

# **Oportunidades de Producción Más Limpia en la industria del procesamiento de pescado**

**Ana Rut Benitez Jerezano**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Oportunidades de Producción Más Limpia en la industria del procesamiento de pescado**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Ana Rut Benitez Jerezano**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2017

# Oportunidades de Producción Más Limpia en la industria del procesamiento de pescado

Ana Rut Benitez Jerezano

**Resumen.** La Producción Más Limpia (PML) es una herramienta de optimización de procesos orientados a la prevención de contaminantes, que puede integrarse en planta de elaboración de alimentos. En la industria del procesamiento de pescado, la PML surge como una metodología que permite la reducción de residuos, recuperación de subproductos y costos. El resultado de PML es el fortalecimiento de la gestión ambiental de la empresa. Para el desarrollo de este estudio se realizó el diagnóstico de la empresa, identificando las operaciones unitarias del procesamiento de pescado y las corrientes de residuos líquidos generadas. Se esquematizó la información mediante la construcción de un balance de materiales, priorizando las corrientes contaminantes mediante criterios económicos y normativos. Se realizó un análisis de causas que derivan en las corrientes de residuos de mayor importancia para identificar las oportunidades de Producción Más Limpia. El análisis muestra que las corrientes de agua residual que necesitan mayor atención resultan de las operaciones de Degolle y Belly Meat. Los resultados apuntan a la implementación de mecanismos de control para reducción del consumo de agua y limpiezas en seco para recolectar el material orgánico previo a su descarte como parte de las corrientes de agua residual.

**Palabras clave:** Minimización de residuos, optimización de procesos, prevención de contaminación.

**Abstract.** Cleaner Production (CP) is a tool for process optimization aimed to prevent pollution, which can be integrated into food processing plants. In the fish processing industry, CP emerges as methodology that allows the by-products recovery, reduction of waste and operation costs, resulting in strengthening of the company environmental management. For this study, the company was diagnosed, identifying the unit operations of fish processing and its liquid waste streams generated. The information was schematized through the construction of a mass balance, prioritizing the waste streams through economic and normative criteria. A cause analysis linked to the most important waste streams was carried out to identify Cleaner Production opportunities. The analysis shows that the wastewater streams that need the most attention come from the operations of Bleeding and Belly Meat. The results point to the implementation of control mechanisms to reduce water consumption and dry collection of the residual organic material prior to disposal as part of wastewater streams.

**Key words:** Pollution prevention, process optimization, waste minimization.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>5</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>24</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>27</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Metodología de ensayos fisicoquímicos recopilados para la caracterización del agua residual .....	7
2. Resultados de ensayos fisicoquímicos recopilados para la caracterización de agua residual .....	12
3. Entradas y salidas del proceso de producción afinado .....	12
4. Descripción de corrientes contaminantes por operación unitaria.....	16
5. Evaluación económica de las corrientes.....	16
6. Matriz de jerarquización para criterio económico.....	16
7. Evaluación Normativa de residuos.....	17
8. Matriz de jerarquización por criterio normativo .....	17
9. Resumen de valorización de residuos.....	18
10. Jerarquización de corrientes .....	18
11. Identificación de oportunidades de PML .....	20
Figuras	Página
1. Flujo esquemático del proceso en la planta procesadora .....	6
2. Esquema del proceso productivo .....	10
3. Gráfica del agua residual del efluente de la planta procesadora registrado en la Canaleta Parshall .....	11
4. Balance general de consumos de agua en planta procesadora, y su concentración de DQO (mg/L) . .....	15
5. Diagrama de causa y efecto para el área de Degolle .....	19
6. Diagrama de causa y efecto para el área de Belly Meat.....	19
Anexos	Página
1. Ciclo de implementación de Producción Más Limpia .....	26
2. Esquema de Proceso: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	27
3. Criterios para priorización en matrices.....	28
4. Balance de materiales de la corriente contaminante de Degolle .....	28
5. Continuación del balance de materiales del área de Degolle .....	28
6. Balance de materiales de la corriente contaminante del área de	

Fileteo .....	29
7. Balance de materiales de la corriente contaminante del área de Belly Meat.....	29
8. Balance de materiales de corriente contaminante de Arreglado .....	30
9. Balance de materiales de corriente contaminante del área de Empaque .....	30
10. Continuación de balance de materiales de corrientes contaminantes del área de Empaque.....	31
11. Identificación de corrientes de residuos en Planta Procesadora.....	31
12. Estrategias de prevención de contaminación enmarcada en PML .....	31

# 1. INTRODUCCIÓN

El término Producción Más Limpia (PML) fue introducido por la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1989 (Paredes, 2014). La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2007), define la PML como “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos sociales y el medio ambiente”. Inició en Estados Unidos y luego en países de Europa Occidental por medio de programas de asistencia técnica orientado a la prevención de contaminación en industrias (Van Berkel, 2015).

En los programas de gestión ambiental, la adopción de estrategias de PML se relaciona con la comprensión de la importancia de la variable ambiental como parte integral del desarrollo de industrias (Barrios y Loreto, 2003). El programa de PML puede ser aplicado en industrias, ya sea a los procesos de producción, desarrollo, y diseño de productos y servicios (ONUDI, 2007). Además, el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales de Colombia (CNPMLTA, 2007), indica que “en los procesos de producción, incluye la conservación de la materia prima y la energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidad y toxicidad de las emisiones y desperdicios antes de su salida del proceso”. El objetivo de PML es “lograr la reducción de los impactos ambientales del proceso productivo, enfocándose en la mejora de procesos y productos con el fin de evitar problemas ambientales antes de que estos ocurran” (Paredes, 2014).

La propuesta metodológica desarrollada por la ONUDI está conformada por un ciclo de siete fases: identificación de la problemática, análisis de situación actual, balance de materiales y análisis del proceso, definición de opciones de mejora, asignación de prioridad de las opciones, definición de planes de implementación y seguimiento, culminación y evaluación del ciclo (Rojas, 2010).

Para organizar la información recopilada en las fases uno y dos, se realiza la identificación de entradas y salidas de las operaciones unitarias del proceso productivo para organizar la información. Las operaciones unitarias están conformadas por un grupo de acciones que se llevan a cabo como un mismo proceso productivo en un tiempo específico. Para la construcción del balance de materiales se requiere conocer los parámetros que se cuantificarán, y cómo se cuantificará cada uno de los parámetros (Rojas, 2010).

La definición de opciones de mejora se realiza por medio de un análisis de causa y efecto. La técnica utilizada es el diagrama de espina de pescado o diagrama Ishikawa. El diagrama se construye partiendo del problema que será analizado, agrupando las categorías de causas.

Para el estudio, el diagrama de Ishikawa se construyó en base a 4 categorías: maquinaria, métodos o protocolos, personal, y materiales e insumos. La priorización de opciones ocurre considerando aspectos económicos y normativos. Se establecen indicadores que serán controlados para las futuras evaluaciones del ciclo. Finalmente, se lleva a cabo el cierre del programa de PML con la gerencia (Rojas, 2010).

La acuicultura constituye uno de los sectores de “producción alimentaria con un mayor ritmo de crecimiento y representa un componente importante en muchos programas de mitigación de la pobreza y seguridad alimentaria” (Food and Agriculture Organization [FAO], 2016). Se calcula que la pesca y acuicultura forman un medio de subsistencia para 540 millones de personas en el mundo, lo que equivale al 8% de la población mundial (FAO, 2017). El 30% de los pescados producidos para consumo humano son comercializados como producto fresco. El suministro de filetes de pescado y pescado congelado es un mercado en crecimiento tanto en países desarrollados como en los países en desarrollo (Jespersen, Christiansen, y Hummellose, 2000).

Las plantas de procesamiento de pescado involucran operaciones unitarias tales como: desinfección, fileteo de pescado, arreglado o recorte de filetes, empaque y almacenamiento. El área de fileteo es realizado de forma mecánica en la mayor parte de las ocasiones. El área de arreglado o recorte de filetes se remueve la carcasa del pescado, se remueven defectos o partes que son de calidad inferior a la deseada y son clasificados por medio de sus pesos. Al momento de ser empacados, es muy común el uso de cajas enceradas con una capa de plásticos. Luego, son colocadas en cuartos fríos de almacén (Jespersen et al., 2000).

Los principales residuos de la industria pesquera están caracterizados por componentes orgánicos, tales como escamas, sanguaza, grasas, y aguas residuales. Dichos residuos, en cuerpos receptores son capaces de formar sedimentos colores oscuros, con olores sulfurosos (García et al., 2009). El entorno de los cuerpos receptores pueden presentar cambios en sus propiedades fisicoquímicas, y biológicas. Los cambios en la concentración de salinidad, disminución del oxígeno disuelto, incremento en la temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), disponibilidad de nutrientes, cargas altas de sulfuros y amonio en los sedimentos, pueden llevar hasta una eutrofización (Cabrera, 1999).

Los impactos ambientales asociados a las actividades de procesamiento de pescado son el alto consumo de agua, energía y descarga de agua residual con altas cargas orgánicas (Jespersen et al., 2000). El agua residual generada en el procesamiento de pescado representa el 60% del peso total del mismo (Yeong, Mohammad, Anuar, y Rahman, 2002). Una característica del pescado es su relación con las cargas de residuos generadas. Las pérdidas de producto contribuyen al aumento de cargas orgánicas en los efluentes de agua residual (Jespersen et al., 2000). Sin embargo, la introducción de PML en las industrias alimentarias ha dado resultados positivos en diversos estudios.

En una industria procesadora de pescado congelado en la Región de Biobío, Chile, se implementó la metodología de PML propuesta por ONUDI. El proceso inició por medio de auditorías internas de control. Luego se procedió a caracterizar el estado inicial de la compañía y se estableció indicadores de eficiencia. Las líneas de acción fueron la optimización de procesos de producción en términos de generación de efluentes, reduciendo

la contaminación por efluentes líquidos al minimizar el consumo de agua, aplicar buenas prácticas en el procesamiento. Los resultados indican que el programa de PML disminuyó a un 45% en el consumo de agua y energía; y además disminuyó la generación de aguas residuales y residuos sólidos. Además, disminuyó del 18% de la tasa de accidentes en todas las instalaciones (Bezama, Valeria, Correa, y Szarka, 2012).

En Indonesia, una industria de galletas saladas, reportó la implementación de la metodología de PML propuesta por la ONUDI. Por medio del análisis, se encontró que el 95% del agua residual generada provenía de las actividades de limpieza en el área de producción. Además, las cargas orgánicas eran superior a las normativas nacionales. Basado en el análisis de causa y efecto, se priorizó la implementación de buenas prácticas de limpieza y manufactura. Se limpió en seco los residuos del proceso, previo al proceso de lavado. Debido a esto, se mejoró el desempeño ambiental reduciendo la concentración de DBO, DQO, y SST en un 76.67, 84 y 40% respectivamente. Además, la cantidad de agua requerida se redujo en un 22.04% (Khuriyati, Wagiman, y Kumalasari, 2015).

El estudio de Paredes (2014), indica que en el sector pesquero industrial de Perú se han implementado tecnologías de PML, integrando un sistema primario de recuperación de sólidos, compuesto por una trampa de grasa y una celda de flotación de aire disuelto. Además, se realizaron cambios en los sistemas de descarga de materia prima por equipos de traslado al vacío. Los resultados de cambios de tecnología han permitido mejorar la eficiencia de los procesos de elaboración de harina de pescado, y su rentabilidad.

En Dinamarca se realizó un estudio que aplicó la metodología de PML propuesta por la ONUDI. El estudio comparó dos industrias procesadoras de pescado, identificando oportunidades de mejora en buenas prácticas de manufactura, reutilización y reciclaje de materias primas, sustitución de materiales peligrosos y productos químicos, optimización de procesos de producción, cambios tecnológicos e innovaciones y el desarrollo de productos más limpios. Los resultados muestran que el empleo de cambios preventivos en las operaciones y procesos fue de beneficio progresivo. También, el estudio reporta reducciones de consumo de agua y su relación con el consumo de energía, emisiones, cargas de DQO y uso eficiente de la materia prima (Thrane, Nielsen, y Christensen, 2009).

La presente investigación evalúa una empresa constituida por cuatro centros de producción en los cuales desarrolla la actividad de cría y engorde de *Tilapia sp.* para su comercialización como filete fresco y pescado entero. La planta procesadora (PP) reporta una producción anual es de 10936 t. Los residuos sólidos generados por la PP, son utilizados como materia prima en una planta de procesamiento de harina de pescado, obteniendo de forma adicional aceites para la producción de biodiesel. Las escamas obtenidas en el procesamiento son destinadas a exportación y finalmente, la fracción líquida restante es enviada al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

A pesar de las diferentes actividades desarrolladas por la empresa para el manejo de sus residuos, se identifica una oportunidad de mejora a partir de la implementación de un programa de Producción Más Limpia. Se excluyendo los centros de producción de la empresa y la planta de harina de pescado, para identificar oportunidades de PML en la empresa. Se plantean los siguientes objetivos para el desarrollo del presente estudio:

Para determinar las oportunidades de PML en la empresa, se definió los siguientes objetivos como parte de la investigación:

- Cuantificar las entradas y salidas del proceso a través de un balance de materiales.
- Jerarquizar las corrientes de residuo conforme a su volumen de generación y cumplimiento de requisitos normativos.
- Identificar oportunidades de Producción Más Limpia, para la atención de las principales fuentes generadoras de residuos del proceso de producción.

## 2. METODOLOGIA

### **Descripción de la empresa.**

La empresa se dedica al cultivo de tilapia fresca, y la mayor parte de su producción está destinada a la exportación en la región centroamericana y Estados Unidos (Fish Information Services [FIS], 2017). Se consideró un acuerdo de confidencialidad con la industria evaluada, por lo tanto, será referida únicamente como “empresa evaluada”. Para el estudio se consideró un lote de producción promedio diaria de 120 t de biomasa (pescado fresco). La planta procesadora de la empresa genera 1437 m<sup>3</sup> de agua residual industrial en un promedio diario. El 99% del agua residual proviene del efluente de la planta procesadora, que se divide en dos usos: 61% Procesamiento, y 38% Sanitización. El 1% proviene de la Planta de Harina. Se consideró como límites del estudio la etapa de procesamiento de pescado en la planta procesadora de la empresa, por lo tanto, no se consideró la etapa de Sanitización de la planta procesadora, ni la planta de harina.

### **Análisis situacional.**

En orden de plantear oportunidades de PML, se debe conocer el estado actual de la empresa. Se recopiló información de las principales operaciones por un espacio de cuatro meses (enero - abril, 2017). Se efectuó recorridos guiados por empleados encargados de los procesos para familiarizarse con el proceso de producción e identificar los sitios de mayor consumo de agua y generación de residuos. Se realizó revisiones bibliográficas, entrevistas, revisión de datos históricos y registros de la planta procesadora como herramientas de análisis. Se definió los procesos de mayor interés para la empresa.

**Esquematización de los procesos productivos.** Se identificó las operaciones unitarias con sus respectivas entradas y salidas que constituyen el proceso de producción representado por su flujo esquemático. Las flechas azules indican el flujo del producto. Las áreas de producción están señalizadas con color verde. Las flechas color negro indican el flujo del personal. Se procedió a desarrollar el diagrama de flujo de la planta procesadora (Figura 1).

Se analizó las operaciones unitarias ambientales de la empresa. Las operaciones unitarias “son aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios” (Metcalf y Eddy, 1995). Considerando las operaciones unitarias desde un concepto ambiental, son las actividades o grupo de actividades que generan residuos. Se procedió a desarrollar el diagrama de flujo de procesos de la planta procesadora, que consiste en presentar de forma gráfica la dinámica en que ocurren las operaciones unitarias durante un lote de producción.



registraron datos horarios del caudal completando un ciclo de 39 mediciones con una frecuencia de 30 min, iniciando desde las 6:00 a.m. y finalizando a la 1:00 a.m. La toma de datos se realizó por espacio de dos días a la semana a lo largo de 15 semanas. Una vez obtenidos los datos, se procedió a aplicar la ecuación empírica de acuerdo al diseño y condición de descarga libre de la Canaleta Parshall. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Q = 1927 * Ha^{1.530} \quad [1]$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/día)

Ha = altura en metros

**Caracterización de agua residual.** La empresa cuenta con un laboratorio interno de Limnología y calidad de agua, donde mantienen registros periódicos de parámetros físicos químicos del agua residual. Se recopiló la información respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua residual dentro de la planta procesadora (Cuadro 1), con el fin de identificar corrientes contaminantes. Se tomó una muestra compuesta del área de producción correspondiente a 10 horas de trabajo que se reportan en un día.

Las áreas seleccionadas fueron: Degolle, Fileteo, Belly Meat, Arreglado, y Empaque. Se analizó las muestras el mismo día de la toma de muestras. Al ser muestras de agua residual, se preservaron con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para luego ser almacenadas en un refrigerador a 4 °C. Los resultados de ensayos fisicoquímicos recopilados para la caracterización del agua residual en las etapas del procesamiento (Cuadro 2), indica los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Sólidos Totales (ST), y Sólidos Volátiles Totales (SVT).

Cuadro 1. Metodología de ensayos fisicoquímicos recopilados para la caracterización del agua residual.

Parámetro	Método	Referencia
Demanda Química de Oxígeno	2520 D	(American Public Health Association [APHA], 1992)
Sólidos Suspendidos Totales	2540 D	APHA 1992
Sólidos Suspendidos Volátiles	2540 E	APHA 1992
Sólidos Totales	2540 B	APHA 1992
Sólidos Volátiles Totales	2540 D	APHA 1992
pH	4500-H <sup>+</sup> valor de pH	APHA 1992

Fuente: Laboratorio de Limnología y Calidad de Agua de la empresa evaluada.

**Cuantificación de corrientes de salida.** Se construyó el balance de materiales de acuerdo considerando las cinco áreas del proceso de producción de la Planta Procesadora tomando en cuenta las entradas y salidas de cada operación unitaria. Partiendo del balance de

materiales se estimó el volumen resultante de las diferentes operaciones y su concentración de DQO. Luego se procedió a agrupar los sistemas para lograr afinar el balance de materiales. En el balance de materiales no se registró datos de residuos sólidos orgánicos dado que estos representan subproductos tales como: bloques de piel y escamas de pescado destinados a exportación, carcaza y residuos orgánicos del procesamiento destinados a la producción de harina de pescado, y aceites destinados a la producción de biodiesel.

### **Priorización de corrientes.**

La priorización de corrientes consiste en clasificar los flujos de residuos basados en criterios económicos y normativos. En el caso de la empresa evaluada, se estableció que ambos criterios presentan la misma importancia para su ponderación en la toma de decisiones. En la matriz de jerarquización de corrientes, la columna que corresponde al porcentaje indica que a mayor es el aporte de la corriente en porcentaje, tiene una mayor importancia frente a las demás corrientes. Por lo tanto, las corrientes con mayor porcentaje, deben ser priorizadas por medio de un plan de Producción Más Limpia.

Para el estudio, se identificó cinco corrientes que aportan al efluente de aguas residuales en la Planta Procesadora. A cada corriente se le asignó una nomenclatura específica: Degolle (A), Fileteo (B), Belly Meat (C), Arreglado (D), Empaque (E). Para el criterio económico se consideró el costo unitario de cada m<sup>3</sup> ingresado al STAR y el costo de la energía asociado al bombeo requerido para distribución de 1 m<sup>3</sup> de agua. Para el criterio normativo se utilizó como referencia el parámetro de DQO (mg/L), ya que este parámetro engloba el aporte de material orgánico en el efluente. La priorización se realiza conforme a su razón entre el límite normativo recomendado por la Norma Técnica Nacional para descarga a cuerpos receptores.

**Construcción de matriz de jerarquización de corrientes.** Se construyó una matriz de costos, en la cual se incluyen las corrientes de residuo identificadas y su costo en relación al sistema de tratamiento de aguas residuales y consumo de energía. Se identificó el costo unitario y total de cada corriente. Se analizó los costos en que se incurren las operaciones unitarias de interés. Para ello se requirió obtener datos respecto a los costos operativos del sistema de tratamiento de aguas residuales y el consumo de energía relacionado al consumo de agua en la planta procesadora (Mulholland y Dyer, 1999).

Para la construcción de la matriz de jerarquización, se clasificó de acuerdo a la comparación entre cada una de las corrientes, de acuerdo a la metodología establecida por Mulholland y Dyer (1999). Se identificó la importancia que cada corriente tiene respecto a su volumen de generación de aguas residuales y concentración de DQO (mg/L). Se asignó a cada corriente un valor de importancia en los rangos de 1 (baja importancia), a 10 (alta importancia). Se organizó de esta forma en dos tablas de evaluación para el criterio económico y normativo. A cada opción se asignó una calificación de 0 a 10 para cada uno de los criterios.

Partiendo de la sumatoria obtenida para cada corriente, se realizó una ponderación de ambos criterios en una matriz de resumen. Se multiplicó los resultados de las evaluaciones por la ponderación del 50% para el criterio económico y normativo de cada corriente. Se sumó los

resultados, y se obtuvo un puntaje general de cada corriente. Se clasificó las opciones según las puntuaciones generales.

En función de la concentración de las cinco áreas de procesamiento, se comparó la relación entre los resultados de DQO (mg/L) obtenidos en planta procesadora contra la Normativa Técnica de Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores establecida bajo el acuerdo N° 058 - 96, por la Secretaría de Salud Pública de Honduras (1996). Las concentraciones obtenidas en planta procesadora se dividió entre el nivel máximo permisible del parámetro DQO (mg/L) para identificar la cantidad de veces que sobrepasa las normas establecidas. El resultado se utiliza como un indicador normativo de corrientes contaminantes.

**Jerarquización de corrientes de residuos.** Se construyó la matriz de resumen. Se consideró el 50% para cada criterio evaluado (económico y normativo). Se realizó por medio de la construcción de una matriz de resumen de valorización de residuos considerando los criterios económicos y normativos. Se procedió a organizar las corrientes de acuerdo a los porcentajes más altos que se obtuvo de la matriz de valorización de residuos. Se analizó los mayores aportes de acuerdo a los porcentajes obtenidos. Se definió la jerarquización de las corrientes. Se identificó las áreas del proceso productivo que tienen que considerarse en las alternativas de PML. Se realizó cuestionamientos orientados a la disminución de costos operativos de la Planta Procesadora y los costos operativos del tratamiento de aguas residuales (Mulholland y Dyer, 1999).

#### **Identificación de oportunidades de Producción Más Limpia.**

Considerando que los problemas que deben ser abordados se representan en las diferentes corrientes de residuos jerarquizadas, mediante la construcción de un Diagrama de Ishikawa se realiza el análisis de las posibles causas que derivaron en el impacto. Las causas del problema se agruparon en categorías y se propuso alternativas de PML para la reutilización de residuos y limitar la generación de residuos fundamentadas en revisión bibliográfica. Es necesario enfocar la generación de opciones de mejora a los problemas de mayor relevancia y que necesitan pronta solución. Las situaciones de menor importancia podrán postergarse para su consideración en un segundo ciclo del programa de PML enfocado a la prevención de contaminación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de la planta procesadora, respondiendo a los objetivos planteados para el estudio. Los datos presentados son aplicables a la empresa evaluada durante los meses de enero a abril del año 2017.

#### Esquematación de los procesos productivos.

Se esquematizó el flujograma de procesos de la planta procesadora considerando las operaciones unitarias del proceso productivo.

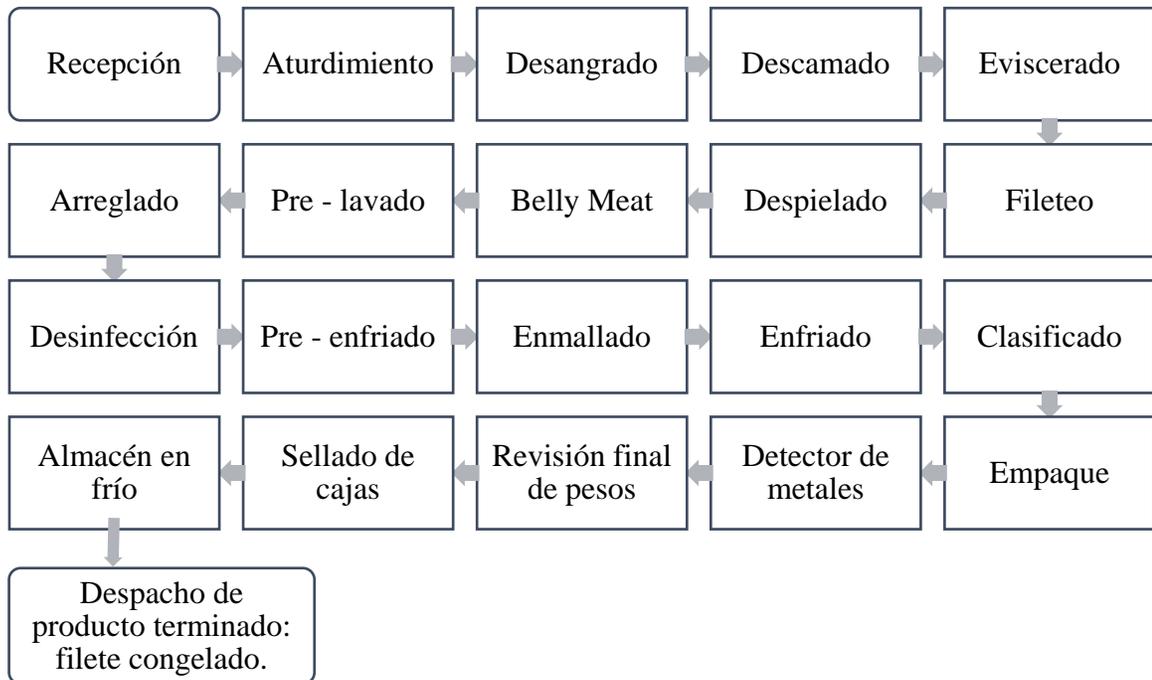


Figura 2. Esquema del proceso productivo de la planta procesadora.

#### Cuantificación de agua residual.

Se comparó los resultados del agua residual del balance de materiales y los datos obtenidos de la Canaleta Parshall. Los datos de la Canaleta Parshall reportó un promedio de 1800 m<sup>3</sup> de agua residual por día. Sin embargo, los datos obtenidos del balance de materiales reportaron un promedio de 1437 m<sup>3</sup> de agua residual diarios. Este efluente se divide en tres aportes: 952.97 m<sup>3</sup> de agua residual diarios provenientes de la etapa de procesamiento de la

planta procesadora. La planta de harina aporta un promedio diario de 9 m<sup>3</sup> de agua residual al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

Se estima que el agua residual proveniente de la etapa de Sanitización de la planta procesadora es de 475.03 m<sup>3</sup>. Otra de las posibles razones de la diferencia de cantidades de agua residual puede darse debido a fugas de agua internas, que son enviadas al efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales. El agua residual proveniente del efluente de la planta procesadora aumentó su caudal a partir del 14 de marzo hasta finales del mes de abril del año 2017. Esto se debe al inicio de la temporada alta en ventas y exportaciones.

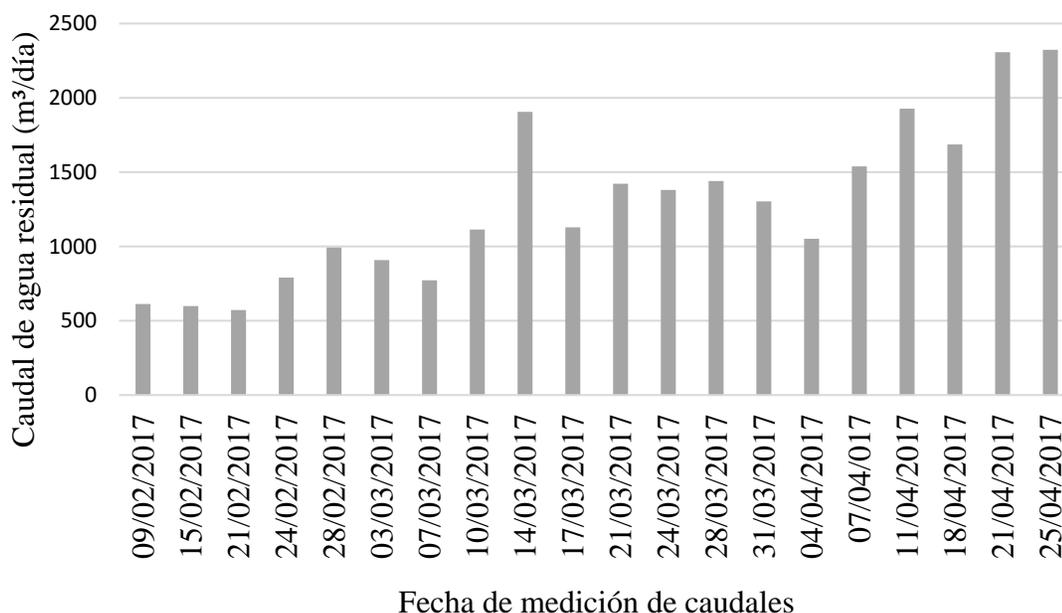


Figura 3. Gráfica del agua residual del efluente de la planta procesadora registrado en la Canaleta Parshall.

### **Caracterización de agua residual.**

La información recopilada respecto a los parámetros fisicoquímicos del efluente de agua residual dirigido al sistema de tratamiento de aguas residuales obtuvo un promedio diario de 1983.29 mg/L de DQO. Para las cargas de DQO en las áreas de procesamiento, se obtuvo un promedio diario de 2725.16 mg/L. Al incrementar el consumo de agua, las cargas pueden diluirse en el efluente de aguas residuales. Se encontró que algunas mediciones no concuerdan con los registros del efluente de la planta procesadora, ya que son mayores a los resultados obtenidos del balance de materiales. Las posibles causas de ello puede ser que existan aportes desconocidos desde planta procesadora hacia el efluente de aguas residuales.

Cuadro 2. Resultados de ensayos fisicoquímicos recopilados para la caracterización de agua residual por área de producción.

Área de Producción	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)
Degolle	2219.00	783.3	783.3	1900	1560
Fileteo	1379.50	631.7	631.7	1370	1170
Belly Meat	7842.00	2302.6	2302.6	5340	4910
Arreglado	1460.50	348.5	348.5	2450	1190
Empaque	724.80	271.2	271.2	1120	620

Fuente: Laboratorio de Limnología y Calidad de Agua de la empresa evaluada.

### Entradas y salidas del proceso de producción.

Los datos presentados en la siguiente tabla hacen referencia a la información obtenida en del análisis situacional en la Planta Procesadora, tomando en cuenta los registros históricos de la empresa. Se logró afinar las cantidades de biomasa en las entradas y salidas del proceso de producción por medio de la construcción del balance de materiales. Los sitios donde se observa el mayor consumo es el área de descamado, con 305.72 m<sup>3</sup> de agua residual. El área de descamado forma parte del área de Degolle. También, el área de Fileteo cuenta con un aporte de agua residual de 257.48 m<sup>3</sup> diarios. El mayor punto de contaminación se encuentra en el área de Belly Meat, con una DQO de 7842 mg/L.

Cuadro 3. Entradas y salidas del proceso de producción afinado.

Etapa	Entradas	Salidas
Recepción	Peces en agua (120 t) + Agua de lavado de barriles de eviscerado (9.11m <sup>3</sup> )	Peces recepcionados (120 t) + Agua Residual (9.11 m <sup>3</sup> ).
Aturdimiento	Peces recepcionados (120 t) + Agua fría de tanque de aturdimiento (2.96 m <sup>3</sup> ) + Hielo (7.98 m <sup>3</sup> ).	Pescado aturdido (120 t) + Agua residual (10.94 m <sup>3</sup> ).
Desangrado	Pescado aturdido (120 t) + Agua fría para tanque de desangrado (10.88 m <sup>3</sup> ) + Agua para baños de desinfección (1.10 m <sup>3</sup> ) + Agua de barriles de desinfección (2.66 m <sup>3</sup> ).	Pescado desangrado (111.6 t) + Sangre (3.6 t) + Escamas (4.8 t) + Agua residual (14.64 m <sup>3</sup> )
Descamado	Pescado desangrado (111.6 t) + Agua utilizada en descamado (303.70 m <sup>3</sup> ) + Lavado de áreas al corte del proceso (2.02 m <sup>3</sup> ).	Peso de pescado descamado (109.37 t) + Pescado descamado de venta local (2.23 Ton)

Etapa	Entradas	Salidas
Eviscerado	Pescado descamado (2.23 t) + Agua para lavado de pescado (6.67 m <sup>3</sup> ).	Pescado eviscerado para venta local (2 toneladas) + Sangre (0.08 t) + Vísceras (0.15 t) + Agua residual (6.67 m <sup>3</sup> ).
Fileteo	Pescado descamado (109.37 t) + Agua de tanques de enfriamiento (13.50m <sup>3</sup> ) + Recambio de agua en medio proceso (14.85 m <sup>3</sup> ) + Agua de tolvas de fileteo (4.98 m <sup>3</sup> ) + Agua de tinas de desinfección (1.17 m <sup>3</sup> ) + Agua utilizada para lavar el área de fileteo (170.65 m <sup>3</sup> ) + Agua para lavado de escamas (22.80 m <sup>3</sup> ) + Lavado de manos en entrada de cada área (1.10 m <sup>3</sup> ).	Filetes de pescado con piel (54.68 t) + Piel como subproducto (7.64 t) + Belly Meat como subproducto (3.06 t) + Escamas como subproducto (10.8 t) + Vísceras, carcaza (33.19 t) + Agua residual (257.48 m <sup>3</sup> ) + DQO (1379.50 kg/ m <sup>3</sup> ).
Despielado	Filetes de pescado con piel (54.68 t) + Agua de lavado de piel en Descamadora (27.90 m <sup>3</sup> de agua).	Filetes de pescado sin piel (47.04 t) + Piel como subproducto (7.64 t) + Agua residual (27.90 m <sup>3</sup> ).
Belly Meat	Belly Meat (3.06 t) + Agua utilizada para lavado del área (59.99 m <sup>3</sup> ) + Agua de la Descamadora (32.15 m <sup>3</sup> ) + Hielo en escarcha (1.80 m <sup>3</sup> ).	Belly Meat como subproducto (2.90 t) + Agua residual (93.94 m <sup>3</sup> ) + Vísceras (0.16 Ton) + DQO (7842.00 kg/ m <sup>3</sup> ).
Pre lavado	Filetes de pescado sin piel (47.04 t) + Agua utilizada en baños de desinfección de moldes (1.10 m <sup>3</sup> ).	Filetes pre lavados (47.04 t) + Agua residual (1.10 m <sup>3</sup> ).
Arreglado	Filetes pre lavados (47.04 t) + Agua utilizada en Chillers (20.40 m <sup>3</sup> ) + Agua para lavado de puesto de arreglado (1.49 m <sup>3</sup> ).	Filetes arreglados (42.34 t) + Residuos sólidos del proceso de arreglado (4.7 t) + Agua residual (21.89 m <sup>3</sup> ) + DQO (1460.50 kg/ m <sup>3</sup> ).
Pre – Enfriado	Filetes arreglados (42.34 t) + Agua fría (19.80 m <sup>3</sup> )	Filetes pre enfriados (42.34 t) + Agua residual (19.80 m <sup>3</sup> ).
Enmallado	Filetes pre enfriados (42.34 t)	Filetes enmallados (42.34 t).
Enfriado	Filetes pre enfriados (42.34 t)	Filetes enfriados (42.34 t)

Etapa	Entradas	Salidas
Enfriado	+ Agua fría utilizada en baños 1, 2 y 3 (5.90 m <sup>3</sup> ) + Hielo (2.21 m <sup>3</sup> ) + Agua utilizada en sistema Ozono (124.74 m <sup>3</sup> ) + Agua de Sistema Sun Well (74 m <sup>3</sup> )	+ Agua residual (206.85m <sup>3</sup> ).
Empaque	Filetes enfriados (42.34 t) + Cajas y plásticos (0.63 t) + Agua utilizada en empaque (3.03 m <sup>3</sup> ).	Filetes empacados (42.97 Ton) + Desechos sólidos (plásticos, mallas de vinyl y nylon), cartón) + Agua residual (3.03 m <sup>3</sup> ) + DQO (724.80 kg/ m <sup>3</sup> ).
Detector de metales	Filetes empacados (42.97 t).	Filetes empacados (42.97 t). Si se encuentran metales, devolver a Clasificado.
Revisión final de pesos	Filetes empacados en que no se encontró metales (42.97 t).	Filetes empacados (42.97 Ton).
Sellado de cajas	Filetes empacados (42.97 t).	Filetes empacados y sellados (42.97 t).
Almacenaje en frío	Filetes empacados y sellados (42.97 t) + Hielo en forma de escarcha (2.10 m <sup>3</sup> ).	Filetes congelados (42.78 t) + Agua residual (2.10 m <sup>3</sup> ).
Despacho de producto final	Filetes congelados (42.97 t)	42.9 Toneladas de Filete de pescado como producto final.

### **Balance de materiales.**

Se construyó balance de materiales para cada área de producción, considerando la biomasa procesada y el agua residual. Se agrupó como parte de un mismo sistema las cinco áreas comprendidas por Degolle, Fileteo, Belly Meat, Arreglado y Empaque. Se encontró que el mayor consumo de agua pertenece al área de Degolle. El área de degolle está compuesta por tres áreas: recepción, aturdimiento, y descamado. La mayor cantidad de agua residual proviene del área de descamado, con 347.08 m<sup>3</sup>/día.

Los factores que pueden haber afectado la precisión del balance de materia es la disponibilidad de datos por área de proceso. Dado a que es continuo, no es posible cuantificar la cantidad de biomasa que entra y sale de cada proceso productivo, por lo tanto existen volúmenes no cuantificados en las áreas de procesamiento. Dichos valores se obtuvieron por medio del balance de materiales. Además, cuenta con datos de confidencialidad que restringen el acceso a la información.

Se comparó la DQO proveniente de las cinco áreas de producción de la planta procesadora contra los registros históricos del efluente de la planta procesadora, y fueron de 2187.12 mg/L, y 193.29 mg/L, respectivamente. Por lo que indican que no hay mayor diferencia entre los resultados de DQO en el efluente de la planta procesadora durante el tiempo del estudio. Por medio del análisis de los registros históricos de DQO se identificó que las concentraciones son variables porque dependen de la cantidad de lotes de producción a ser procesados. Los lotes varían desde 90 t de biomasa (pescado fresco) hasta 120 t. También, a mayor aporte de materia orgánica, mayor será la DQO presente en las corrientes.

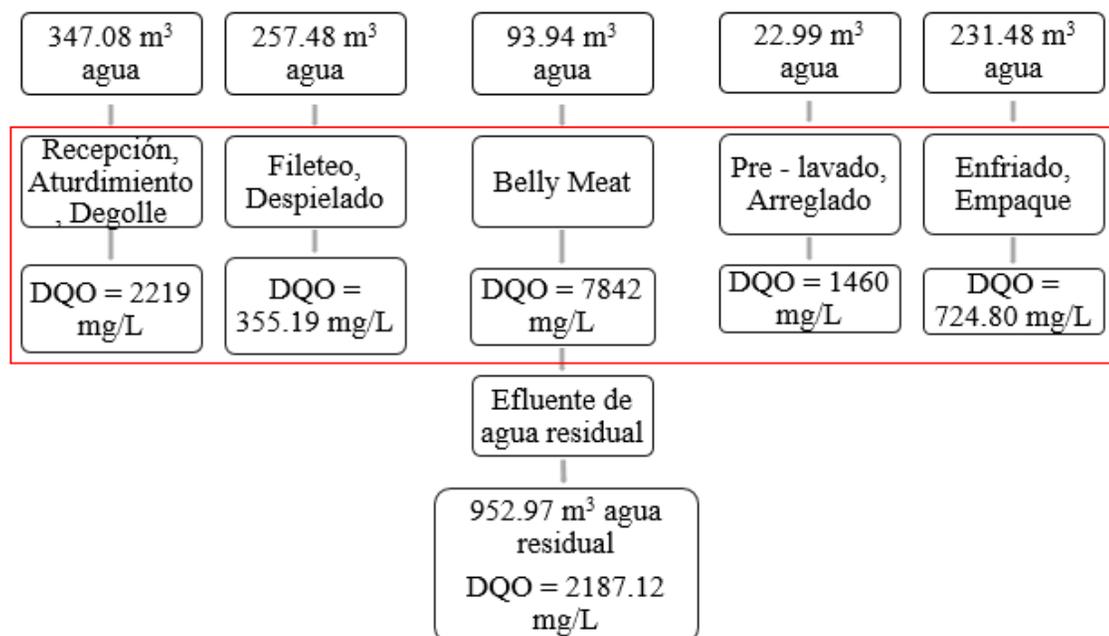


Figura 4. Balance general de consumos de agua en planta procesadora, y su concentración de DQO (mg/L)

#### Priorización de corrientes contaminantes.

Se identificó con una nomenclatura única a cada corriente: Degolle (A), Fileteo (B), Belly Meat (C), Arreglado (D), Empaque (E). Al agrupar la información, se analizó la relación entre los datos respecto al agua residual y la concentración de DQO (mg/L). Los datos obtenidos indican que la corriente A y B representan el mayor consumo de agua en la planta procesadora y que la corriente C aporta la concentración de DQO (mg/L) más alta.

A pesar que el aporte de DQO es alto en la corriente C, su aporte en volumen es inferior en comparación a las corrientes A y B. Se identificó que el mayor aporte volumétrico para la corriente A es causado por las descamadoras. El equipo es automatizado, sin embargo, en el área de Belly Meat, las entradas de agua son manuales, por lo tanto el consumo de agua en esta corriente puede reducirse al capacitar al personal sobre el tema de uso eficiente del agua. Al comparar los datos históricos de DQO en la salida del efluente de la planta procesadora destinado al Sistema de tratamiento de aguas residuales, se encontró que la

DQO promedio es de 1983.29 mg/L, por lo tanto los registros de DQO del área de Belly Meat sobrepasan tres veces los registros promedios de la salida del efluente.

Cuadro 4. Descripción de corrientes contaminantes por operación unitaria.

Corrientes de agua residual	Agua Residual (m <sup>3</sup> )	Concentración DQO (mg/L)
Degolle (A)	347.08	2219.00
Fileteo (B)	257.48	1379.50
Belly Meat (C)	93.94	7842.00
Arreglado (D)	22.99	1460.50
Empaque (E)	231.48	724.80
TOTAL	952.97	2187.12

**Evaluación económica de las corrientes.** Se consideró el costo unitario del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) es de USD 0.85 m<sup>3</sup>, y el costo unitario de consumo de energía relacionado al consumo de agua es de USD 0.012/m<sup>3</sup>). La unidad de valoración es la cantidad de dólares invertidos por cada m<sup>3</sup> de agua residual tratada (USD/m<sup>3</sup>), por lo tanto, el costo unitario es de 0.862 USD/m<sup>3</sup>. La razón indica el número de veces en que el costo total más bajo de las corrientes es multiplicado para hacer una relación 1: x; Donde “x” indica el número de veces en que se multiplica el valor del costo más bajo en los costos de las demás corrientes (Cuadro 5 y 6).

Cuadro 5. Evaluación económica de las corrientes.

Residuo	Agua Residual (m <sup>3</sup> )	Costo de agua + tratamiento STAR (USD/m <sup>3</sup> )	Costo Total (USD)	Razón
A	347.08	0.862	299.18	15.10
B	257.48	0.862	221.95	11.20
C	93.94	0.862	80.98	4.09
D	22.99	0.862	19.82	1.00
E	231.48	0.862	199.54	10.07

Cuadro 6. Matriz de jerarquización para criterio económico.

	A	B	C	D	E	Σ	%
A		3	6	10	4	23.00	41.56
B	1/3		5	7	2	14.33	25.90
C	1/6	1/5		3	1/7	3.51	6.34
D	1/10	1/7	1/3		1/6	0.74	1.34
E	1/4	1/2	7	6		13.75	24.85
TOTAL						55.34	100

Se identificó a la corriente A como uno de los principales aportantes de agua residual para el sistema de tratamiento de aguas residuales. Los costos están en función de un día de trabajo de 10 horas. Se identificó por medio de las razones de la evaluación económica de las corrientes, la relación existente entre cada una de las corrientes. La comparación indicó que la corriente A respecto a la corriente D tiene mayor importancia. Por lo tanto, los resultados indican que el 41.56% de los costos se relacionan directamente a la corriente A.

**Evaluación normativa de residuos.** Los resultados que se obtiene es la cantidad de veces en que las concentraciones de las corrientes sobrepasan la norma establecida. Es necesario recalcar, que esta etapa de análisis se realiza previo al tratamiento de aguas residuales. El resultado normativo indica que el 39.21% de las cargas orgánicas provienen de la corriente C, por lo tanto es la corriente con mayor importancia (Cuadro 7).

Por medio de las razones de la evaluación normativa de residuos, se identificó que la corriente C sobrepasa 39.21 veces la Normativa Técnica de Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores. Además, al construir la matriz de jerarquización por criterio normativo, el resultado indica que el 55.71% de las cargas orgánicas provienen de la corriente C, por lo tanto es la de mayor importancia (Cuadro 8).

Cuadro 7. Evaluación Normativa de residuos.

Residuo	Concentración	Norma (mg/L)	Razón
A	2219.00	200	11.10
B	1379.50	200	6.90
C	7842.00	200	39.21
D	1460.50	200	7.30
E	724.80	200	3.62

Cuadro 8. Matriz de jerarquización por criterio normativo.

	A	B	C	D	E	Σ	%
A		5	1/9	6	2	13.11	21.48
B	1/5		1/7	5	3	8.34	13.67
C	9	7		8	10	34.00	55.71
D	1/6	1/5	1/8		4	4.49	7.36
E	1/2	1/3	1/10	1/4		1.08	1.78
Total						61.03	100.00

**Resumen de valorización de residuos.** La comparación de la matriz de jerarquización por criterio económico y normativo se realizó considerando que la empresa tiene un interés de 50% para cada uno de ellos. El resultado final indica que las corrientes A y C, tienen una importancia similar para la jerarquización de las corrientes, con 31.5 y 31.03%,

respectivamente. Esto significa que ambas corrientes necesitan ser priorizadas por medio de un plan de Producción Más Limpia.

Cuadro 9. Resumen de valorización de residuos.

Residuo	Económico		Normativo		$\Sigma$	%
	%	(50%)	%	(50%)		
A	41.56	20.78	21.48	10.74	31.52	31.52
B	25.90	12.95	13.67	6.84	19.79	19.79
C	6.34	3.17	55.71	27.86	31.03	31.03
D	1.34	0.67	7.36	3.68	4.35	4.35
E	24.85	12.42	1.78	0.89	13.31	13.31

### Jerarquización de corrientes de residuos.

Partiendo del resultado del análisis de priorización de corrientes por su criterio económico y normativo, se identificó que la corriente A, que es el agua residual proveniente del área de degolle es la corriente más importante a evaluar, seguida de la corriente C, que es el agua residual proveniente del área de Belly Meat.

Cuadro 10. Jerarquización de corrientes.

Residuo	Organización
(A) Agua residual proveniente del área de Degolle	1
(C) Agua residual proveniente del área de Belly Meat	2
(B) Agua residual proveniente del área de Fileteo	3
(E) Agua residual proveniente del área de Empaque	4
(D) Agua residual proveniente del área de Arreglado	5

### Análisis de causa y efecto.

Se identificó que el caudal de agua residual obtenido en el área de Degolle representa el mayor aporte del volumen al efluente de la planta procesadora. Las causas identificadas indican que los procesos no cuentan con una recirculación de agua apropiada para reducir el consumo de agua en el procesamiento. Además, el uso de agua para ambas áreas de procesos no es representativo de impactos posteriores como el costo del sistema de tratamiento de aguas residuales, ni el costo de energía relacionado al bombeo de agua para la dotación de la planta procesadora.

Se identificó que las cargas de DQO del área de Belly Meat presentaron mayores cargas orgánicas en la corriente de agua residual. Por lo tanto, en el diagrama Ishikawa. Se identificó como causas principales la ausencia de limpieza en seco para la remoción del material orgánico previo a las actividades de Sanitización. También, el equipo utilizado para la dotación de agua carece de mecanismos de control, y fácilmente son manipulados por los empleados.

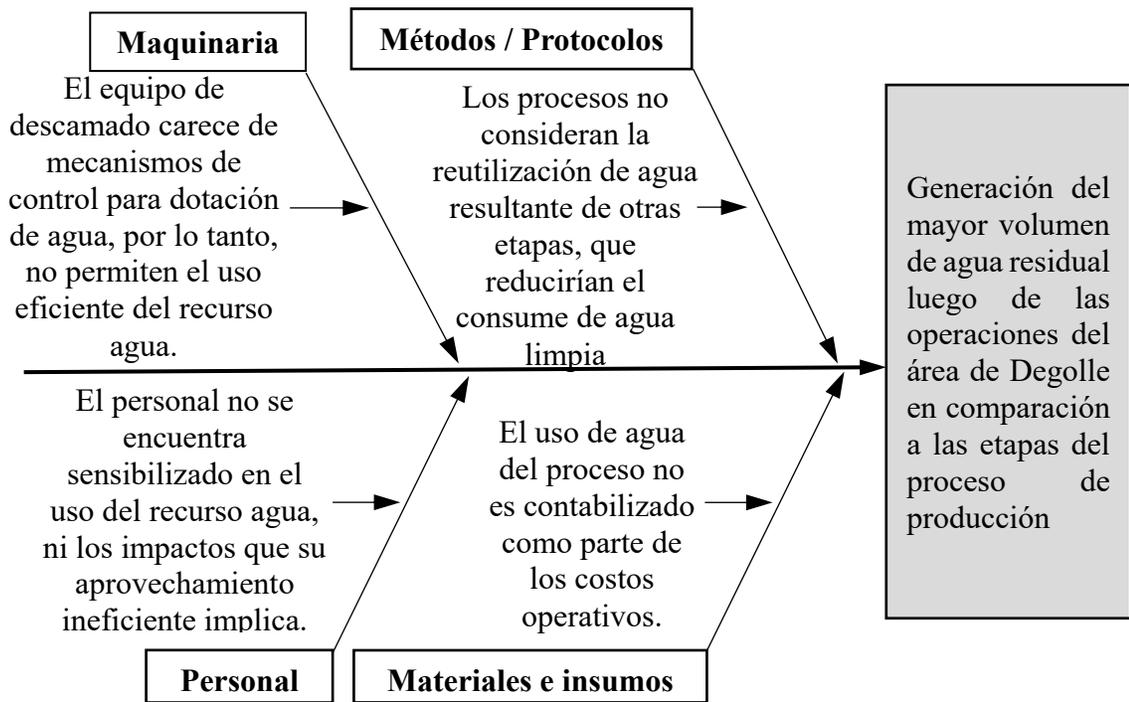


Figura 5. Diagrama de causa y efecto para el área de Degolle.

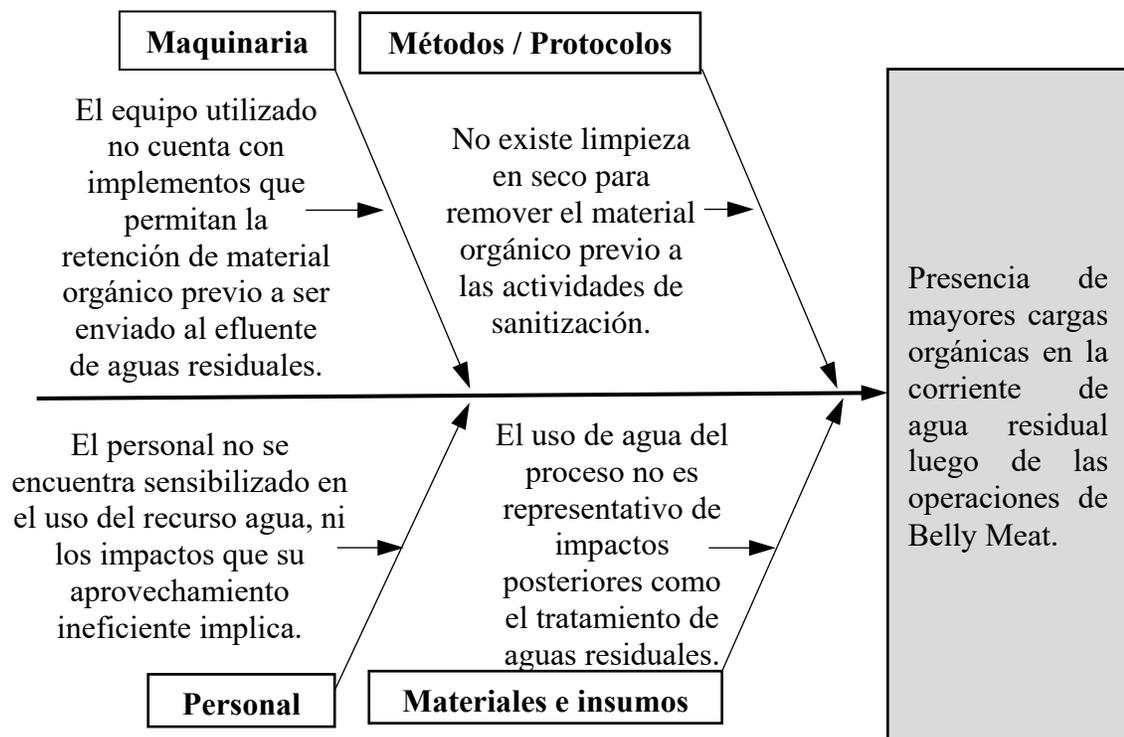


Figura 6. Diagrama de causa y efecto para el área de Belly Meat.

### **Identificación de oportunidades de Producción Más Limpia.**

Partiendo de lo encontrado, se investigó por medio de literatura estrategias apropiadas para el abordaje de la problemática identificada y la selección de oportunidades de mejora en el proceso de producción de la planta procesadora. Considerando que en el área de Degolle, las descamadoras utilizadas tienen su dotación de agua automatizada como medio para la remoción de escamas, el cambio de equipo es una alternativa que requiere inversiones significativas, por lo tanto, no se debe considerar como prioridad a corto plazo. Incentivar las buenas prácticas de limpieza en los empleados dará como resultado el manejo correcto del recurso agua en los equipos con dotación manual, por consiguiente, la reducción del consumo de agua.

Cuadro 11. Identificación de oportunidades de PML.

Causa del problema	Medida de prevención	Fuente bibliográfica
El personal no se encuentra sensibilizado en el uso del recurso agua, ni los impactos que su aprovechamiento ineficiente implica.	Incentivar buenas prácticas de limpieza para el personal de la planta procesadora.	Thrane et al., (2009).
Los procesos no consideran la reutilización de agua resultante de otras etapas del proceso.	Implementar limpiezas en seco previo al proceso de Sanitización de las áreas de producción.	(Khuriyati et al., 2015).
El equipo utilizado para dotación de agua carece de mecanismos de control que permitan el uso eficiente del recurso.	Instalación de mangueras de presión fuerte y flujo lento en las descamadoras, para brindar la función de descamado y reducir el agua utilizada en el proceso.	(Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS], 1994).
	Reutilizar el agua proveniente del área de descamado para realizar limpiezas en la planta procesadora u otros usos.	(CEPIS, 1994).

Causa del problema	Medida de prevención	Fuente bibliográfica
Uso de agua para la remoción de materia orgánica y partículas residuales en las superficies de los equipos utilizados.	Implementar un sistema primario de recuperación de sólidos compuesto por una trampa de sólidos orgánicos y grasas.	(Paredes, 2014)

Aplicar protocolos apropiados de limpieza en el cual se recolecten los residuos orgánicos del procesamiento, resultarán en la reducción del uso de agua potable durante el proceso de Sanitización. Por otra parte, se estima que el agua utilizada para Sanitización es de 475.03 m<sup>3</sup>, lo cual representa un costo de 409.48 USD/día, siendo un 38% del agua residual que entra en el STAR. Por lo tanto, debe considerarse como una corriente importante a evaluar.

Implementar equipos de alta presión, como mangueras, requiere una inversión mínima, y no requieren la modificación de líneas de proceso o adquisición de otros equipos para el control del flujo del agua. Los reductores de flujo de agua, al proveer de mayor presión, tendrían la misma capacidad de remover las escamas, con un menor consumo de agua. En el área de Belly Meat se identificó la oportunidad de mejora orientada a retener la mayor cantidad de partículas orgánicas en el agua residual por medio de la reincorporación de los mismos en la producción de harina de pescado.

## 4. CONCLUSIONES

- La carencia de una infraestructura que permita monitoreo continuo de las diferentes entradas y salidas del proceso de producción, derivan en incongruencias entre los resultados del balance de materiales y los flujos de agua residual registrados. Para verificar el impacto de la implementación de un programa de PML se requerirá del fortalecimiento de los protocolos de monitoreo y la adquisición del equipo necesario en el desarrollo de esta actividad.
- El consumo de agua resultó ser el factor determinante en la generación de residuos líquidos y costos posteriores asociados al tratamiento de estos dentro de la planta procesadora. El equipo utilizado a lo largo de la línea de producción no se encuentra dotado de dispositivos para el uso eficiente de agua. Adicionalmente, los protocolos de limpieza y sanitización actuales se encuentran orientados al factor inocuidad y no a la optimización del consumo de agua dentro de la planta procesadora.
- Las oportunidades de Producción Más Limpia identificadas para la planta procesadora son la adecuación de protocolos de limpieza y sanitización vigentes, en conjunto con un programa de entrenamiento del personal responsable para el desarrollo de la actividad. Esto derivará en resultados verificables a corto plazo con menores requerimientos en inversión.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Crear una unidad de eficiencia orientada a los procesos unitarios que se encuentra asociado a los sistemas de gestión de calidad existentes dentro de la planta procesadora.
- Establecer indicadores económicos y ambientales para controlar los costos operativos e incluirlos como parte de los indicadores de rendimiento de la planta procesadora.
- Capacitar el personal sobre temas relacionados a programas de Producción Más Limpia y manejo eficiente de los recursos en la industria pesquera. Establecer metas de PML.
- Instalar equipos de medición para verificar el comportamiento de los indicadores establecidos. También, instalación de medidores de caudal en la caja de salida del efluente de la planta procesadora, y establecer registros del uso de agua para cada área de producción.
- Planificar un plan de inversiones que contribuya a mejorar la ecoeficiencia de la planta procesadora por medio de la obtención de valores exactos de medición. Implementar un programa de seguimiento y control para actividades orientadas a la producción más limpia en la planta procesadora.

## 6. LITERATURA CITADA

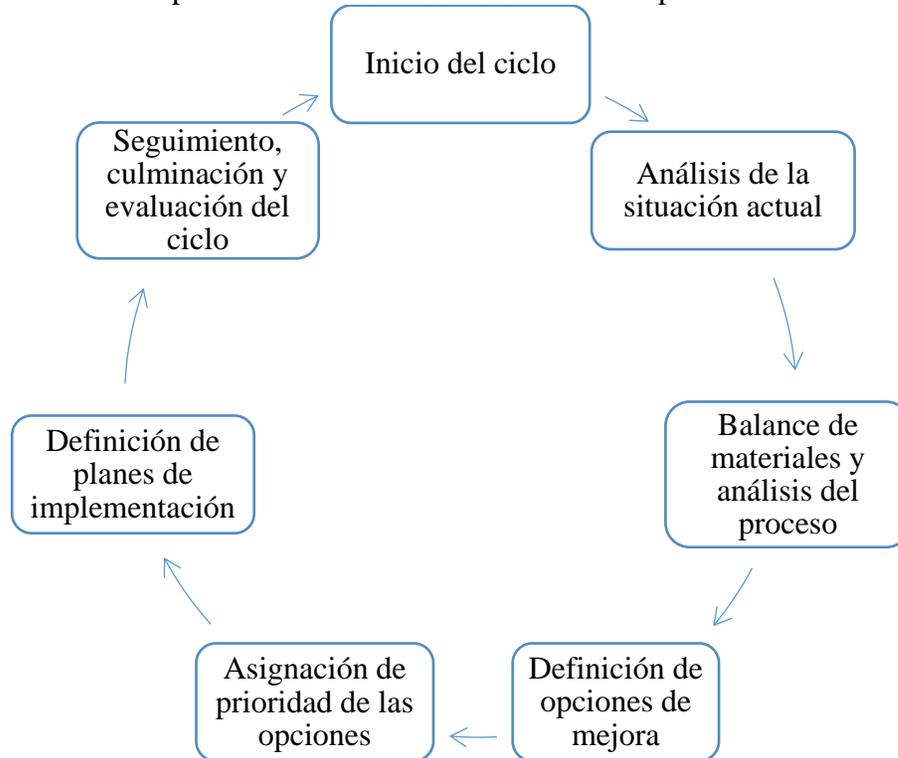
- American Public Health Association. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington DC., Estados Unidos: *American Public Health Association*. Recuperado de: [https://www.mwa.co.th/download/file\\_upload/SMW\\_W\\_1000-3000.pdf](https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMW_W_1000-3000.pdf)
- Barrios, E., y Loreto, D. (2003). Alternativas y herramientas para la producción más limpia. *ANALES*, 3 (1), pp. 255-270.
- Bezama, A., Valeria, H., Correa, M., y Szarka, N. (2012). Evaluation of the environmental impacts of a Cleaner Production Agreement by frozen fish facilities in the Biobío Region, Chile. *Journal of Cleaner Production*, 26 (1), pp. 95-100.
- Cabrera, C. (1999). Compatibilidad Ambiental de la Industria de Harina de Pescado en Paracas - Pisco. *Instituto de Investigación (RIIGEO)*, 2 (3), pp 1-3.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (1994). Proyecto de prevención de la contaminación del Puerto de Los Angeles: Evaluación de una fábrica de enlatado y procesamiento de pescado. San Francisco: *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/005340/005340.pdf>
- Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. (2007). Aplicación de la metodología de Producción Más Limpia. Medellín, Colombia: *Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales*. Recuperado de: <http://latinamericacaribbean.recpnet.org/uploads/resource/91bb3d8522117c5a38225f791275e359.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma, Italia: *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2017). Producción Pesquera y acuícola en America Latina y el Caribe. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de: <http://www.fao.org/americas/perspectivas/pesca-y-acuicultura/es/>
- Fish Information Services. (2017). Companies Directory. *Fish Information Services*. Recuperado de: <http://www.fis.com/fis/companies/index.asp?l=e>

- García, C., Pacheco, R., Valdez, S., Márquez, E., Lugo, M., y Ezequerra, J. (2009). Impacto del agua de cola de la industria pesquera: Tratamientos y usos. *CyTA Journal of Food*, 7 (1), pp. 67-77.
- Jespersen, C., Christiansen, K., y Hummelose, B. (2000). Cleaner production assesment in fish processing. (D. M. Consulting Engineers and Planners, Ed.) Paris, France: *United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics (UNEP)*. Recuperado de: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/2481-CPfish.pdf>
- Khuriyati, N., Wagiman, y Kumalasari, D. (2015). Cleaner Production Strategy for improving environmental performance of small scale cracker industry. Yogyakarta, Indonesia: *Science Direct*, 3 (1), pp. 102-107.
- Metcalf y Eddy. (1995). *Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Mulholland, K., y Dyer, J. (1999). *Pollution prevention: methodology, technologies and practices*. New York, Estados Unidos: The American Institute of Chemical Engineers.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2007). Introducción a la Producción Más Limpia. Vienna, Austria: *Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial*. Recuperado de: [https://www.unido.org/fileadmin/import/71360\\_1Textbook.pdf](https://www.unido.org/fileadmin/import/71360_1Textbook.pdf)
- Paredes, P. (2014). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. *Diseño y Tecnología*, 17 (2), pp. 74-77.
- Rojas, J. (2010). Manual de Producción Más Limpia. San José, Costa Rica: *Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial (CEGESTI)*, 1 (138), pp. 1-3.
- Secretaría de Salud Pública. (1996). Normativa Técnica de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores. Tegucigalpa, Honduras: *Diario Oficial La Gazeta*.
- Thrane, M., Nielsen, E., y Christensen, P. (2009). Cleaner production in Danish fish processing - experiences, status and possible future strategies. *Journal of Cleaner Production*, 17 (1), pp. 380-390.
- Van Berkel, R. (2015). National Cleaner Production Centres 20 years of achievement. Vienna, Austria: *United Nations Industrial Development Organization*. Recuperado de: [https://www.unido.org/fileadmin/user\\_media\\_upgrade/What\\_we\\_do/Topics/Resource-efficient\\_\\_low-carbon\\_production/NCPC\\_20\\_years.pdf](https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/What_we_do/Topics/Resource-efficient__low-carbon_production/NCPC_20_years.pdf)

Yeong, W., Mohammad, A., Anuar, N., y Rahman, R. (2002). Potential use of nanofiltration membrane in treatment of wastewater frim fish and surimi industries. *Songklanakarín J. Science and Technology*, 24 (1), pp. 977-987.

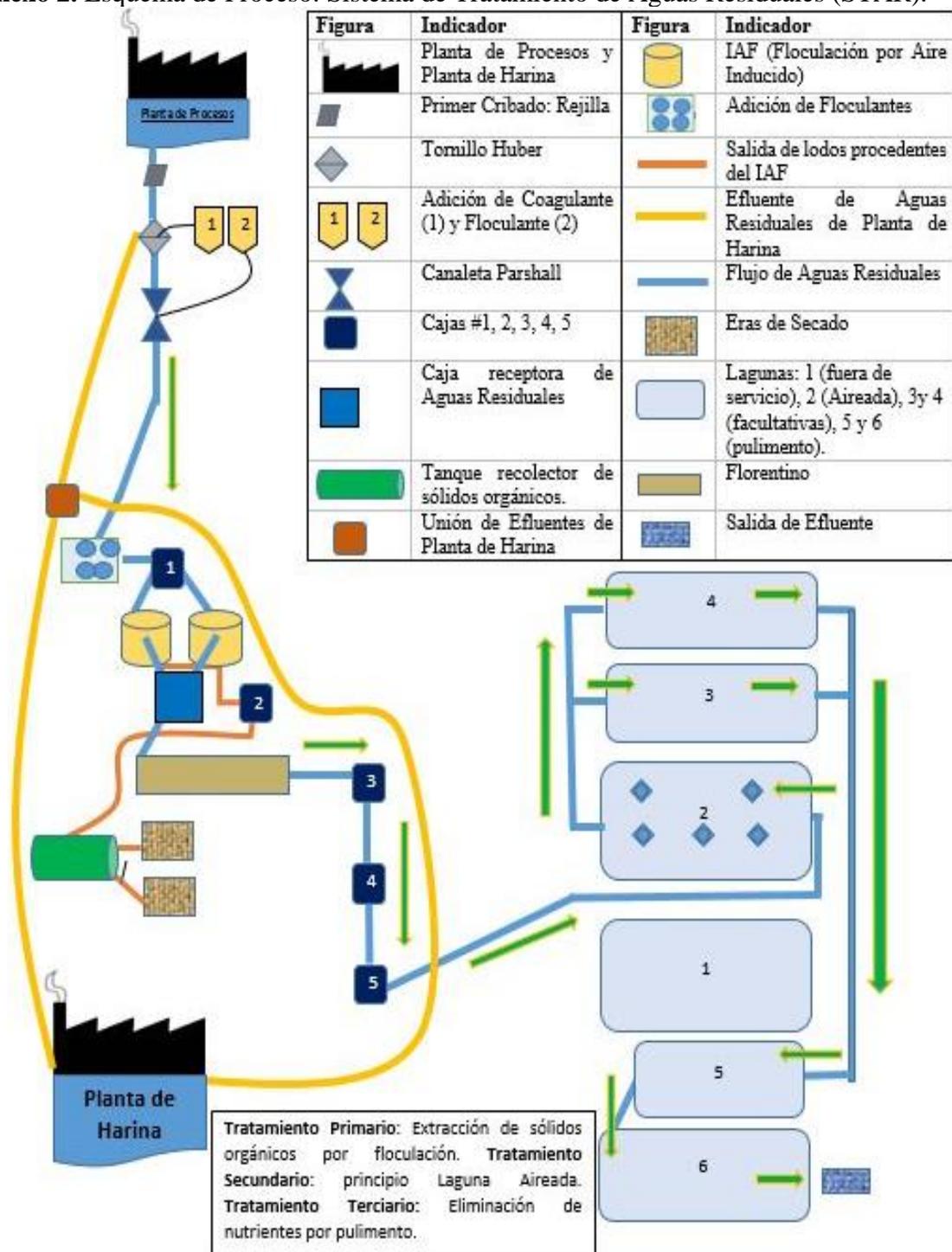
## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Ciclo de implementación de Producción Más Limpia.



Fuente: (Rojas, 2010).

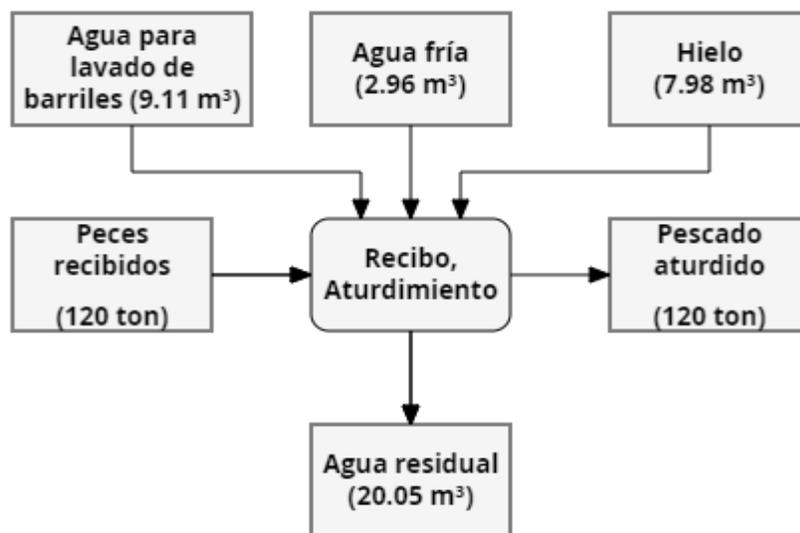
**Anexo 2. Esquema de Proceso: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).**



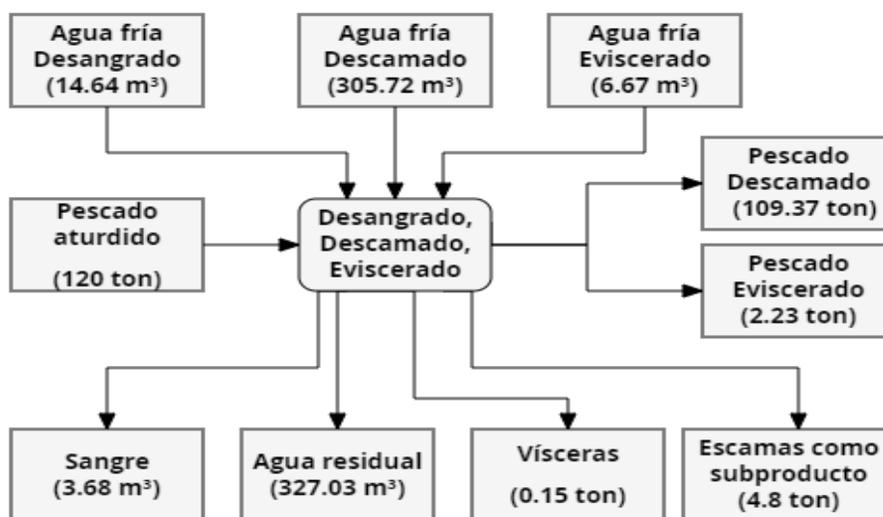
**Anexo 3.** Criterios para priorización en matrices.

Criterio	Ponderación	Escala
Económico	50%	10 Significativamente más importante
Normativo	50%	5 Más importante
		1 Igualmente importante
		1/5 Menos importante
		1/10 Significativamente menos importante

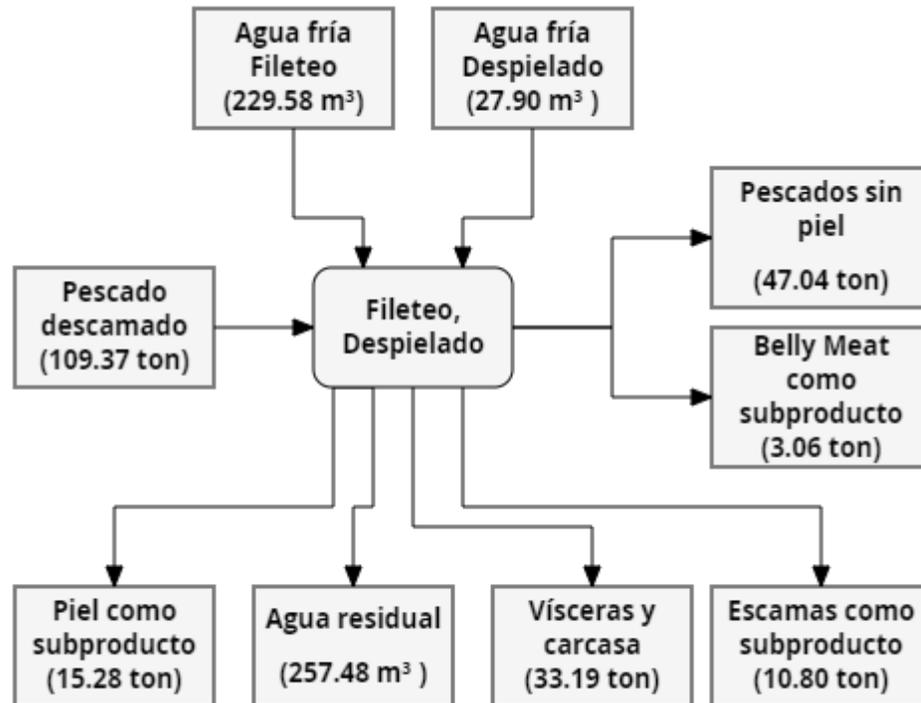
**Anexo 4.** Balance de materiales de la corriente contaminante de Degolle.



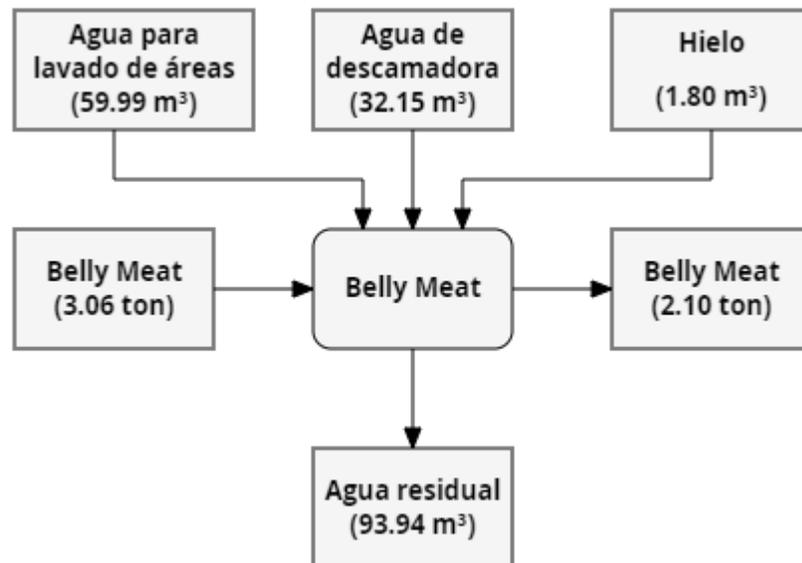
**Anexo 5.** Continuación del balance de materiales del área de Degolle



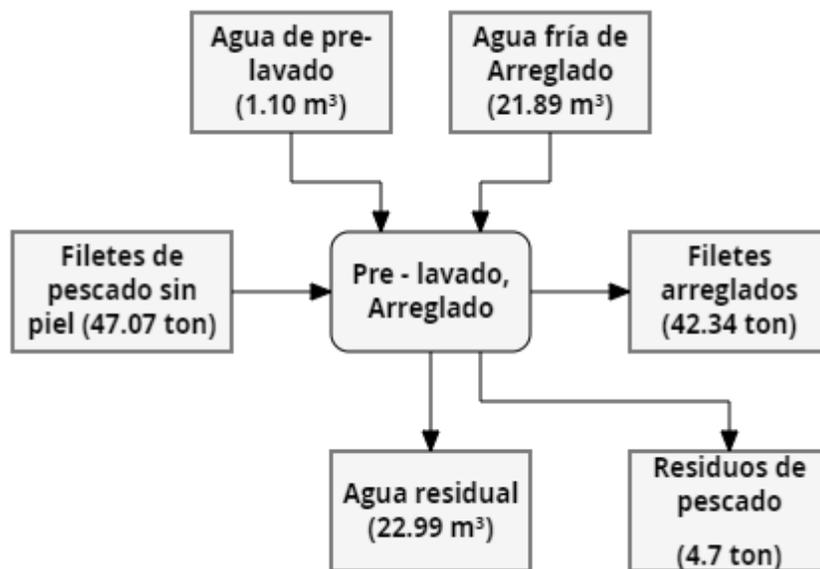
**Anexo 6.** Balance de materiales de la corriente contaminante del área de Fileteo.



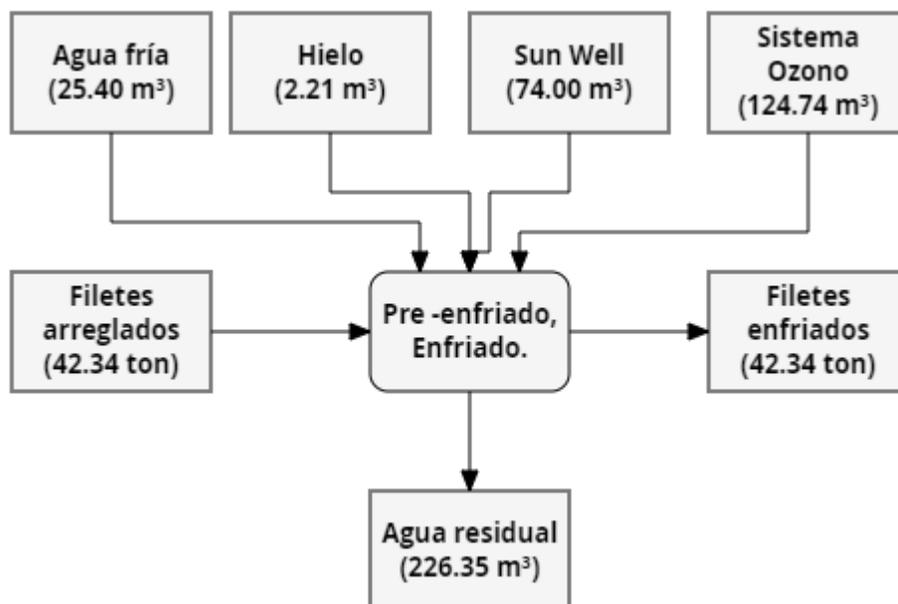
**Anexo 7.** Balance de materiales de la corriente contaminante del área de Belly Meat



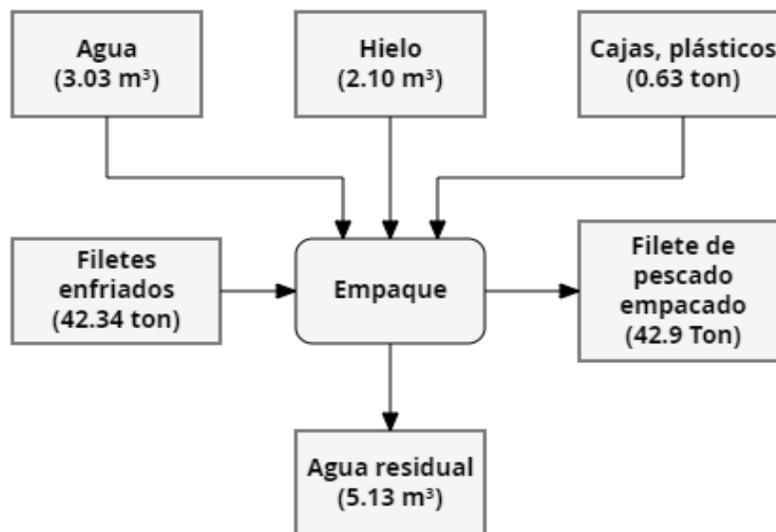
**Anexo 8.** Balance de materiales de corriente contaminante de Arreglado.



**Anexo 9.** Balance de materiales de corriente contaminante del área de Empaque



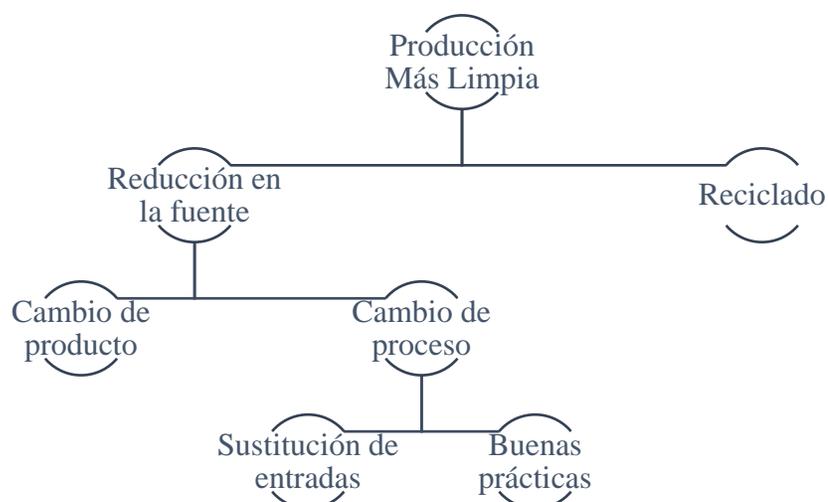
**Anexo 10.** Continuación de balance de materiales de corrientes contaminantes del área de Empaque.



**Anexo 11.** Identificación de corrientes de residuos en Planta Procesadora

Residuos	Nomenclatura
Aguas residuales provenientes del área de Degolle	A
Aguas residuales provenientes del área de Fileteo	B
Aguas residuales provenientes del área de Belly Meat	C
Aguas residuales provenientes del área de Arreglado	D
Aguas residuales provenientes del área de Empaque	E

**Anexo 12.** Estrategias de prevención de contaminación enmarcada en PML.



Fuente: (Rojas, 2010).