBO, SST y pH del efluente (Tabla 4) se presentan la norma referencial Decreto Ejecutivo N° 1589 del 2006 que modifica el Decreto N° 2516 del 2003 texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador, norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (agua marina) la cual considera concentraciones de efluentes que serán vertidos por emisores submarinos, situación análoga a la disposición de los efluentes pesqueros de CHI y CHD. Esta norma presenta también los métodos, procedimientos y referencia bibliográfica para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación. Ver Anexo 1.

Tabla 4: Norma referencial de Ecuador para descarga de efluentes mediante emisores submarinos.

| Parámetros/ contaminante | Unidad | Límite máximo permisible |
|---|---------------|---------------------------------|
| Aceites y Grasas (AyG) | mg/L | 30 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L | 400 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L | 250 |
| pH | Unidad de pH | 6-9 |

FUENTE: Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador, 2006.

2.2.2 Del protocolo de monitoreo

Los establecimientos industriales pesqueros, según el D.S. N° 010-2008-PRODUCE, estaban obligados a cumplir con el Protocolo de Monitoreo de Efluentes para la Actividad Pesquera de Consumo Humano Indirecto y del Cuerpo Marino Receptor, R.M. N° 003-2002-PE. En el año 2016 se aprueba su modificatoria R.M. N° 061-2016-PRODUCE como Protocolo para el Monitoreo de Efluentes y Cuerpo Hídrico Receptor para los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto, para un efectivo control, registro, supervisión y vigilancia por las autoridades competentes con la finalidad de estandarizar la metodología de toma de muestras y análisis físico, químico y biológico para el desarrollo del monitoreo de los efluentes y de cuerpo hídrico receptor.

2.2.3 De la obligatoriedad de tratar aguas residuales

Según el Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reuso de aguas Residuales Tratadas (R.J. N° 224-2013-ANA), define lo siguiente:

Artículo 5°.- Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas.

5.1 La ANA podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- a. La disposición final de las aguas residuales tratadas sólo se efectúa a un cuerpo natural de agua continental o marina, salvo los casos expresamente indicados en el Reglamento.
- b. Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo que permita el cumplimiento de los LMP. El cual se entenderá por cumplido con la aprobación del instrumento de gestión ambiental sectorial.
- c. No se transgredan los ECA-Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones dictadas por el MINAM para su implementación.
- d. Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- e. No cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- f. No se afecte la conservación del ambiente acuático, lo cual deberá ser demostrado.
- g. Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental competente.
- h. Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al

ecosistema y otras actividades lacustres, fluviales o marino costeras.

- i. El titular de la actividad generadora de aguas residuales tratadas a verter cuenta con el derecho de uso de agua correspondiente.

Artículo 10°.- Vertimiento de efluentes a través de emisor submarino. De manera excepcional, se podrá autorizar el vertimiento de efluentes líquidos sin tratamiento, siempre que se efectúe a través de emisores submarinos, se verifique el cumplimiento de los ECA-Agua y no se afecten moluscos y zonas de actividades recreativas de contacto directo.

Artículo 11°.- Obligación de control de vertimientos. El administrado deberá instalar sistemas de medición de caudales de agua residual tratada que permita registrar el volumen acumulado vertido y reportar sus resultados a la ANA, con la frecuencia establecida en la correspondiente autorización de vertimiento y deberá realizar el control de los parámetros de la calidad del agua conforme a lo establecido en la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas otorgada.

2.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN EL SECTOR PESQUERO DE CHD

2.3.1 Caracterización de los efluentes

Los efluentes pesqueros después de ser tratados y antes de ser vertidos al mar aun presentan niveles considerables de AyG, SST y DBO₅, de esta manera contribuyen a la degradación ambiental de ecosistemas aledaños (PRODUCE, 2008).

Según Ghaly et. al. (2013), las etapas de procesamiento de la industria pesquera que influyen en las características de los efluentes pueden variar según el tamaño, la estacionalidad, la productividad de cada unidad industrial, las etapas de producción que implican la manipulación del producto como la clasificación, la eliminación de impurezas de la superficie, el escalado, el fileteado, el corte de aletas, secado, salado, congelación, etiquetado, entre otros. Según Cristovão (2012) otros de los factores que deben considerarse son los tipos de pescado a procesar, el sistema de suministro de agua utilizada, el volumen de efluente generado y las concentraciones de DBO₅ y SST.

Según Thomas (2016) los principales tipos de residuos sólidos que contribuyen significativamente a la concentración de sólidos en suspensión en los efluentes son sangre, despojos, vísceras, aletas, etc. Los SST desempeñan un papel importante en el agua y en los efluentes, ya que el exceso de SST, provoca el agotamiento de oxígeno en el cuerpo de agua. Y según Lawrence (2005), el DBO₅ se origina a partir de los compuestos carbonosos y de los compuestos nitrogenados que son utilizados por los microorganismos como sustrato para degradar la materia orgánica; por lo tanto los efluentes de la industria pesquera presentan altas concentraciones de DBO₅, es por ello que este parámetro es el más adecuado para evaluar el alcance de la contaminación en el agua. La aparición de estas variaciones de condiciones hace que sea difícil la planificación de una unidad de tratamiento única capaz de satisfacer los requisitos para todos los tipos de efluentes producidos en este tipo de industria. En este contexto, la caracterización de estos efluentes incluyendo el volumen diario, las tasas de flujo y carga contaminante asociada, es fundamental para un diseño eficiente de los sistemas de tratamiento (Souza et. al., 2012). A continuación se describen los efluentes que se generan en las diferentes etapas del proceso productivo:

a. Sanguaza

La sanguaza se genera en la poza de almacenamiento de materia prima, cuya degradación proteica se produce inmediatamente después de la muerte del recurso hidrobiológico y comienza por una acción enzimática, para continuar por una rápida acción bacteriana y procesos oxidativos de los productos de degradación. (PRODUCE, 2008). Según Alcayhuamán y Yaya (1997) la producción y volúmenes de este líquido están en función de los siguientes factores: manipulación ineficiente del pescado, efecto de la acción microbiana sobre pescado capturado, métodos de almacenamiento inapropiados.

b. Efluentes del proceso

Como en todos los procesos de producción, la industria del procesamiento de pescado utiliza un gran volumen de agua, en promedio 10 m³ por tonelada de pescado procesado y 15m³ por tonelada en el caso de camarón, tanto antes como durante el proceso especialmente en etapas de lavado, limpieza, almacenamiento y refrigeración. Respecto al tipo de pescado, según Arvanitoyannis y Kassaveti (2008), el volumen generado de efluente del proceso de fileteado para pescado blanco fue de 5 y 10 m³, y para pescado azul, entre 5 y 8 m³ por cada

tonelada de pescado procesado. Estos autores también citan que las variaciones en las concentraciones de contaminantes, dependiendo del tipo de pescado, en el que el pescado blanco presenta una menor concentración de DBO_5 que para el pescado azul. Asimismo, según Thomas (2016) el DBO_5 se genera principalmente a partir del proceso de fileteado.

Debido a al alto consumo de agua y su respectiva generación, deben fomentarse las alternativas para la reducción de volumen y mejora de la calidad, ya sea mediante la adopción de las tecnologías que reducen la cantidad de agua utilizada, o mediante la reutilización de la misma (José, 2013). Esta gestión del agua puede dar lugar a una reducción de los costos directos e indirectos, así también como la energía y la materia prima utilizada (Souza, 2010).

c. Efluentes de limpieza

Son los efluentes provienen de la limpieza de equipos y establecimiento industrial pesquero, contienen partículas suspendidas, aceites y grasas, agua, soda cáustica, ácido nítrico y ácido fosfórico altamente contaminantes (PRODUCE, 2008).

d. Efluentes domésticos

Efluentes que provienen de oficinas, servicios higiénicos y el comedor. Contienen sustancias procedentes de la actividad humana como alimentos, basuras, productos de limpieza, jabones, etc. (PRODUCE, 2008).

2.3.2 Pre-Tratamiento

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende con el pre tratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría la eficiencia de la planta de tratamiento (FONAM, 2010).

a. Cribado

Según el FONAM (2010), esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja. De esta forma, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en desbaste fino, con separación libre entre barrotes de 10-25 mm., y desbaste grueso con separación libre entre barrotes de 50-100 mm.

b. Tamizado

Proceso también llamado micro-cernido y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el cribado, es decir, que consiste en una filtración al hacer pasar el flujo de agua por una malla delgada llamada tamiz. Se distinguen dos tipos de tamizado, macrotamizado, cuyo diámetro es superior a 0,2 mm. y microtamizado, cuyo diámetro es inferior a 100 micras (plancton) (Tafur et. al, 2013).

2.3.3 Tratamiento físico

a. Filtración

La filtración es una operación física en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión (Rodríguez & Letón, 2006). El filtro de tambor rotatorio es un sistema que trabaja por gravedad, consiste en un tambor girando alrededor de su eje horizontal. El tambor se encuentra parcialmente sumergido en un tanque abierto que contiene la suspensión a filtrarse. El medio filtrante cubre la superficie del tambor y se encuentra soportado por las placas perforadas (Tafur et. al, 2013).

b. Sedimentación

Operación física también llamada decantación. Es un proceso físico mediante el cual se produce la separación de los sólidos (partículas orgánicas y biológicas de un tamaño mayor a 10 μm .) en las aguas residuales de las pesquerías, estas incluyen escamas de peces, porciones de músculo de pescado y despojos. (Tafur et. al, 2013). Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas

que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante (FONAM, 2010).

c. Flotación

Operación física que consiste en la eliminación de partículas (aceites, grasas) cuya densidad es menor o igual a la del agua por medio de agentes de flotación con el fin de elevarlas a la superficie para luego ser retiradas del agua. Estos agentes pueden ser sustancias espumantes y pequeñas burbujas de aire. (Tafur et. al, 2013). En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación:

Flotación por aire disuelto (DAF)

Proceso de separación física que remueve grasas, aceites y sólidos suspendidos; consiste en el paso del agua residual por un tanque de retención, al que se le agrega aire presurizado con la finalidad de formar microburbujas, las cuales se ponen en contacto con las partículas presentes en el flujo de manera continua y suben lentamente a la superficie del tanque. (Rodríguez & Letón 2006). Y para el buen funcionamiento del tanque DAF se debe de remover semanalmente los lodos acumulados en el fondo del tanque y disponerlos adecuadamente. (Chasi & Montenegro, 2016).

Al combinar procesos de sedimentación y DAF, para el tratamiento de efluentes de procesamiento de pescado hay una reducción del 95 por ciento para el total de SST y 50 por ciento para el nitrógeno. Sin embargo debe tenerse en cuenta que la materia orgánica disuelta en el efluente es difícil eliminar, por lo tanto tratamientos que emplean solo DAF no son adecuados para la eliminación de altas concentraciones de estos contaminantes (Jamieson et. al., 2010).

Flotación por aire inducido (FAI)

La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o

bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior (Rodríguez & Letón, 2006).

d. Separación por membranas

La separación por membranas es una operación física que permite la eliminación de contaminantes, la recuperación de componentes de alto valor añadido, disueltos o suspendidos (proteínas, pigmentos, enzimas, etc) e incluso la reutilización del agua para determinadas aplicaciones (Larrimbe, 2014). Los tipos de separación por membrana son los siguientes: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa. También existen Orgánicas (polipropileno, carbono) e Inorgánicas (metálicas, cerámicas) (Larrimbe, 2014). Según Bhattacharya et. al. (2013), el uso de membranas cerámicas tiene la ventaja de la alta vida útil, buena resistencia química, alta temperatura de trabajo, y se puede esterilizar.

Las aguas residuales en la industria pesquera tienen una alta salinidad; y la eliminación de estas sales suele ser costosa y por otro lado, la alta salinidad y la variación estacional de las características de efluentes hacen que se dificulte la eliminación de la materia orgánica por un proceso biológico (Zuffia y Aurrekoetxea, 2002). Según Pérez Galves (2011) para la reutilización del agua, es necesario eliminar la salinidad y el método de separación por membranas cerámicas y osmosis inversa pueden ayudar a resolver el problema de conseguir una calidad del agua que permita su reciclaje.

e. Tanque Ecuilizador

También llamado tanque de igualamiento, tiene como objetivo amortiguar las variaciones de caudal para lograr un caudal aproximadamente constante; teniendo por lo tanto ventajas como la estabilización del pH, mejora de la tratabilidad del agua residual, dilución de sustancias inhibitoras, mejora la eficiencia y por tanto la calidad del efluente (Chasi & Montenegro, 2016).

Con el fin de que el funcionamiento del tanque de equalización sea satisfactorio, es preciso disponer sistemas de mezclado y de aireación adecuado con el fin de evitar la deposición de sólidos en el interior del mismo, y evitar que no se vuelvan sépticas y mal olientes. Es por

ello que el tanque debe de tener una limpieza mensual, para evitar la acumulación de sedimentos y mantener su normal funcionamiento (Chasi & Montenegro, 2016).

Según Kavitha (2012) el pH generalmente refleja la descomposición de la materia proteica y la emisión de amoníaco, comportándose como un indicador importante de la contaminación de las aguas residuales; que determina la acidez o alcalinidad del efluente; y según Thomas (2016) la variedad de productos químicos utilizados en la limpieza incluyen detergentes ácidos, alcalinos y neutros y los desinfectantes consisten en compuestos de cloro, peróxido de hidrógeno y formaldehído. Los extremos de este parámetro también interfieren con la vida biológica, por lo tanto afecta directamente el rendimiento de un proceso de tratamiento biológico y así el funcionamiento óptimo de las instalaciones de tratamiento de los efluentes.

f. Desinfección

Aunque los tratamientos convencionales consiguen eliminar entre un 95 y 99 por ciento de microorganismos biológicos, la presencia de organismos patógenos restantes hace que el agua no sea apta para su reutilización directa (Cristovão, 2015). Por lo tanto, es necesario utilizar la desinfección para inactivar su acción cuando están presente en los efluentes (José, 2013). Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos (calor, radiación), ácidos o bases, pero fundamentalmente en algunas plantas pesqueras se utilizan entre los que cabe resaltar el clásico Cl_2 (cloración) y la radiación UV (Morena & Dias, 2017).

2.3.4 Tratamiento químico

a. Coagulación-floculación

Se utiliza para eliminar partículas coloidales, y cuando la sedimentación natural del material en suspensión no es posible o es demasiado lenta. La adición de coagulantes provoca la desestabilización de los coloides, seguido de la colisión de partículas y la formación de flocúlos, los cuales son separados del agua por sedimentación o flotación. La capacidad de un coagulante en particular depende de la calidad de agua residual (Cristovão, 2014). Mediante la aplicación del proceso químico coagulación y floculación se permite disminuir notablemente los valores de AyG y SST en el efluente tratado (Quevedo, 2016).

Los factores, que pueden promover la coagulación-floculación, son el gradiente de la velocidad, el tiempo, y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan (FONAM, 2010).

b. Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles del efluente por medio de la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental es la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas de algunas plantas pesqueras en la industria de congelados es el carbón activo (Morena & Dias, 2017).

2.3.5 Tratamiento biológico

Con el fin de lograr mayores niveles de eliminación, en el caso de las industrias de alimentos, los efluentes se someten convencionalmente a los tratamientos biológicos (anaeróbicos y aeróbicos) combinados con otros procesos (Arvanitoyannis & Kassaveti, 2008). Como resultado de la actividad microbiológica, según Artiga et. al. (2008), este proceso lleva a una disminución de DBO₅, que puede alcanzar la eliminación de hasta el 98 por ciento. Por otro lado, la presencia de altas concentraciones de materia orgánica, sales, AyG puede afectar directamente a la eficiencia de los sistemas de tratamiento de efluentes en la industria de procesamiento de pescado, especialmente en tratamientos biológicos (Sunny & Mathal, 2013).

a. Procesos biológicos aeróbicos

Procesos microbiológicos cuyas bacterias requieren de oxígeno del aire para su actuación sobre las partículas orgánicas que componen las aguas residuales. Su gran ventaja son sus rendimientos energéticos elevados provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Como desventaja es que presenta un elevado costo de funcionamiento y requiere personal altamente cualificado para el manejo de este tipo de sistema (Tafur et. al, 2013).

Lodos activados

Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una piscina aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados (Rodríguez & Letón, 2006).

Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en las piscinas, seis horas, permitiendo tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja (FONAM 2010).

Biofiltro

Denominado filtro percolador. Es un sistema aerobio de biomasa inmovilizada que suelen ser lechos fijos conformados por materiales sintéticos o rellenos con rocas de alta relación área/volumen que se agregan microorganismos para que se adhieran a la superficie formando una capa biológica. A medida que las aguas residuales se percolan por el medio filtrante, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua. (Rodríguez & Letón 2006). Tienen la ventaja de ser adaptables a las fluctuaciones de carga e implicar un menor consumo de energía ya que se evita la sedimentación y la recirculación de fangos realizada en el tratamiento con lodos activados. (Espinoza, 2010).

b. Procesos biológicos anaeróbicos

Según Mathal (2013), consiste en una serie de procesos microbiológicos que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Los sistemas anaeróbicos son más adecuados para el tratamiento de los efluentes de la industria pesquera ya que requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Por otro lado, el proceso es más lento que el tratamiento aeróbico, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes (FONAM 2010).

Filtro anaeróbico

Un filtro anaeróbico es un reactor biológico de lecho fijo donde la materia orgánica es degradada por la biomasa activa que se adhiere a la superficie del material del filtro (Rodríguez & Letón 2006). En el 2013, Muthukumaran y Baskaran concluyeron que el uso de un sistema compuesto por una unidad de filtración y un biofiltro anaeróbico sería adecuado para el tratamiento de efluentes en la industria pesquera, debido a su capacidad para eliminar la DBO₅ y la DQO.

La eficiencia de remoción de algunos parámetros y las tecnologías de tratamiento de efluentes de la industria pesquera se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Eficiencia de remoción de contaminantes de efluentes de las industrias pesqueras según las tecnologías de tratamiento utilizadas.

| TRATAMIENTO | PARÁMETROS | REMOCIÓN | REFERENCIA |
|--|------------------|----------|-------------------------------|
| Sedimentación y Coagulación/Floculación | SST | 86.0% | Cristovão et al. (2012) |
| | AyG | 99.7% | |
| | SST | 95.0% | Jamieson et al. (2010) |
| Sedimentación y DAF | DQO | 60.0% | |
| | NT | 50% | |
| Bioreactor rotativo | DQO | 98.00% | Najafpour et al.(2006) |
| Lodos activados | COD | 88.00% | Cristovão et al. (2015) |
| Microfiltración con membranas cerámicas | DBO ₅ | 72.0% | Kuca and Szaniawska (2009) |
| | DQO | 60.0% | |
| | AyG | 73.0% | |
| Microfiltración y membrana de nanofiltración | AyG | 69.0% | Afonso and Bórquez (2002) |
| | SST | 22.0% | |
| Sedimentación/flotación; coagulación/floculación; lodos activados; filtro de arena; ósmosis inversa y desinfección UV. | COD | 99.0% | Cristovão et al. (2015) |
| | AyG | 99.8% | |
| | SST | 98.4% | |
| | Bacteria heter. | 100% | |

SST: sólidos suspendidos totales; A y G: aceites y grasas, DQO: demanda química de oxígeno, COD: carbón orgánico disuelto. NT: Nitrógeno total

FUENTE: Cristovão et al. 2015.

III. METODOLOGÍA

3.1 Ubicación

Por motivos de confidencialidad se reservó el nombre de la empresa industrial pesquera (EIP), el nombre que se le asignó en este caso fue Empresa A. El EIP se encontró ubicada en la Zona Industrial de Parachique, altura del Km. 18.8 de la Carretera a Sechura, en el departamento de Piura (Figura 1). La empresa ejecutó actividades de congelamiento de recursos hidrobiológicos, con la finalidad de exportar sus productos. El vertimiento de aguas de residuales tratadas se realizó a través de un emisor submarino de 500 metros de longitud que descarga al mar de Sechura. La Empresa A se encontró operando en el año 2010 con la Certificación Ambiental del proyecto Congelado de productos hidrobiológicos (54 T/d de capacidad). En el año 2014 se solicitó la Certificación Ambiental de la modificación del estudio ambiental semidetallado respecto al proyecto denominado: Incremento de capacidad instalada de una planta de producción de congelado de 54 T/día a 97.2 T/día.



Figura 1: Ubicación del EIP.

FUENTE: Google Earth, 2019.

3.2 Características de la Empresa y Tratamientos de efluentes

La Empresa A contó con una capacidad instalada de planta de 97.2 T/d. El recurso hidrobiológico era transportado a la planta de congelados mediante cámaras isotérmicas; por lo tanto no se generaron aguas residuales por descargas; las otras actividades como almacenamiento de pescado (sanguaza), procesamiento y limpieza de planta generaron efluentes industriales, los cuales previo tratamiento en la PTARI, fueron descargados al mar de Sechura, fuera de la zona de protección ambiental litoral a través de un emisor submarino de 500 metros de longitud. En la Tabla 6 se muestran las etapas del proceso y la identificación de los procesos que generaron efluentes, y en la Tabla 7 el volumen de efluentes industriales generados por etapas. Los efluentes domésticos fueron depurados en la planta de tratamiento de aguas domésticas y fueron vertidos dentro del perímetro de las instalaciones de la planta. De acuerdo a la capacidad de planta mencionada líneas arriba, el volumen de efluentes industriales y domésticos generados por día y anual se muestran en la Tabla 8.

Tabla 6: Etapas del proceso de congelado y sus aspectos ambientales.

| Actividades | Aspectos Ambientales |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Recepción de materia prima | Efluentes -Sanguaza |
| Eviscerado y fileteado | Residuos y descartes |
| Limpieza y lavado | Efluentes |
| Clasificado | - |
| Laminado | Residuos |
| Cocción | Efluentes |
| Troquelado y corte | Residuos |
| Selección | Residuos |
| Pesado | Residuos |
| Lavado por aspersión | Efluentes |
| Envasado | - |
| Congelado | Emisiones |
| Empacado | - |
| Almacenamiento | - |
| Embarque | - |
| Lavado de equipos y utensilios | Efluentes |
| Limpieza del EIP | Efluentes |

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 7: Efluentes industriales generados por etapas.

| Actividad | Volumen diario (m3) | Volumen anual (m3) | Porcentaje |
|--|----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Limpieza de materia prima y proceso de congelado | 216,00 | 51840,00 | 80% |
| Limpieza del EIP | 54,00 | 12960,00 | 20% |
| Totales | 270,00 | 64800,00 | 100% |

FUENTE: Ecodesarrollo Ambiental S.A.C. 2017.

Tabla 8: Efluentes industriales y domésticos

| Tipo de efluentes | Volumen diario (m3) | Volumen anual (m3) |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Efluentes industriales | 270,00 | 64800,00 |
| Efluentes domésticos | 18,00 | 4205,00 |
| Totales | 288,00 | 69005,00 |

FUENTE: Ecodesarrollo Ambiental S.A.C, 2017.

En el año 2014, la ANA otorgó la renovación de la Autorización de Vertimiento mediante la R.D. N°165-2014-ANA-DGCRH por un plazo de 4 años, donde se estableció un caudal máximo de descarga al final del tratamiento de 15 L/s para el punto de control de aguas residuales tratadas. Asimismo definió como parámetros de control AyG, DBO₅, SST y pH (según lo establecido en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE) y una frecuencia de monitoreo mensual en temporada de producción y trimestral sin producción.

En el 2018, luego de que la Empresa A solicite una prórroga, la ANA le otorgó la autorización mediante la R.D. N° 124-2018-ANA-DCERH por un plazo de 2 años, donde estableció lo mismo que la autorización RD N°165-2014-ANA-DGCRH incluyendo el monitoreo de caudal y volumen mensual acumulado como parámetros de control.

Tratamiento de efluentes industriales

Según la modificación del EIA-sd presentado en el 2014, la PTARI fue modificada para tratar el efluente industrial de una capacidad de planta de 97.2 toneladas al día.

A. Pre-tratamiento

Del E.I.P. (zonas de proceso) las aguas residuales fueron derivadas mediante canaletas, con cribas entre 5 a 1 mm.

B. Tratamiento físico

La primera etapa del tratamiento, recepción y equalización, consistió en un tanque de hormigón con una capacidad de 75 m³ de tal manera lograr una estabilidad a las variaciones de flujo efluente (equalización) proveniente de la planta, lo cual se hizo necesario para la correcta operación de los procesos posteriores. Del tanque de recepción, el efluente fue elevado hasta una etapa posterior de macrofiltración a un nivel estimado de +4.5m sobre nivel del suelo usando para tal propósito dos bombas sumergibles de impulsión. Esta etapa consistió en hacer pasar el efluente por un filtro de tambor rotatorio con una capacidad de filtrado de partículas superiores a 0.5 mm a un flujo de 50 m³/h, generando en este proceso dos salidas, por un lado sólidos mayores a 0.5mm los cuales caen por gravedad a un recipiente especialmente dispuesto para almacenar los residuos sólidos provenientes del proceso para su posterior disposición, la otra salida fue el efluente a la etapa siguiente de microfiltración.

C. Tratamiento físico-químico

En esta etapa de microfiltración, que se según la Empresa A, se consideró la naturaleza del contaminante para la selección del tratamiento que mejor se ajuste, los efluentes industriales pasaron por un sistema DAF. De acuerdo a las características del efluente hay dos (2) unidades DAF con capacidad de 20 m³/h cada una. Asimismo para reforzar y obtener un óptimo desempeño, los reactivos para la coagulación y floculación fueron incorporados por dos bombas dosificadoras provocando espuma de arrastre del contaminante de agua, esto a través de agentes químicos adecuados. En este caso el reactor del sistema DAF del saturador fue vertical de flujo cruzado, que optimizó el espacio y mejora la eficiencia de remoción. Bajo esta condición, la mayor separación de la materia orgánica fue por flotación en calidad de espuma, que producto de la compactación natural en su almacenamiento fue derivada a un depósito para su posterior disposición a una planta tercera de harina residual.

Disposición final

A la salida del sistema DAF el efluente debió estar en condiciones de DBO_5 y STT adecuadas para su eliminación quedando solo la etapa final en que los efluentes depurados en los (2) DAF fueron evacuados al cuerpo marino receptor a través de un emisor submarino de 500 metros de longitud, 8" de diámetro, difusor tipo quena de 9 metros de longitud, 6" de diámetro, 4.8 metros de profundidad. Por otro lado el periodo de manteniendo de la PTARI fue trimestral.

A continuación en la figura 2 se muestra el flujograma del proceso de tratamiento a que son sometidos los efluentes industriales en la Planta de procesamiento.

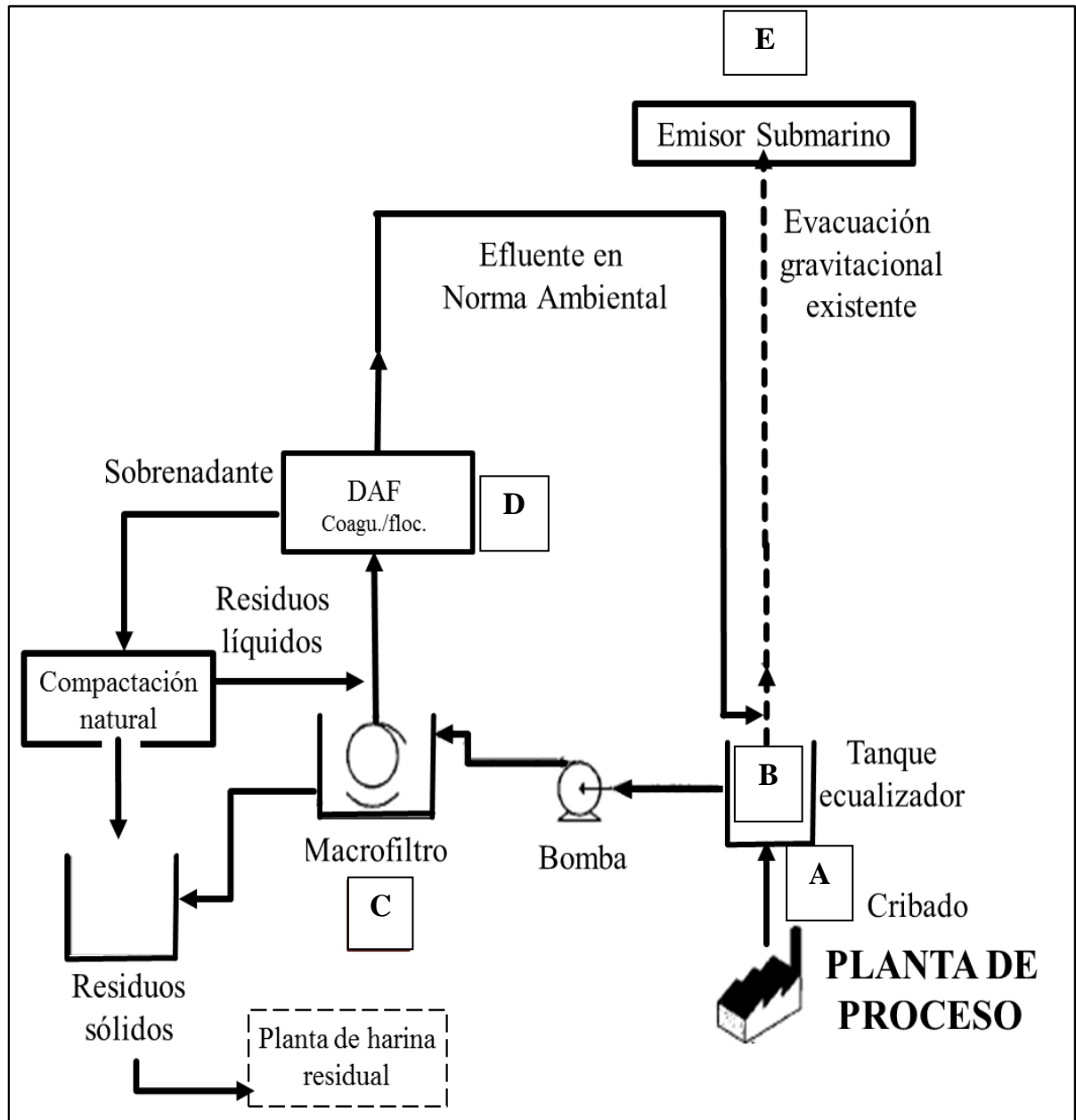


Figura 2: Flujograma del proceso de tratamiento de agua residual industrial

LEYENDA

- A.-Pretratamiento/cribado
- B.-Tratamiento físico/ecualizador
- C.-Tratamiento físico/filtro tambor rotativo
- D.-Tratamiento físico DAF/ Tratamiento químico coagulación-floculación
- E.- Emisario submarino

FUENTE: Ecodesarrollo Ambiental S.A.C, 2014

3.3 Materiales utilizados

- Informes de monitoreo 2014 al 2016 elaborados por Certificaciones del Perú (CERPER).
- Informes de monitoreo del 2014 al 2015 elaborados por COLECBI S.A.C.
- Autorización del Vertimiento de Aguas Residuales Industriales de la Empresa A D.R. N° 165-2014-ANA-DGCRH.
- Reportes de producción-exportación diaria en toneladas de la Empresa A (2014-2016)
- Instrumento ambiental del proyecto: EIA (R.D. N° 003-2018-PRODUCE/DGEPP)
- D.S. N° 010-2008-PRODUCE, Límites Máximos Permisibles para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias.
- R.M. N° 178-2014-MINAM, Límites Máximos Permisibles de efluentes para la Industria Pesquera de Consumo Humano Directo.
- D.S. N° 010-2018-MINAM, Límites Máximos Permisibles de efluentes para la Industria Pesquera de Consumo Humano Directo e Indirecto.
- Decreto Ejecutivo N° 1589 del 2006 República de Ecuador, Descarga de efluentes mediante emisores submarinos.

3.4 Metodología

3.4.1 Parámetros de calidad de efluentes

Se trabajó en base a los informes de ensayo presentados por ley ante la autoridad correspondiente a fin de elaborar una base de datos, la misma que se realizó con una frecuencia mensual de monitoreo desde enero del 2014 a diciembre del 2016. Estos Informes de Ensayo realizados por CERPER fueron requisitos obligatorios según la Autorización de Vertimiento mediante la R.D. N°165-2014-ANA-DGCRH. Los parámetros de calidad de efluentes estudiados en el presente trabajo son:

- Aceites y Grasas
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días
- Sólidos Suspendidos Totales
- pH
- Coliformes Termotolerantes

Estos parámetros fueron comparados con los LMP aprobados establecidos en el D.S. N°010-2008-PRODUCE, norma de cumplimiento obligatorio según de la autorización de vertimiento de la Empresa A otorgada por la ANA; con los LMP establecidos para efluentes que serán vertidos fuera de la zona de protección ambiental litoral en la R.M. N°178- 2014-MINAM, proyecto de Decreto Supremo como normativa ambiental vigente en la Industria Pesquera; y de manera adicional fueron comparados con lo establecido por el Ministerio del Ambiente de Ecuador, aprobado mediante el Decreto Ejecutivo N°1589 del 2006.

3.4.2 Puntos de monitoreo

Los parámetros relacionados con la calidad de los efluentes fueron medidos por CERPER mensualmente del año 2014 al 2016 en el punto de monitoreo después del tratamiento dentro de la planta de procesamiento. Para el análisis de la eficiencia de la PTARI se recuperó la información realizada por la empresa COLECBI S.A.C. cada tres meses durante los años 2014 y 2015 de dos puntos de monitoreo, después del tratamiento (mismo punto de monitoreo tomado por CERPER) y antes del tratamiento. Ver Tabla 9.

Tabla 9. Puntos de monitoreo.

| Puntos de muestreo | Coordenadas | |
|-------------------------|--------------|--------------|
| | Latitud | Longitud |
| Antes del tratamiento | 5°42'28.36"S | 80°51'8.94"O |
| Después del tratamiento | 5°42'27.64" | 80°51'9.82"O |

FUENTE: Informes de ensayo de CERPER y COLECBI.

3.4.3 Procesamiento de datos

a. Evaluación temporal de parámetros y grado de cumplimiento

- Se procedió al ingreso y ordenamiento de la base de datos en la herramienta Excel 2016 para cada uno de los parámetros físico-químicos del efluente industrial del EIP de consumo humano directo: pH, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas y sólidos suspendidos totales. De la misma manera se ingresó y ordenó la base de datos en la herramienta Excel 2016 para el parámetro microbiológico, coliformes termotolerantes,

de los efluentes industriales del proceso.

- Se trabajó con la data de las concentraciones mensuales de cada parámetro, y con los datos de producción-exportación mensual en toneladas considerando los periodos de pesca a lo largo de los años 2014-2016 para evaluar su comportamiento temporal para lo cual se procedió a realizar los siguientes procedimientos estadísticos:

Se elaboró un cuadro resumen con los valores de los monitoreos y la producción mensual para cada uno de los parámetros medidos en los efluentes después de pasar por el tratamiento.

Se realizó el análisis de información mediante el diagrama Boxplot para identificar datos atípicos y analizar la variabilidad de los parámetros analizados de cada año.

Se elaboró gráficas continuas de series de tiempo, con la finalidad de observar con mayor detalle la variación en el tiempo de cada parámetro en relación a la producción, evaluándose a la vez el cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE y en la R.M. N° 178-2014-MINAM a través de un análisis comparativo utilizando gráficas didácticas, durante los años de evaluación, utilizando el programa Excel 2016.

b. Análisis de la eficiencia de remoción (2014-2015)

Para el análisis de la eficiencia de la planta de tratamiento se elaboró un cuadro resumen con la concentración de cada parámetro del efluente industrial monitoreado cada tres meses durante los años 2014 y 2015 de los puntos antes y después del tratamiento. Se calculó la eficiencia para cada fecha que se realizó el monitoreo y se elaboró una gráfica continua de serie de tiempo, con la finalidad de observar la variación de la eficiencia de remoción de cada parámetro a través del tiempo. Para calcular la eficiencia de la Planta de tratamiento se tomó los dos puntos de monitoreo y se aplicó el método de eficiencia de remoción, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$E = \left[\frac{C_e - C_s}{C_e} \right] \times 100$$

Donde:

- E : Eficiencia de remoción del sistema (%)
- C_e : Concentración de entrada a la PT de cada parámetro
- C_s : Concentración de salida de la PT de cada parámetro

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La Empresa A ubicada en la Bahía de Sechura, contó con los reportes de monitoreo de efluentes industriales y domésticos realizados por el laboratorio acreditado presentados a las instancias de competencia ambiental como es la ANA y PRODUCE-DIGAAP.

El EIP no presentó datos de caudales en los informes de monitoreo mensuales; esto debido a que en su Autorización de Vertimiento del 2014, la ANA pidió como parámetros de control solo los establecidos en el D.S. 010-2008-MINAM.

En este contexto es preciso señalar que, si bien la concentración de un parámetro sirve para regular las descargas al cuerpo de agua en cumplimiento con lo establecido en la norma técnica ambiental, no explica por completo sobre las características contaminantes de un vertido, y aunque todavía no se use como criterio sancionador, es mucho más significativo el concepto de carga contaminante, la cual involucra la valoración de caudal vertido; variable que no está incluida como parámetro de control en la Autorización de Vertimiento R.D. N° 165-2014-ANA-DGCRH a pesar de que el protocolo de monitoreo de efluentes R.M N° 003-2002-PE y el reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento R.J. N° 224-2013-ANA se establece reportar resultados de la medición de caudales de agua residual tratada que permita registrar el volumen acumulado vertido.

Por otro lado, se sabe que La Empresa A procesa más de una especie hidrobiológica, por lo tanto, las concentraciones de los parámetros registrados en ciertas fechas en los informes de monitoreo pueden verse ligeramente modificados por efluentes tratados anteriormente. El total de datos de los parámetros analizados durante el periodo de estudio consta de 160, según los informes de ensayo de CERPER, mostrándose un consolidado en la Tabla 10. Estos valores se obtuvieron del Anexo 2.

Tabla 10: Número de datos de cada parámetro durante el periodo de estudio 2014-2016

| | Número de datos | | | |
|-----------------------------------|-----------------|------|------|-------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | TOTAL |
| AyG | 12 | 11 | 9 | 32 |
| DBO₅ | 12 | 11 | 9 | 32 |
| SST | 12 | 11 | 9 | 32 |
| pH | 12 | 11 | 9 | 32 |
| Coliformes Termotolerantes | 12 | 11 | 9 | 32 |
| TOTAL | 60 | 55 | 45 | 160 |

4.1 Análisis de datos de los monitoreos de efluentes por Boxplot

En la figura 3 se aprecia el Diagrama Boxplot para los datos de AyG, DBO₅, SST, pH y Coliformes Termotolerantes del EIP de la Bahía de Sechura en el período de 2014-2016.

Para el parámetro AyG se observa que para el año 2015 los datos presentan una mayor variabilidad, mientras que para los años 2014 y 2016 la variabilidad fue menor, la mediana tiene una tendencia a aumentar cada año; y se aprecia un valor atípico para el año 2014 y otro para el año 2016.

Respecto al parámetro DBO₅ se observa que para el año 2014 los datos presentan una mayor variabilidad a comparación de los años 2015 y 2016; la mediana presenta una tendencia fluctuante, siendo la menor en el 2015, y presentándose también un valor atípico.

Respecto al parámetro SST se puede observar que los menores valores se presentaron en el 2015; la mediana tiene una tendencia ligeramente fluctuante, y en el año 2014 y 2016 se presentaron dos datos atípicos para cada año; por último, en el año 2016, se presentaron mayores valores de concentración.

En relación al parámetro pH se puede deducir que para el año 2015 la variabilidad fue mayor; la mediana tiene una tendencia a aumentar para el año 2015 y 2016, y para este último año la mediana fue mayor y la variabilidad menor, y por último se presentaron dos datos atípicos para el año 2016.

Con respecto al parámetro Coliformes Termotolerantes se puede observar que para el año 2014 se presenta una mayor variabilidad; la mediana tiene una tendencia fluctuante y una disminución significativa para el año 2016, y por último se aprecia dos valores atípicos para el año 2014 y 2015.

Los diagramas de Box Plot en general nos indican que no hay una tendencia definida en la variabilidad de los datos de concentración para los parámetros analizados en los tres años de estudio y el número de datos atípicos que se presentaron en el monitoreo para los diferentes parámetros es bajo y en todo caso podría deberse a múltiples factores como deficiencia en los monitoreos, manejo inadecuado del sistema de tratamiento o también variaciones en la calidad de materia prima.

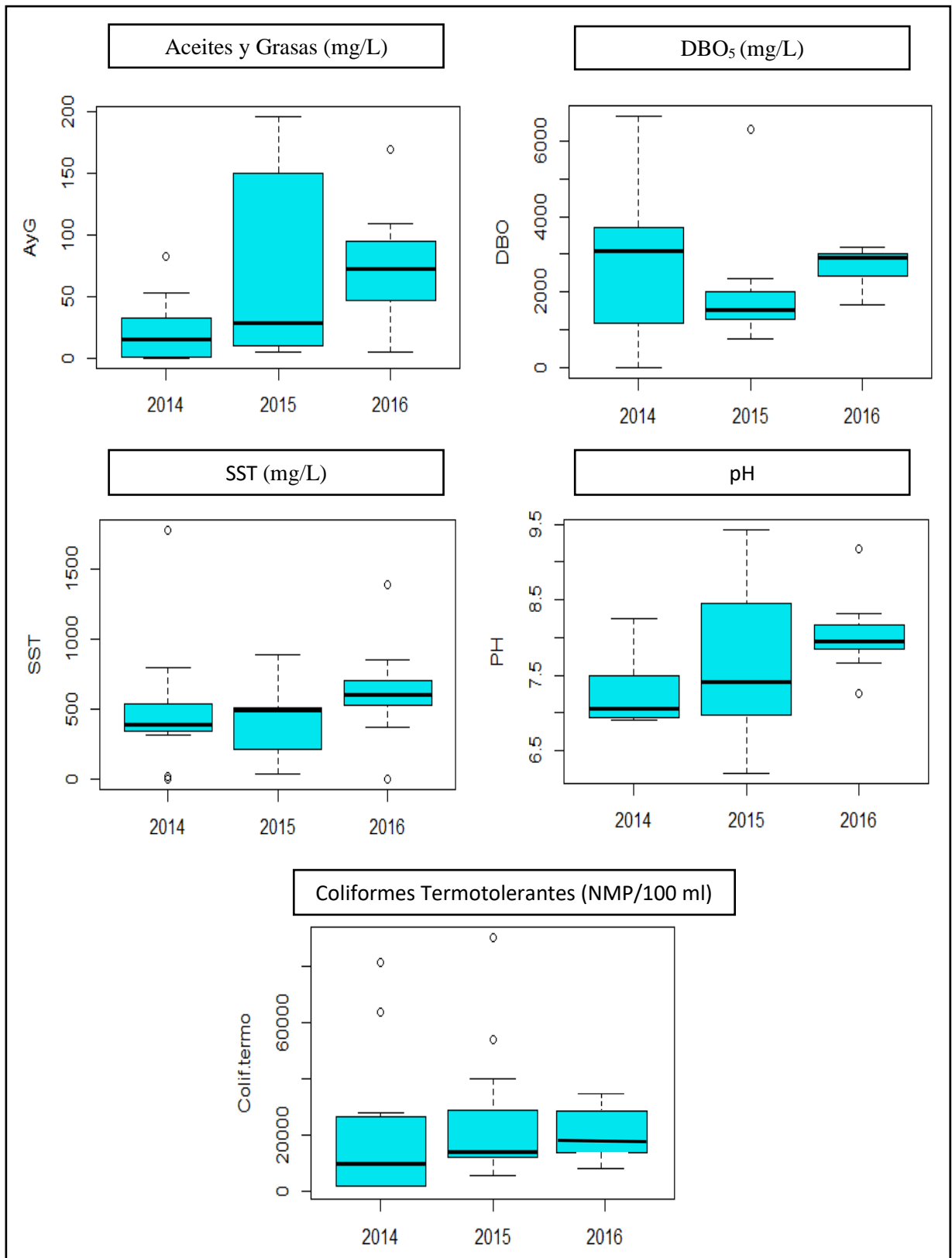


Figura 3: Diagrama Boxplot para los parámetros.

4.2 Variación temporal de los parámetros

La información general de las concentraciones de los parámetros y los datos de la producción de la planta en las fechas de los monitoreos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Concentraciones mensuales de cada parámetro a la salida de la PTARI

| | AyG mg/L | DBO₅ mg/L | SST mg/L | pH | Colif.Term. NMP/100ml | Produc. Tn/día | Descripción del producto congelado |
|--------|--------------------|--------------------------------|--------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|---|
| ene-14 | 82,70 | 3345.0 | 800,00 | 7,10 | 27900 | 29,08 | Filete de perico |
| feb-14 | 52,85 | 5932.5 | 448,00 | 8,05 | 51500 | 27,00 | Recortes de pote |
| mar-14 | 24,15 | 6660.0 | 1777,50 | 7,22 | 4750 | 54,00 | Nuca de pota |
| abr-14 | 28,10 | 3315.0 | 412,50 | 7,02 | 54000 | 23,42 | Tentáculo de pota |
| may14 | 1,13 | 1319.0 | 377,50 | 6,91 | 1950 | 20,004 | Rodajas de pota |
| jun-14 | 1,95 | 54.50 | 11,05 | 7,55 | 25000 | 10,00 | Rodajas de pota |
| jul-14 | 0,50 | 2.00 | 5,00 | 6,96 | 1880 | 7,55 | Filete de anguila |
| ago-14 | 11,20 | 6975 | 1049,50 | 6,94 | 14752 | 28,70 | Filete de anguila |
| sep-14 | 0,50 | 2.00 | 14,60 | 7,12 | 2568 | 4,00 | Filete de anguila |
| oct-14 | 37,60 | 3225 | 454,00 | 6,95 | 16099 | 24,00 | Anillas de pota |
| nov-14 | 0,72 | 1045 | 627,00 | 7,60 | 2070 | 19,84 | Tentáculos de pota |
| dic-14 | 28,60 | 2725 | 314,00 | 6,92 | 1687 | 24,00 | Tentáculos de pota |
| ene-15 | 21,70 | 6300 | 580,00 | 6,96 | 3641 | 36,00 | Anillas de pota |
| feb-15 | 37,00 | 1150 | 518,00 | 6,76 | 54000 | 25,00 | Anillas de pota |
| mar-15 | 1,40 | 27.00 | 1,30 | 7,56 | 1365 | 13,00 | Aleta de pota |
| abr-15 | 5,91 | 750.00 | 490,00 | 6,98 | 14000 | 14,10 | Rodajas de pota |
| may15 | 157,00 | 2300 | 735,00 | 7,43 | 12000 | 22,00 | Filete de pota |
| jun-15 | 1,30 | 25.00 | 1,70 | 7,86 | 1287 | 9,00 | Rodajas de pota |
| jul-15 | 10,80 | 1500 | 37,50 | 8,60 | 10000 | 17,00 | Rodajas de pota |
| ago-15 | 147,32 | 2350 | 491,00 | 7,23 | 13500 | 24,00 | Recortes de pota |
| sep-15 | 1,90 | 55.00 | 32,80 | 8,01 | 555 | 16,99 | Rodajas de pota |
| oct-15 | 106,00 | 1500 | 287,00 | 7,69 | 12009 | 27,00 | Tentáculos de pota |
| dic-15 | 195,79 | 1550 | 512,00 | 8,43 | 19900 | 15,43 | Porción de perico |
| ene-16 | 94,60 | 1650 | 375,00 | 8,17 | 33000 | 18,16 | Porción de perico |
| feb-16 | 109,40 | 3000 | 589,00 | 7,66 | 18001 | 31,20 | Aleta pota cocida |
| mar-16 | 52,30 | 2000 | 684,00 | 7,25 | 1000 | 19,00 | Filete de anguila |
| abr-16 | 116,00 | 3138 | 493,80 | 7,95 | 13456 | 24,00 | Recortes de pota |
| may16 | 199,40 | 2850 | 975,00 | 8,18 | 1300 | 13,86 | Filete de anguila |
| jun-16 | 5,05 | 380.00 | 122,00 | 7,84 | 10054 | 20,00 | Filete de pota |
| oct-16 | 62,00 | 675.00 | 348,00 | 8,32 | 998 | 7,50 | Tentáculo de pota |
| nov-16 | 83,00 | 1063 | 857,00 | 7,90 | 32000 | 8,14 | Filete de anguila |
| dic-16 | 95,50 | 3000 | 1390,00 | 7,96 | 9056 | 21,00 | Filete de anguila |

FUENTE: Elaboración propia.

En las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 se aprecia la evolución temporal de las concentraciones para cada uno de los parámetros analizados durante el periodo de estudio.

Para el parámetro AyG mostrado en la figura 4 se puede apreciar que los menores valores se presentaron en el 2014, para luego mostrar fuertes fluctuaciones en el 2015 y parte del 2016, esto podría deberse a que en el 2014 la PTARI tuvo una mayor eficiencia de remoción con respecto a este parámetro, y que en los años posteriores presenta una menor eficiencia debido a la falta de mantenimiento.

En general no se identifica una tendencia definida parecida a la producción a lo largo de los 3 años de estudio, debido que al no tener un control del caudal o del volumen de agua de ingreso y de salida a la planta de tratamiento; es probable que en los meses donde se ve que la producción aumenta y que la concentración de AyG disminuye es porque se usó un mayor volumen de agua (en el proceso de fileteado y lavado de materia prima o en la limpieza de la planta y de los equipos); y en caso contrario, donde se ve que la producción disminuye y la concentración de AyG aumenta es porque se usó un menor volumen de agua.

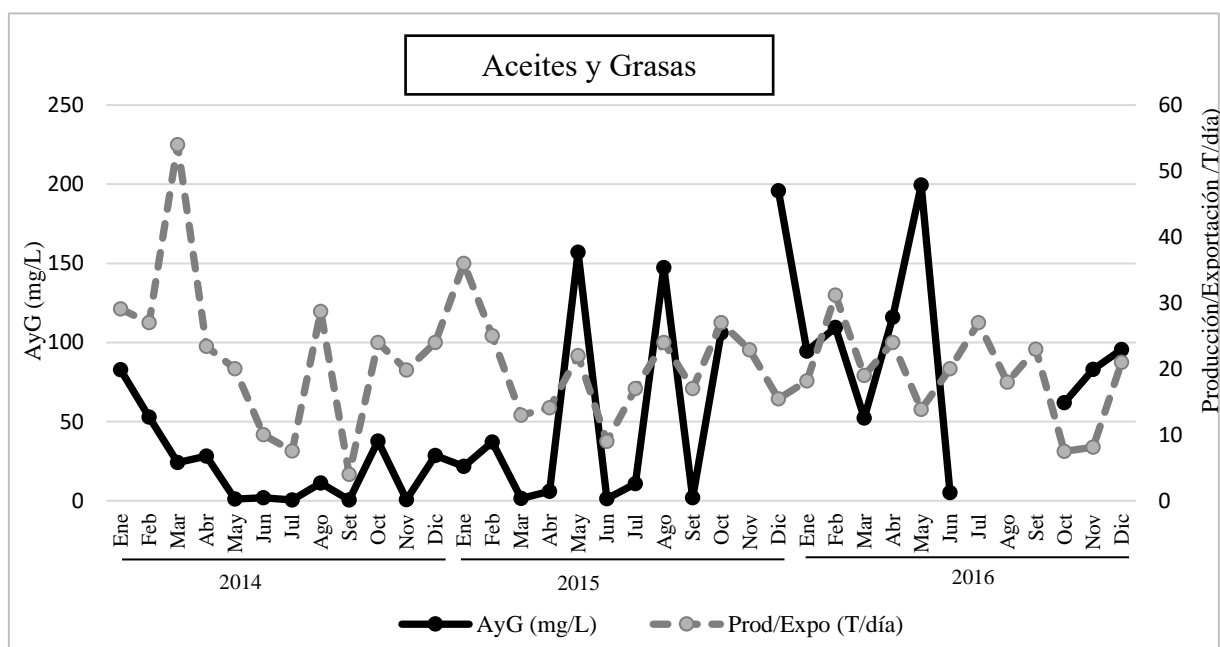
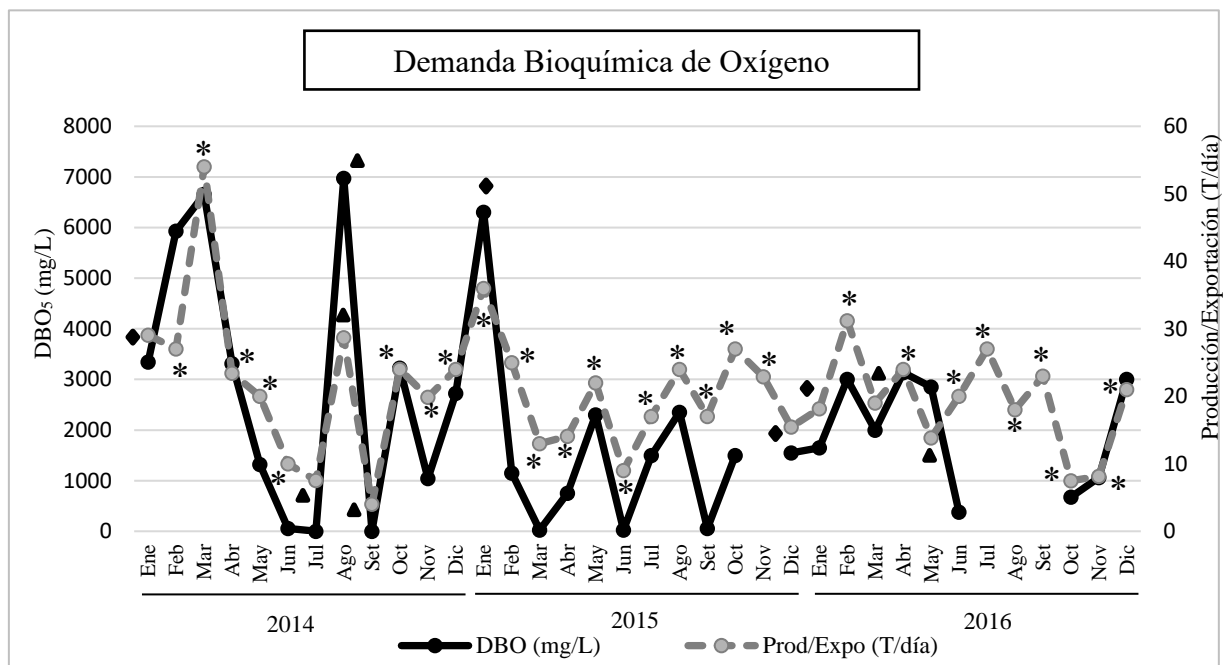


Figura 4: Variación Temporal de AyG en el efluente asociado a la producción.

Con respecto al parámetro DBO₅, en la figura 5 se puede apreciar que en el 2014 y 2015 se presentan fuertes fluctuaciones y que en general existe una tendencia definida parecida a la

producción. Se observa que aproximadamente al mismo nivel de producción de toneladas al día, la concentración de DBO₅ del efluente al procesar anguila, pescado azul (Vigo, 2016), es mayor que al procesar perico, pescado blanco (Delgado 2018), cumpliéndose así lo que afirman los autores Arvanitoyannis y Kassaveti (2008), que el efluente al procesar pescado blanco presenta una menor concentración de DBO₅ que el pescado azul; es decir que la concentración de DBO₅ del efluente varía según la especie a procesar.

En la figura 5 también se observa que, para el mismo nivel de producción de anguila, pota y perico el efluente al procesar anguila presenta mayores concentraciones de DBO₅, seguido del efluente del procesamiento de perico y por último del de pota.



Pota (*), Anguila (), Perico ().

Figura 5: Variación Temporal de DBO₅ en el efluente asociado a la producción.

Con respecto al parámetro SST en la figura 6, se presentaron valores fluctuantes a lo largo de los tres años y en general se observa una tendencia parecida a la producción diaria, esto debido a que según Thomas (2016) los residuos sólidos como vísceras, despojos, sangre, aletas y cabezas de pescado contribuyen a la concentración de sólidos en suspensión en el efluente; por tanto, a mayor producción en toneladas al día, mayor concentración de SST en el efluente industrial.

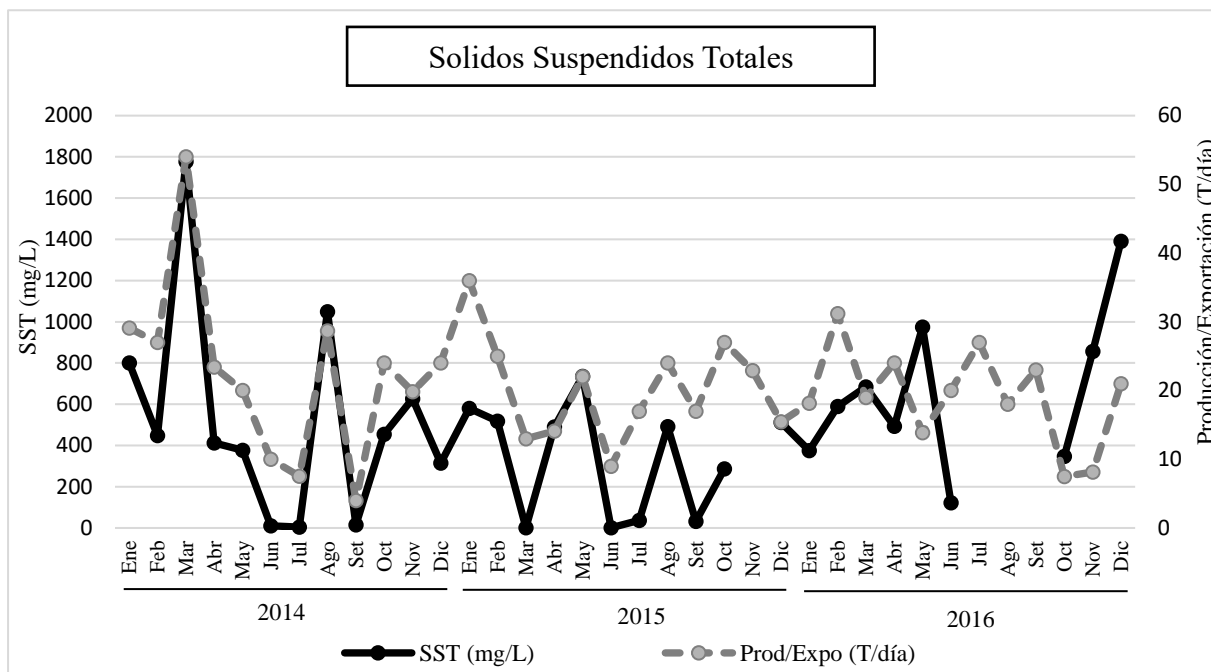


Figura 6: Variación Temporal de SST en el efluente asociado a la producción.

En relación al parámetro pH, en la figura 7, se puede apreciar que a lo largo de los tres años se presentaron valores muy fluctuantes teniendo como mínimo valor en el mes de febrero 2015 de 6.76 y como máximo valor en el mes de julio del mismo año con un valor de 8.6.

No se observa alguna tendencia semejante a la producción diaria de la empresa, ya que la variación de este parámetro depende de principalmente de procesos químicos que se dan en el agua, según Kavitha (2012) como la descomposición de la materia proteica y la emisión de compuestos de amoniaco, y también influencia de otros compuestos, según Thomas (2016) como los detergentes y desinfectantes que se aplican durante las actividades de limpieza.

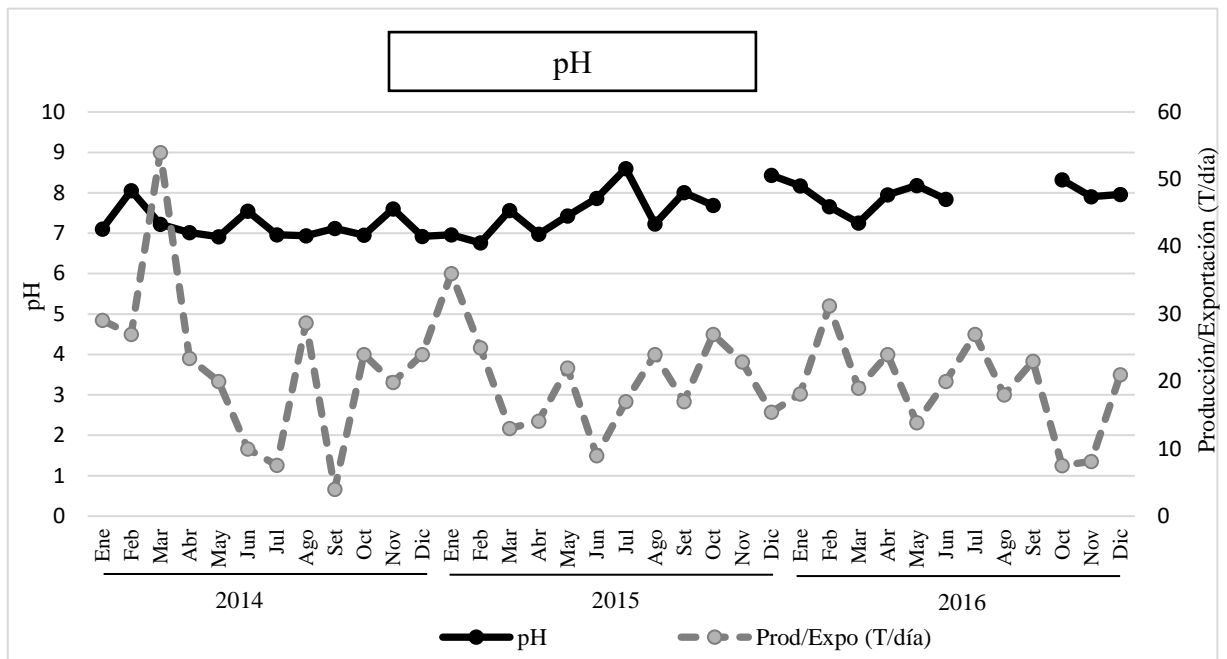


Figura 7: Variación Temporal de pH en el efluente asociado a la producción.

Con respecto al parámetro coliformes termotolerantes, en la figura 8 se observa que en el periodo de estudio del 2014 al 2016 las concentraciones son altamente fluctuantes. No se observa alguna tendencia parecida con la producción de la empresa ya que básicamente la carga bacteriana aumenta a lo largo de los diferentes pasos en el procesamiento debido principalmente a la contaminación por hielo, agua, superficie de contacto de utensilios y manos de los trabajadores. (Thomas, 2016).

Por otro lado es preciso mencionar que el efluente industrial no se junta con el efluente doméstico, ya que este pasa por una planta de tratamiento biológica aparte y es vertido dentro del perímetro de las instalaciones del E.I.P.

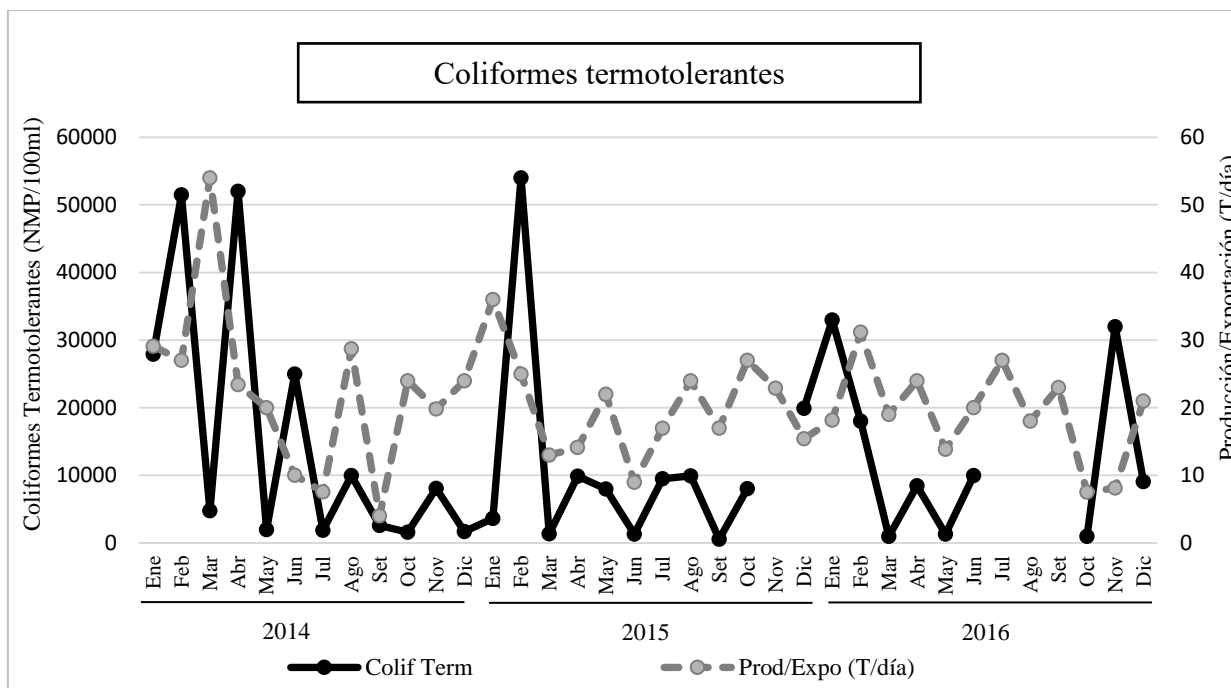


Figura 8: Variación Temporal de coliformes termotolerantes en el efluente asociado a la producción.

4.3 Cumplimiento de los LMP de los monitoreos de efluentes

En la figura 9, el contenido de AyG, durante todo el periodo siempre está por debajo del LMP establecido en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE (LMP AyG=350 mg/L). Con respecto a lo establecido en la R.M. N° 178-2014-MINAM (LMP AyG=200 mg/L) todos los monitoreos periodo 2014-2016 cumplen también con LMP establecido en la normativa. Referente al LMP referencial del país de Ecuador, solo el 50 por ciento cumple con lo establecido en la norma técnica D.E. N° 1589. (LMP ref= 30 mg/L).

Se observa una diferencia significativa entre los valores de LMP establecidos por ambos países.

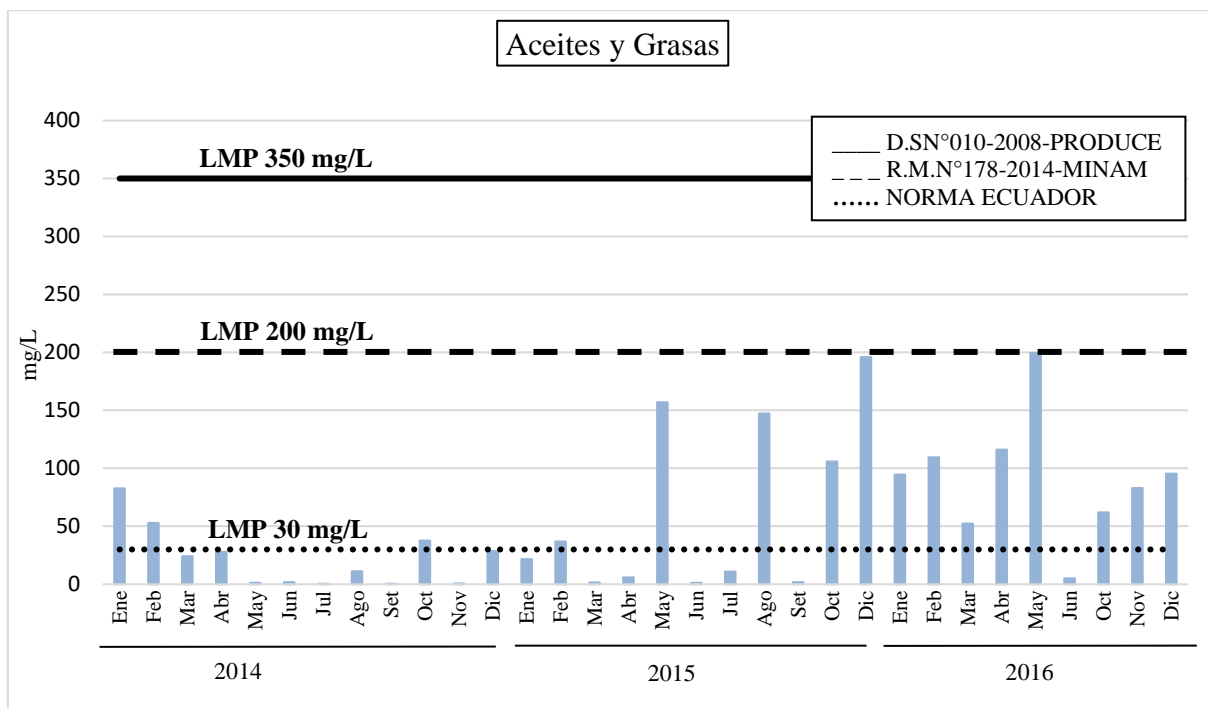


Figura 9: Cumplimiento de LMP para AyG en el periodo 2014-2016.

En la figura 10, con respecto al parámetro DBO_5 , en el D.S. N°010-2008-PRODUCE no se estableció el valor del LMP para la zona fuera de protección ambiental litoral, pero si ≤ 60 mg/L dentro de la zona protegida. Con respecto a la R.M. N°178-2014-MINAM (LMP $DBO=500$ mg/L), se observa un 22 por ciento de cumplimiento los monitoreos periodo 2014-2016, al igual que lo establecido en la normativa del país de Ecuador (LMP ref $DBO=400$ mg/L)

Por otro lado, en la normativa actual, D.S. N° 010- 2018-.MINAM, no establecen el LMP para el parámetro DBO_5 ni LMP para efluentes que serán vertidos dentro de la zona de protección ambiental litoral.

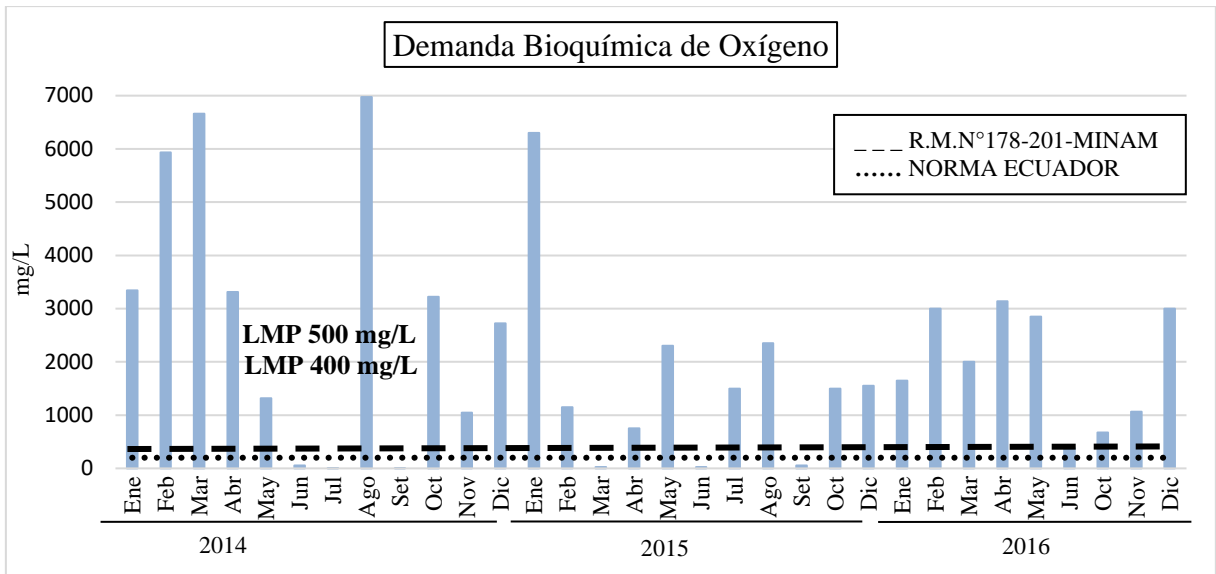


Figura 10: Cumplimiento de LMP para DBO₅ en el periodo 2014-2016.

Para el parámetro SST, según el D.S. N°010-2008-PRODUCE (LMP SST=700), se precisa que el cumplimiento es irregular en cada año, mostrando un 78 por ciento de monitoreos que se han mantenido dentro de rango del LMP. Al comparar con la R.M. N°178-2014-MINAM (LMP SST=350), se observa que el 34 por ciento cumple con los LMP establecidos, y respecto a la norma del país de Ecuador (LMP ref: =250) un 25 por ciento. Ver figura 11

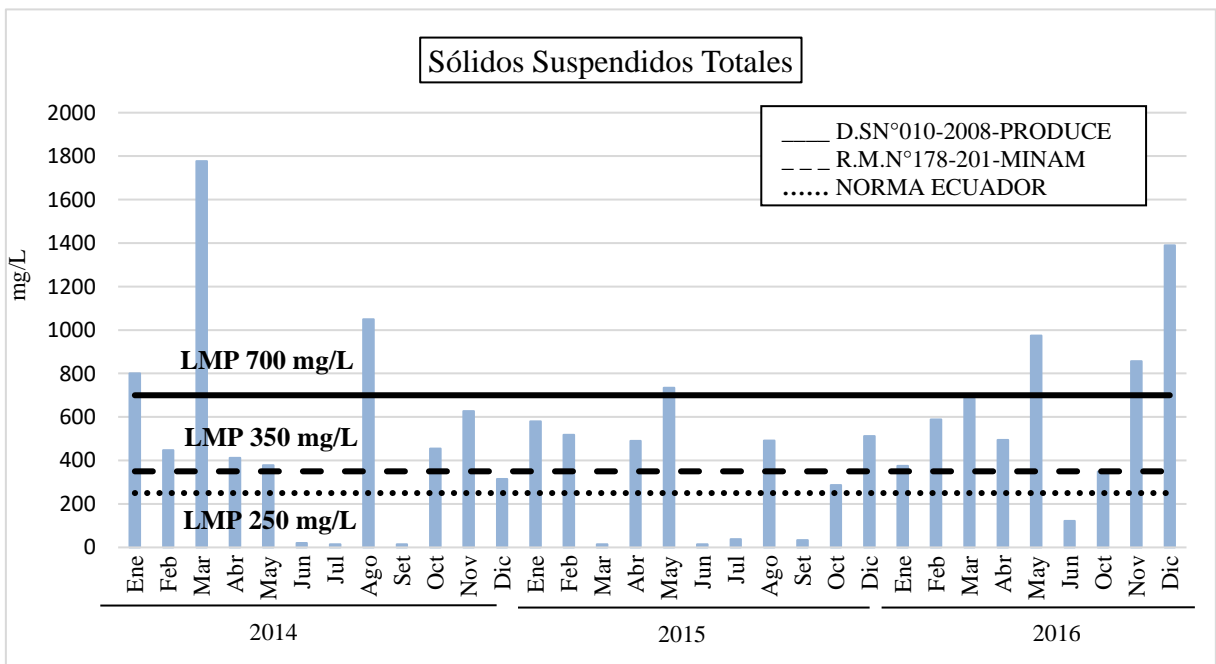


Figura 11: Cumplimiento de LMP para SST en el periodo 2014-2016.

Para el parámetro pH se observa en la figura 12, que todos los monitoreos realizados en el periodo 2014-2016 cumplen con lo establecido en el D.S. N°010-2008-PRODUCE (LMP pH 5-9) y R.M. N°178-2014-MINAM (LMP pH 6-9). De la misma manera muestra un cumplimiento de un 100 por ciento con la normativa actual D.S. N° 010-2018-MINAM (LMP pH 5-9), y del país de Ecuador (LMP ref. pH 6-9)

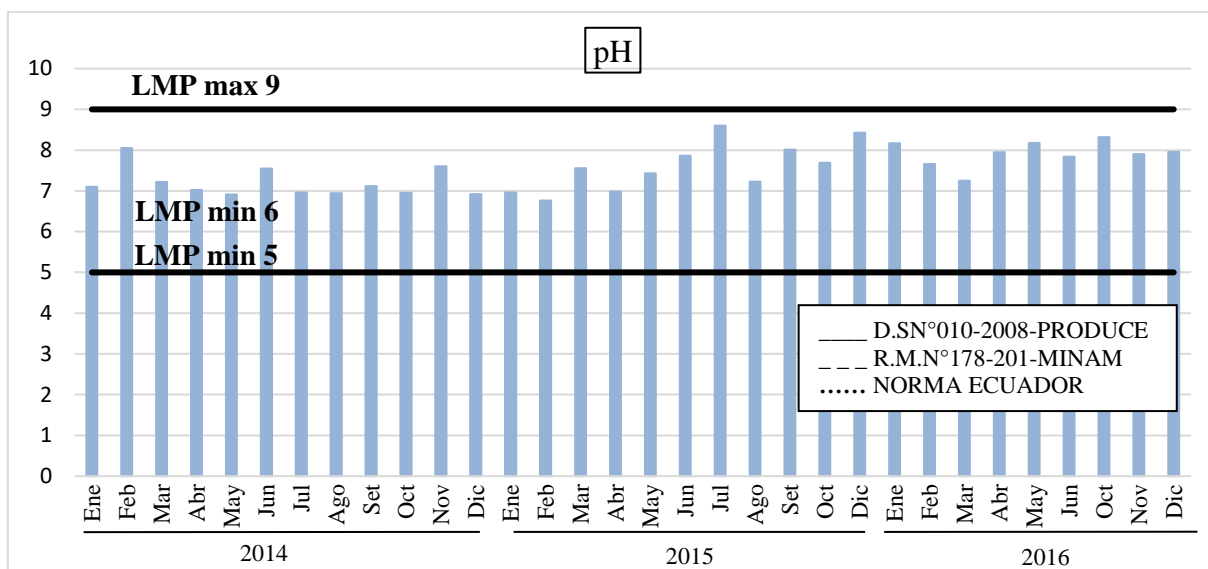


Figura 12. Cumplimiento de LMP para pH en el periodo 2014-2016

Para el parámetro coliformes termotolerantes no está establecido el LMP según el D.S. N° 010-2008-PRODUCE, ni para la normativa actual D.S. N°010-2018-MINAM. Según la R.M.N°178-2014-MINAM se estableció 10 000 NMP/100 mL como LMP para coliformes termotolerantes para efluentes que serán vertidos dentro de la zona de protección ambiental litoral. Por otro lado la normativa técnica de Ecuador establece el LMP para coliformes fecales.

En la figura 13, se observa un 50 por ciento de cumplimiento de todos los monitoreos realizados con lo establecido en la R.M. N°178-2014-MINAM (LMP 10 000 NMP/100 mL), tomando en este caso como referencia el LMP para efluentes que serán vertidos dentro de la zona de protección ambiental litoral, y un 34 por ciento respecto a la norma del país de Ecuador (LMP ref:=2 000 NMP/100 mL).

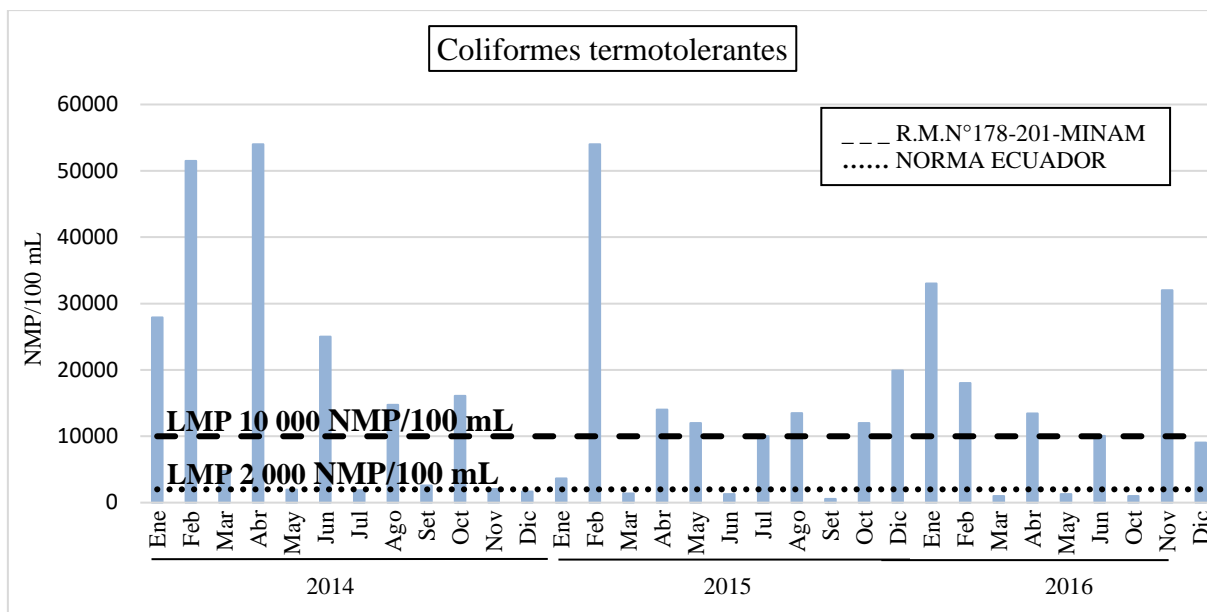


Figura 13. Cumplimiento de LMP para coliformes termotolerantes en el periodo 2014-2016.

Se estimó el grado de cumplimiento de los LMP en términos de porcentaje de los parámetros establecidos en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE, Límites Máximos Permisibles para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias, según la Autorización de Vertimiento otorgado por la ANA. En ese sentido, se tiene que la Empresa A, con respecto al parámetro AyG presentó un 100 por ciento de cumplimiento del LMP; el parámetro SST presentó un 78 por ciento de cumplimiento y el parámetro pH un 100 por ciento de cumplimiento.

Se estimó también el grado de cumplimiento con lo establecido en la R.M. N°178- 2014-MINAM, proyecto de Decreto Supremo que aprueban los LMP para efluentes de la industria pesquera de CHD. La Empresa A, con respecto al parámetro AyG presentó un 100 por ciento de cumplimiento del LMP establecido; el parámetro DBO₅ presentó un 22 por ciento, SST presentó un 34 por ciento y el parámetro pH un 100 por ciento de cumplimiento.

A continuación se presenta el cuadro resumen en la Tabla 12.

Tabla 12: Porcentaje de cumplimiento de los LMP durante el periodo 2014-2016

| Normativa | Porcentaje de cumplimiento % | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------|-----|-----|----------------------------|
| | AyG | DBO ₅ | SST | pH | Coliformes Termotolerantes |
| D.S. 010-2008-PRODUCE | 100 | - | 78 | 100 | - |
| R.M. N°178- 2014-MINAM | 100 | 22 | 34 | 100 | 50 |

El EIP cumplió con los LMP establecidos en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE, esto significa que según esta normativa ambiental, la empresa cuenta con un adecuado sistema integrado de tratamiento y disposición final de los efluentes generados. Sin embargo, esto no asegura la prevención y el control de la contaminación del cuerpo receptor, debido a que, son solo tres parámetros establecidos para efluentes vertidos fuera de la zona de protección ambiental litoral de cumplimiento, y no se establece la medición del caudal de vertimiento como parámetro de control en la Autorización de Vertimiento otorgado por la ANA. Con respecto a la R.M. N° 178-2014-MINAM, se establece seis parámetros para efluentes que serán vertidos dentro de la zona de protección ambiental litoral y cinco parámetros para fuera la zona de protección, de los cuales se han monitoreado cinco, y tres de ellos (AyG, pH, coliformes termotolerantes) cumplen con los LMP establecidos.

En la normativa ambiental de Ecuador, Decreto Ejecutivo N° 1589, están establecidos los LMP de 25 parámetros entre físicos, químicos y microbiológicos; entre ellos DBO₅, SST, AyG, pH y coliformes, para descarga a un cuerpo de agua marina en zona de rompientes y mediante emisores submarinos. (Anexo 1). Entonces al observar la amplia diferencia de normativa ambiental que cada país establece, se podría decir que la normativa de Ecuador es más estricta, con el fin de proteger la calidad del recurso agua asegurando un control de la contaminación ambiental.

Con respecto al parámetro DBO₅, según Lawrence (2005) los efluentes de la industria pesquera presenta altas concentraciones de DBO₅, convirtiéndolo en el parámetro más adecuado para evaluar el grado de contaminación de aguas residuales, y según Cristovão (2012) los parámetros básicos que influyen en la caracterización de un efluente son las concentraciones de DBO₅ y SST. Sin embargo, en este contexto, en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE no se establece el LMP de DBO₅ para vertimientos fuera de la zona de

protección ambiental, a comparación de la R.M N°178-2014-MINAM donde si establecen LMP para efluentes que serán vertidos dentro y fuera de la zona de protección ambiental litoral, sin embargo esta normativa solo quedó como proyecto de Decreto Supremo.

Actualmente en el D.S. N°010-2018-MINAM, el cual deroga el D.S. N° 010-2008-PRODUCE, solo establece AyG, SST y pH como parámetros de control de manera general, sin categorizar los efluentes que serán vertidos dentro o fuera de la zona de protección ambiental litoral.

4.4 Eficiencia de remoción de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales

Los monitoreos para el análisis de eficiencia de remoción de la planta de tratamiento se realizaron de forma mensual cada tres meses estimándose de forma cuantitativa para cada uno de los parámetros contaminantes presentes en el efluente aplicando la ecuación de eficiencia. El resultado de la eficiencia de remoción de los años 2014 y 2015 de la referida Planta de Tratamiento se muestra en la Tabla 13 a partir de la cual se elaboró la figura 14, donde se muestra la tendencia de la eficiencia de remoción de los parámetros de contaminantes realizada por la PTARI de la empresa pesquera. La información analizada se muestra en el Anexo 3

Tabla 13: Eficiencia de remoción de la PTARI para cada parámetro contaminante

| AyG | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------------|
| Año | Mes | AT (mg/L) | DT (mg/L) | Eficiencia % | Promedio anual % |
| 2014 | Marzo | 13.5 | 1 | 92.59 | 88.46 |
| | Junio | 12.5 | 1.5 | 88.00 | |
| | Setiembre | 11.5 | 1.3 | 88.70 | |
| | Diciembre | 11 | 1.7 | 84.55 | |
| 2015 | Marzo | 10 | 1.4 | 86.00 | 84.89 |
| | Junio | 11 | 1.3 | 88.18 | |
| | Setiembre | 11 | 1.9 | 82.73 | |
| | Diciembre | 12.1 | 2.1 | 82.64 | |

| DBO ₅ | | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|
| Año | Mes | AT (mg/L) | DT (mg/L) | Eficiencia % | Promedio % |
| 2014 | Marzo | 1555 | 48 | 96.91 | 97.01 |
| | Junio | 1345 | 45 | 96.65 | |
| | Setiembre | 1280 | 37 | 97.11 | |
| | Diciembre | 1180 | 31 | 97.37 | |
| 2015 | Marzo | 1232 | 27 | 97.81 | 97.55 |
| | Junio | 1310 | 25 | 98.09 | |
| | Setiembre | 1750 | 55 | 96.86 | |
| | Diciembre | 1250 | 32 | 97.44 | |

| SST | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|
| Año | Mes | AT (mg/L) | DT (mg/L) | Eficiencia % | Promedio % |
| 2014 | Marzo | 108 | 2.5 | 97.69 | 97.98 |
| | Junio | 111 | 2.3 | 97.93 | |
| | Setiembre | 132 | 2.8 | 97.88 | |
| | Diciembre | 121 | 1.9 | 98.43 | |
| 2015 | Marzo | 134 | 1.3 | 99.03 | 98.23 |
| | Junio | 137 | 1.7 | 98.76 | |
| | Setiembre | 890 | 32.8 | 96.31 | |
| | Diciembre | 137 | 1.6 | 98.83 | |

| Coliformes Termotolerantes | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|
| Año | Mes | AT (mg/L) | DT (mg/L) | Eficiencia % | Promedio % |
| 2014 | Marzo | 15555 | 4354 | 72.01 | 79.42 |
| | Junio | 13654 | 3596 | 73.66 | |
| | Setiembre | 14974 | 2568 | 82.85 | |
| | Diciembre | 15546 | 1687 | 89.15 | |
| 2015 | Marzo | 14867 | 1365 | 90.82 | 92.93 |
| | Junio | 11547 | 1287 | 88.85 | |
| | Setiembre | 12593 | 555 | 95.59 | |
| | Diciembre | 11293 | 401 | 96.45 | |

*AT: Punto de muestreo antes del sistema de tratamiento (efluente no tratado)

*DT: Punto de muestreo después del sistema de tratamiento (efluente tratado)

En la figura 14, con respecto al parámetro AyG la eficiencia durante los dos años analizados muestra una tendencia a la baja desde 92.5 por ciento hasta 82.6 por ciento; esto podría deberse a que no se realizó el mantenimiento correspondiente en el sistema DAF, llevando a un aumento de la cantidad de AyG que pudo estar adherido en los conductos de la planta y reduciendo su eficiencia a largo plazo, y a la eficiencia del tratamiento de coagulación y floculación, el cual su pudo ver afectado por las fluctuaciones de pH en el 2015, según como afirma el FONAM (2010) . En el año 2014 la eficiencia de remoción fue de 88.66 por ciento, mayor al del año 2015 el cual fue 85.66 por ciento, coincidiendo con la variación temporal donde las concentraciones en el 2014 son menores que en el año 2015. En general el sistema de tratamiento logra una eficiencia de remoción de AyG mayor al 85 por ciento, esto demuestra que el tratamiento físico DAF en combinación al tratamiento químico coagulación y floculación permite disminuir notablemente los valores de AyG, tal como lo afirma el autor Quevedo (2016). Sin embargo esta eficiencia podría ser mayor si se logra remover semanalmente los lodos acumulados en el fondo del tanque y disponerlos adecuadamente, según Chasi & Montenegro (2016).

En relación al parámetro DBO_5 , la eficiencia de remoción no muestra diferencias significativas durante todo el periodo de estudio, en el 2014 fue de 97.01 por ciento menor a 97.55 por ciento del 2015. Respecto a la variación temporal de la eficiencia de remoción, en la figura N°14, se observa que la eficiencia de remoción de DBO_5 permanece constante durante todo el año 2014 hasta el tercer trimestre del 2015, donde presenta una ligera variación hacia el último trimestre del año.

Con respecto al parámetro SST, la eficiencia de remoción en el 2014 fue de 97.99 por ciento y en el 2015 de 96.92 por ciento. En la figura 14, respecto a la variación de la eficiencia de remoción en el tiempo, se observa que tiene la misma tendencia a la del parámetro DBO_5 . En general, según la Tabla 13, se observa que la mayor eficiencia de remoción a comparación de los demás parámetros la presenta el parámetros SST, esto debido a que no se emplea el sistema DAF como único tratamiento, ya que se aplican diversos tratamientos que tienen un mayor efecto en la reducción de SST como cribado, filtro tambor rotativo y sistema DAF reforzado con coagulación-floculación; siendo este último tratamiento químico, según Quevedo (2016), el que permite disminuir significativamente la concentración de SST al igual que AyG.

En relación al parámetro coliformes termotolerantes la eficiencia de remoción en el año 2014 fue de 86.26 por ciento y de 97.31 por ciento en el 2015, y según la figura 14, fue aumentando significativamente a lo largo de todo el periodo de estudio; entonces, ya que ningún tratamiento físico o químico de la PTARI reduce la concentración de este parámetro, es más probable que la razón sea por las fluctuaciones de los valores de pH en el año 2015, ya que según Thomas (2016) esto puede afectar a la tasa de reacciones y la supervivencia de microorganismos como los coliformes termotolerantes.

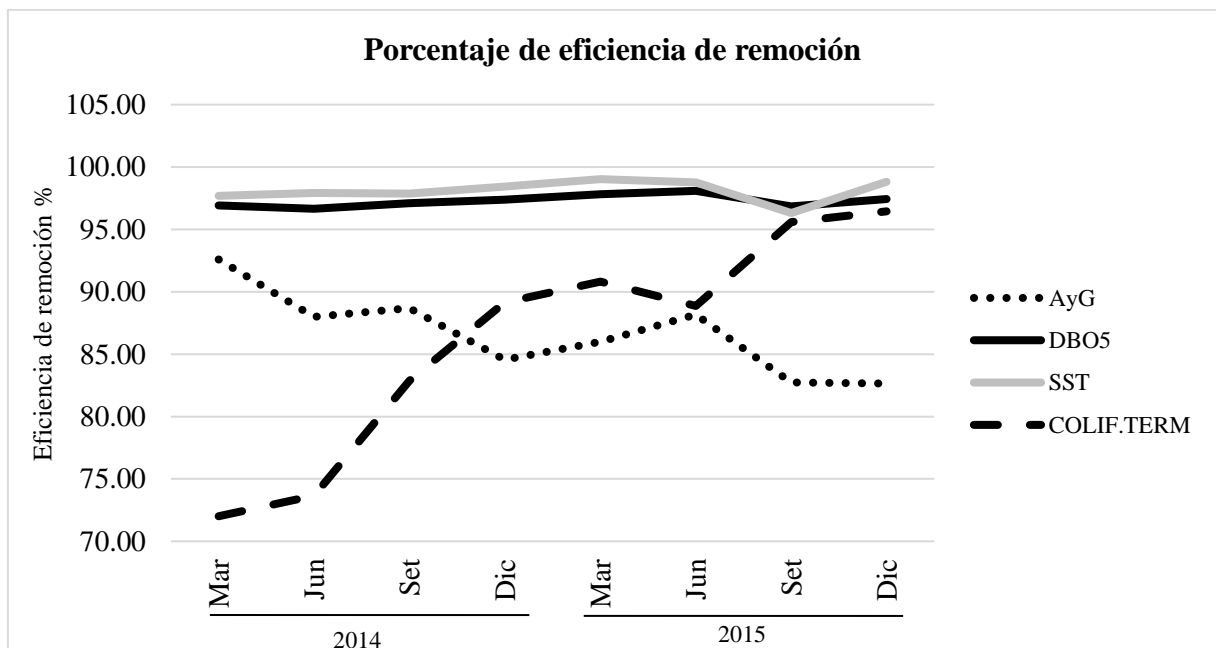


Figura 14: Variación del porcentaje de eficiencia cada parámetro.2014 y 2015 .

V. CONCLUSIONES

1. Los parámetros aceites y grasas, pH y coliformes termotolerantes no mostraron una tendencia definida con relación a la producción; y respecto a los parámetros sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno si se observó una tendencia asociada a la producción.
2. La Empresa A cumplió con todos los LMP establecidos en el D.S. N° 010-2008-PRODUCE, en un 100 por ciento para aceites y grasas y pH, y en un 78 por ciento para el parámetro sólidos suspendidos totales durante el periodo de estudio 2014-2016.
3. La Empresa A cumplió con los LMP de dos parámetros de un total de cinco establecidos en el Proyecto de Decreto Supremo R.M.N°178-2014-MINAM, en un 100 por ciento para aceites y grasas y pH, en un 22 por ciento para demanda bioquímica de oxígeno y 34 por ciento para el parámetro suspendidos totales y un 50 por ciento para coliformes termotolerantes.
4. Con respecto a la eficiencia de remoción, el parámetro aceites y grasas presentó un promedio de 86.68 por ciento de eficiencia de remoción, demanda bioquímica de oxígeno un 97.28 por ciento, seguido por un 98.10 por ciento de sólidos suspendidos totales y un 86.18 por ciento de coliformes termotolerantes en el periodo 2014 al 2015.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda modificar el plan de mantenimiento de forma mensual para el tanque ecualizador y semanal para a las dos unidades DAF, con el fin de evitar los sedimentos o lodos acumulados en el fondo de las estructuras, y evitar que se vuelvan sépticas y mal olientes y así lograr un buen funcionamiento.
2. Se sugiere implementar un sistema de recirculación del agua tratada, de tal manera que un volumen del efluente tratado retorne al sistema de tratamiento para reducir la concentración de los parámetros más contaminantes (DBO_5) y así mejorar la calidad del efluente.
3. El Ministerio de Producción o el Ministerio del Ambiente deberán priorizar el establecimiento de los valores de LMP para el parámetro DBO_5 cuanto antes, para que los EIP puedan implementar o establecer medidas correctivas en sus sistemas tratamientos para el cumplimiento de la nueva normativa y de esta manera tener una legislación más rigurosa.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Alcayhuamán, R. & Yaya, R. (1997). Impacto ambiental y reutilización de residuos en la industria de harina de pescado. Tesis Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú.

Artiga, P.; García-Toriello, G.; Mendez, R. & Garrido, J.M (2008) Use of a hybrid membrane bioreactor for the reatment of saline wastewater from a fish canning Factory. Grecia. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407007369>

Arvanitoyannis, I.S. & Kassaveti, A. (2008). Food Waste Treatment Methodologies. Waste Management for the Food Industries. Grecia.

Autoridad Nacional del Agua. (2008). Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Agricultura. Decreto Legislativo N°997.

Autoridad Nacional del Agua. (2010). Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338.

Autoridad Nacional del Agua. (2013). Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reuso de Aguas Residuales Tratadas. Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA

Autoridad Nacional del Agua (2016). Clasificación de Cuerpos de Agua Marino-Costeros. Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA.

Autoridad Nacional del Agua. Visor de Autorización de Vertimientos. Recuperado de <http://geo.ana.gob.pe/calidad/>.

Bhattacharya, O.; Roy, A.; Sakar, S.; Ghosh, S., Majumdar, S.; Chakraborty, S.; Mandal, S.; Mukhopadhyay, A. & Bandyopadhyay, S. (2013). Combination technology of ceramic microfiltration and reverse osmosis for tannery wastewater recovery. *Water Resources and Industry*. (p. 48-62). Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371713000395>

Chasi, P.K & Montenegro, M.G. (2016). Análisis de eficiencia y propuesta de diseño de un tanque ecualizador y un tanque DAF para la planta de tratamiento de aguas residuales en la extractora de aceite de palma Teobroma. Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7406>

Cristovão, R.O.; Botelho, C.M; Martins, R.J., Loureiro, J.M. & Boaventura, R.A. (2014). Primary treatment optimization of a fish canning wastewater from a Portuguese plant. *Water Resources and Industry*. Portugal. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371714000183>

Cristovão, R.O.; Botelho, C.M; Martins, R.J., Loureiro, J.M. & Boaventura, R.A. (2015). Fish canning industry wastewater treatment for water reuse e a case study. *Journal of Cleaner Production* Portugal. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614011196>

Cristovão, R.O.; Botelho, C.M; Martins, R.J & Boaventura, R.A. (2012) Chemical and biological treatment of a fish canning wastewater. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics (IJBBB)*. Portugal. Recuperado de: <http://www.ijbbb.org/papers/108-B149.pdf>

D'Alessandri, M. (2012). Caracterización Y Tratamiento De Agua Residual Proveniente De Las Plantas De Producción. Venezuela. Recuperado de: <http://159.90.80.55/tesis/000155546.pdf>

Delgado, F. (2018). Diseño y propuesta de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, generados por las empresas pesqueras de la zona industrial de Tacna. Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales. Tacna.

Ecodesarrollo Ambiental S.A.C. (2017). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Incremento de Capacidad Instalada de una Planta de Congelado de Productos Hidrobiológicos de 54 T/día a 97,2 T/día. Sechura, Piura.

Espinoza, R. (2010). Planta de Tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores. Tesis para optar el título de Máster en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura, Piura, Perú. Lima

Fondo Nacional del ambiente -FONAM. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Lima.

Ghaly, A.E, Ramakrishan, V.V; Brooks, M.S., Budge, S.M. & Dave, D.. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils. A critical review. Journal of Microbial and Biochemical Technology. Canadá. Recuperado de: <https://www.longdom.org/open-access/fish-processing-wastes-as-a-potential-source-of-proteins-amino-acids-and-oils-a-critical-review-1948-5948.1000110.pdf>

Jamieson, B.L.; Gonçalves, A.A. & Gagnon, G. (2010). Evaluation of treatment options for Atlantic Canadian seafood processing plant effluent. Canadian Journal of Civil Engineering. Canadá. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/237152020_Evaluation_of_treatment_options_for_Atlantic_Canadian_seafood_processing_plant_effluent

José, H.J.; Moreira, R.F.; Luiz, d.b.; Virmond, E.; Genena, A.K.; Andersen, S.L; Sena, R.F. & Shroder, H.F. (2013). Water and wastewater management and biomass to energy conversion in a meat processing plant in Brazil. A case study. Londres.

Kavitha, R.V., Krishina Murthy, V., Makam, R., & Asith, K.A. (2012). Physico-chemical analysis of effluents from Pharmaceutical Industry and its Efficiency Study. International Journal of Engineering Research and Applications. India. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/960c/2c9f31b668876846e93790d5aa4b9dde01ec.pdf>

Larrimbe, L. 2014. Desarrollo de membranas cerámicas de ultrafiltración (UF) y nanofiltración (UF) para el tratamiento de aguas residuales. España.

Lawrence, K.W.; Yung-Tse, H.; Howard, H.; & Constantine, Y. (2005). Handbook of Industrial and Hazardous Waste Treatment. New York. USA.

Ministerio del Ambiente. (2008). Decreto Legislativo N° 1013. Aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente. (2008). Decreto Legislativo N° 997. Aprueba la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Agricultura. Título V. De los Órganos de Alta Dirección.

Ministerio del Ambiente (2009). Aprueban la Política Nacional del Ambiente, Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Lima.

Ministerio del Ambiente (2018). Aprueban Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto, Decreto Supremo N°010-2018-MINAM. Lima.

Ministerio del Ambiente (2014). Aprueban los límites máximos permisibles para efluentes de la industria pesquera de consumo humano directo. Resolución Ministerial N° 178-2014-MINAM. Lima.

Ministerio del Ambiente (2008). Modifican la Ley N°28611, Ley General del Ambiente. Decreto Legislativo N°1055. Lima.

Ministerio de la Producción. (1992). Decreto Ley N° 25977. Ley General de Pesca.Lima.

Ministerio de la Producción. (2008). Guía para la Actualización del Plan de Manejo Ambiental para que los titulares de los Establecimientos pesqueros alcancen el cumplimiento de los LMP.

Ministerio de la Producción. (2008). Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE. Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias.

Ministerio de Producción. (2015). Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola. Lima.

Morena, L.; Dias, V.; De Bem, D. & Pena, L. (2017). Potencial para la reutilización de efluentes de las industrias procesadoras de pescado. Brasil.

Muthukumar, S. & Baskaran, K. (2013) Organic and nutrient reduction in a fish processing facility: a case study. *International Biodeterioration and Biodegradation*. Australia. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830513001194>

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua Ecuador. (2006). Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador, anexo 1 del libro VI.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA. (2009). Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

Quevedo, H. (2016). Efecto de la Aplicación de nuevas tecnologías en el tratamiento de las aguas de bombeo, sobre la calidad de los efluentes de la empresa pesquera Pelayo S.A.C. de harina y aceite de pescado de Puerto Supe. Tesis de maestría en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Rodríguez, A y Letón, P. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Madrid. Recuperado de: https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

Pérez Gálvez, R.; Guadix, E.M.; Berge, J.P. & Guadix, A. (2011). Operation and cleaning of ceramic membranes for the filtration of fish press liquor. *Journal of Membrane Sciences*. Francia. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738811006909>

Souza, M.A. (2010). Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia. Doctoral Thesis. Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista. Sao Paulo. Recuperado de:

<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/100185>

Souza, M.A.; Chaguri, M.P.; Castelini, F.R.; Lucas Junior, J. & Vidotti, R.M. (2012). Anaerobic biodigestion of concentrate obtained in the process of ultrafiltration of effluents from tilapia processing unit. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Brasil.

Sunny, N. & Mathal, L. (2013). Physicochemical process for fish processing wastewater. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, India.

Tafur, AV, Aguinaga, E.; Zegarra, A. & Timaná F. (2013). Propuesta de Mejora de Tratamiento de Aguas Residuales en Una Empresa Pesquera. Universidad de Piura. Piura.

Thomas, S. (2016). Wastewater generation by seafood processing plants located in and around aroor, Kerela, India: Status, characterization and treatment using stringed bed suspended bioreactor. Doctor Thesis. Cochin University of Science and Technology. Kerala. India. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/821b/b5ddc568fcef59a09d79165c36b7f24dc58.pdf>

Vigo, K. (2016). Cambio físicos-químicos, microbiológicos y sensoriales de la anchoveta (*Engraulis ringens*) fresca con corte HGT a diferentes condiciones de envasado. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en tecnología de alimentos, UNALM. Lima.

VIII. ANEXO

Anexo 1. Descarga de efluentes mediante emisores submarinos Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador, 2006.

| Parámetros | Unidad | Límite máximo permisible | |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|
| | | (A) Descargas en zona de rompientes | (B) Descargas mediante emisores submarinos |
| Aceites y Grasas | mg/l | 30,0 | 30,0 |
| Arsénico total | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Aluminio | mg/l | 5,0 | 5,0 |
| Cianuro total | mg/l | 0,2 | 0,2 |
| Cinc | mg/l | 10,0 | 10,0 |
| Cobre | mg/l | 1,0 | 1,0 |
| Cobalto | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Coliformes fecales | NMP/100ml unidades de | 2000 | 2000 |
| Color | color | Inapreciable en dilución : 1/20 | Inapreciable en dilución : 1/20 |
| Cromo hexavalente | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Compuestos fenólicos | mg/l | 0,2 | 0,2 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (5días) | mg/l | 200,0 | 400,0 |
| Demanda química de oxígeno | mg/l | 400,0 | 600,0 |
| Hidrocarburos totales de petróleo | mg/l | 20,0 | 20,0 |
| Materia flotante | mg/l | Ausencia | Ausencia |
| Mercurio total | mg/l | 0,01 | 0,01 |
| Nitrogeno total | mg/l | 40,0 | 40,0 |
| Potencial de hidrógeno | mg/l | 06-sep | 06-sep |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/l | 250,0 | 250,0 |
| Sulfuros | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Compuestos organoclorados | ug/l | 50,0 | 50,0 |
| Compuestos organofosforados | ug/l | 100,0 | 100,0 |
| Carbamatos | mg/l | 0,25 | 0,25 |
| Temperatura | mg/l | <35 | <35 |
| Tensoactivos | mg/l | 0,5 | 0,5 |

Anexo 2. Datos de los parámetros monitoreados mensualmente 2014, 2015 y 2016

| FECHA DE MUESTREO | INFORME DE ENSAYO | AyG | DBO₅ | SST | Ph | Colif. Term. |
|--------------------------|--------------------------|------------|------------------------|------------|-----------|---------------------|
| 30/01/2014 | Nº 3-02050/14 | 82.7 | 3345 | 800 | 7.1 | 27900 |
| 26/02/2014 | Nº 3-03901/14 | 52.85 | 5932.5 | 448 | 8.05 | 51500 |
| 31/03/2014 | Nº 3-06133/14 | 24.15 | 6660 | 1777.5 | 7.22 | 4750 |
| 28/04/2014 | Nº 3-07800/14 | 28.1 | 3315 | 412.5 | 7.02 | 54000 |
| 29/05/2014 | Nº 3-10152/14 | 1.13 | 1319 | 377.5 | 6.91 | 1950 |
| 28/06/2014 | Nº 3-11858/14 | 1.95 | 54.5 | 11.05 | 7.55 | 25000 |
| 30/07/2014 | Nº 3-14430/14 | 0.5 | 2 | 5 | 6.96 | 1880 |
| 29/08/2014 | Nº 3-16478/14 | 11.2 | 6975 | 1049.5 | 6.94 | 14752 |
| 30/09/2014 | Nº 3-19023/14 | 0.5 | 2 | 14.6 | 7.12 | 2568 |
| 30/10/2014 | Nº 3-20592/14 | 37.6 | 3225 | 454 | 6.95 | 16099 |
| 28/11/2014 | Nº 3-23162/14 | 0.72 | 1045 | 627 | 7.6 | 2070 |
| 29/12/2014 | Nº 3-24659/14 | 28.6 | 2725 | 314 | 6.92 | 1687 |
| 30/01/2015 | Nº 3-02015/15 | 21.7 | 6300 | 580 | 6.96 | 3641 |
| 27/02/2015 | Nº 3-04203/15 | 37 | 1150 | 518 | 6.76 | 54000 |
| 27/03/2015 | Nº 1248-15 | 1.4 | 27 | 1.3 | 7.56 | 1365 |
| 30/04/2015 | Nº 3-08327/15 | 5.91 | 750 | 490 | 6.98 | 14000 |
| 30/05/2015 | Nº 3-11121/15 | 157 | 2300 | 735 | 7.43 | 12000 |
| 25/06/2015 | Nº 1751-15 | 1.3 | 25 | 1.7 | 7.86 | 1287 |
| 31/07/2015 | Nº 3-12933/15 | 10.8 | 1500 | 37.5 | 8.6 | 10000 |
| 31/08/2015 | Nº 3-15534/15 | 147.32 | 2350 | 491 | 7.23 | 13500 |
| 27/09/2015 | Nº 3-16971/15 | 1.9 | 55 | 32.8 | 8.01 | 555 |
| 27/10/2015 | Nº 3-19584/15 | 106 | 1500 | 287 | 7.69 | 12009 |
| 28/12/2015 | Nº 3-25867/15 | 195.79 | 1550 | 512 | 8.43 | 19900 |
| 29/01/2016 | Nº 3-01914/16 | 94.6 | 1650 | 375 | 8.17 | 33000 |
| 28/02/2016 | Nº 3-04467/16 | 109.4 | 3000 | 589 | 7.66 | 18001 |
| 31/03/2016 | Nº 3-06534/16 | 52.3 | 2000 | 684 | 7.25 | 1000 |
| 28/04/2016 | Nº 3-08812/16 | 116 | 3138 | 493.8 | 7.95 | 13456 |
| 30/05/2016 | Nº 3-11470/16 | 199.4 | 2850 | 975 | 8.18 | 1300 |
| 30/06/2016 | Nº 3-13862/16 | 5.05 | 380 | 122 | 7.84 | 10054 |
| 30/10/2016 | Nº 3-21125/16 | 62 | 675 | 348 | 8.32 | 998 |
| 30/11/2016 | Nº 3-25132/16 | 83 | 1063 | 857 | 7.9 | 32000 |
| 29/12/2016 | Nº 3-26694/16 | 95.5 | 3000 | 1390 | 7.96 | 9056 |

Anexo 3. Informes de monitoreo antes y después del tratamiento 2014 y 2015

| | | AT | DT | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|------|------|
| | | 25-Mar | | |
| INFORME DE ENSAYO N°1516-14 | AyG | 13.5 | 1 | |
| | DBO | 1555 | 48 | |
| | SST | 108 | 2.5 | |
| | CT | 15555 | 4354 | |
| | | 28-Jun | | |
| INFORME DE ENSAYO N°1617-14 | AyG | 12.5 | 1.5 | |
| | DBO | 1345 | 45 | |
| | SST | 111 | 2.3 | |
| | CT | 13654 | 3596 | |
| 2014 | 21-Set | | | |
| | INFORME DE ENSAYO N°1718-14 | AyG | 11.5 | 1.3 |
| | | DBO | 1280 | 37 |
| | | SST | 132 | 2.8 |
| CT | | 14974 | 2568 | |
| | | 12-Dic | | |
| INFORME DE ENSAYO N°2005-14 | AyG | 11 | 1.7 | |
| | DBO | 1180 | 31 | |
| | SST | 121 | 1.9 | |
| | CT | 15546 | 1687 | |
| | | 12-Mar | | |
| INFORME DE ENSAYO N°1248-15 | AyG | 10 | 1.4 | |
| | DBO | 1232 | 27 | |
| | SST | 134 | 1.3 | |
| | CT | 14867 | 1365 | |
| | | 12-Jun | | |
| INFORME DE ENSAYO N°1751-15 | AyG | 11 | 1.3 | |
| | DBO | 1310 | 25 | |
| | SST | 137 | 1.7 | |
| | CT | 11547 | 1287 | |
| 2015 | 15-Set | | | |
| | INFORME DE ENSAYO N°1853-15 | AyG | 11 | 1.9 |
| | | DBO | 1750 | 55 |
| | | SST | 890 | 32.8 |
| CT | | 12593 | 555 | |
| | | 15-Dic | | |
| INFORME DE ENSAYO N°1025-15 | AyG | 12.1 | 2.1 | |
| | DBO | 1250 | 32 | |
| | SST | 137 | 1.6 | |
| | CT | 11293 | 401 | |