

**MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA EMPRESA
EL GRAN LANGOSTINO S.A.S.: ESTUDIO DE CASO**



**NICOLAY MURILLO SÁNCHEZ
JUAN CAMILO VELASCO NARVÁEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2021**

**MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA EMPRESA
EL GRAN LANGOSTINO S.A.S.: ESTUDIO DE CASO**



**NICOLAY MURILLO SÁNCHEZ
JUAN CAMILO VELASCO NARVÁEZ**

Trabajo de grado en modalidad de Estudio de Profundización Seminario de Grado en
Sistemas de Gestión de la Inocuidad y del Ambiente para el sector Alimentario, para optar
al título de Ingeniero Agroindustrial

**Director
Esp. MANUEL ELIÉCER ARTEAGA HORMAZA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2021**

Nota de aceptación

El Director ha leído el presente documento y lo encuentra satisfactorio.

Esp. Manuel Eliécer Arteaga Hormaza
Director

Popayán, 20 de abril de 2021

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO REFERENCIAL	15
1.1 LOCALIZACIÓN	15
1.2 LA EMPRESA	16
1.3 PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA EL GRAN LANGOSTINO S.A.S.	16
1.4 MARCO TEÓRICO	19
1.4.1 PTAR (Planta de tratamiento de agua residual) de la empresa El Gran Langostino S.A.S.	19
1.4.2 Evaluación multicriterio	21
1.4.3 Producción más limpia	21
2. METODOLOGÍA	23
2.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE SALMÓN	23
2.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	23
2.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL SALMÓN	27
3.1.1 Diagnóstico de consumo de agua	27
3.1.2 Aprovechamiento de subproductos de la empresa	30
3.1.3 Tratamiento de aguas residuales para disminución de impactos ambientales.	31
3.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	33
3.2.1 Elevado consumo del recurso hídrico	33

	pág.
3.2.1.1 Recirculación del agua de aspersión	33
3.2.1.2 Cambio de boquillas en el sistema de aspersión para descongelación	35
3.2.2 Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A) generados en el proceso de acondicionamiento de salmón.	36
3.2.2.1 Instalación de una trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises.	36
3.2.2.2 Desvío de las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales	37
3.2.3 Aprovechamiento de grasas y aceites	39
3.2.3.1 Generación de biodiesel a partir de aceite y grasa de salmón	40
3.2.3.2 Extracción de aceite omega 3 de salmón	42
3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO	43
3.3.1 Elevado consumo del recurso hídrico	44
3.3.2 Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A) generados en el proceso de acondicionamiento de salmón	46
3.3.3 Desaprovechamiento de grasas y aceites	47
4. CONCLUSIONES	50
5. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	57

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Ficha técnica filete de salmón	16
Cuadro 2. Valores de entrada del sistema de tratamiento	20
Cuadro 3. Cumplimiento con la Resolución 0631 de 2015	20
Cuadro 4. Productos químicos empleados	21
Cuadro 5. Dosis estimadas en diseño	21
Cuadro 6. Aspectos, criterios con abreviatura y nivel de importancia de los criterios.	24
Cuadro 7. Interpretación de los criterios según nivel de ponderación	25
Cuadro 8. Ejemplo base de matriz para la evaluación multicriterio	26
Cuadro 9. Pesos para los niveles de importancia de los criterios para los aspectos más relevantes y los lineamientos de la producción más limpia	26
Cuadro 10. Tiempo de riego por nivel de ubicación de salmón en anaquel	29
Cuadro 11. Evaluación multicriterio considerando solo la ponderación de viabilidad (0, 1, 2, 3)	44
Cuadro 12. Evaluación multicriterio con calificación final	44

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vista panorámica de la empresa El Gran Langostino S.A.S.	15
Figura 2. Organigrama empresa El Gran Langostino S.A.S	16
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de acondicionamiento del salmón en la empresa El Gran Langostino S.A.S.	18
Figura 4. Esquema conceptual del sistema de tratamiento en la empresa El Gran Langostino S.A.S	19
Figura 5. Diagnóstico del proceso de acondicionamiento del salmón	28
Figura 6. Productos provenientes del aprovechamiento de la pulpa en la empresa El Gran Langostino S.A.S	30
Figura 7. Sistema pretratamiento de aguas residuales de la empresa El Gran Langostino S.A.S. a: Rejilla de separación de sólidos; b: Depósito mezcla de aguas residuales; c: Rejilla de cribado; d: Grasa; e: Aceite	32
Figura 8. a: Tanque de ecualización (reactor VFL); b: Mezclador estático serpentín El Gran Langostino S.A.S	32
Figura 9. Sistema DAF y tanque de acondicionamiento y bombeo	33
Figura 10. Sistema de recirculación de agua de aspersion	34
Figura 11. Boquillas actuales y de alternativa de riego por pulverización	35
Figura 12. Flujos actuales de agua residual en la empresa El Gran Langostino S.A.S	36
Figura 13. Flujos de agua residual con instalación de trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises	37
Figura 14. Flujos de agua residual para desviar las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales	38
Figura 15. Flujos de agua residual con desvío de las aguas grises al tanque ecualizador (Reactor VFL)	39
Figura 16. Flujo de proceso para elaboración de biodiesel de aceite de salmón	41
Figura 17. Diagrama de flujo extracción de aceite de salmón omega 3	43

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Localización geográfica satelital de la empresa El Gran Langostino S.A.S.	57
Anexo B. Plano empresa El Gran Langostino S.A.S	58
Anexo C. Consumo promedio de agua en la empresa al mes	59
Anexo D. Precámara para descongelación	60
Anexo E. Niveles de anaqueles en la zona de producción	61
Anexo F. Canecas utilizadas para la etapa de fileteado y descabezado	62
Anexo G. Ventas de subproductos de la empresa al mes	63
Anexo H. Cantidad de grasa presente en las aguas residuales generadas	64
Anexo I. Costos directos e indirectos del sistema de recirculación de agua	65
Anexo J. Operaciones costos de sistema de recirculación de agua	66
Anexo K. Costos indirectos de la implementación de boquillas para el sistema de aspersión por pulverización	67
Anexo L. Operaciones cambio de boquillas en sistema de aspersión para descongelación	68
Anexo M. Costos para la instalación de una trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises	69
Anexo N. Costos para desviar para desviar las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales	70
Anexo O. Costos para desviar las aguas grises al tanque ecualizador (Reactor VFL)	71
Anexo P. Costos estimados en la implementación de planta a pequeña escala de biodiesel de aceite de salmón	72
Anexo Q. Costos para la implementación de zona de producción de aceite de salmón omega 3	73
Anexo R. Propiedades aceite de salmón	74

GLOSARIO

AGUAS GRISES: aguas residuales generadas en labores cotidianas que no contienen heces humanas.

AGUAS RESIDUALES: aguas generadas como residuo de una actividad o proceso, cuya calidad fisicoquímica y microbiológica fue alterada negativamente.

ARD (AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS): son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios, que correspondan a descarga de servicios sanitarios o sistemas de aseo personal.

ARnD (AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS): son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen ARD.

COAGULACIÓN: desestabilización de partículas coloidales presentes en el agua por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante.

DAF (FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO): la tecnología DAF es un proceso de clarificación de efluentes para la separación de sólidos, grasas y aceites. El sistema ayuda a concentrar sustancias de menor densidad, eliminando una amplia gama de sólidos suspendidos en efluentes, reduciendo además la DQO y la DBO.

DBO (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO): la cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por microorganismos.

DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO): cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es requerido para la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable por medios químicos.

FLOCULACIÓN: acumulación de partículas desestabilizadas en un proceso previo de coagulación, que ocasionan posteriormente la formación de flóculos de mayor tamaño.

G&A (GRASAS Y ACEITES): son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie, dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de las aguas residuales.

LODO: residuo semisólido que contiene microorganismos y diferentes sustancias, generalmente provenientes de procesos de sedimentación, en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales.

MEZCLADOR ESTÁTICO TIPO SERPENTÍN: consiste en una carcasa tubular con elementos de mezcla fijos en el interior, que se encargan de perturbar el perfil de la corriente (influir en él), de tal forma que todos los ingredientes se mezclan hasta formar una sustancia

homogénea. En el proceso intervienen componentes externos, como una bomba, para introducir los ingredientes en el mezclador con una corriente forzada.

PTAR (PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES): estructura construida para tratar el agua residual en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua.

RELACIÓN DBO/DQO: Indica el grado de biodegradabilidad de las AR.

SST (SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES): todos los sólidos presentes en el agua residual o aguas de desecho, que pueden ser retenidos en un filtro de 0.45 μm .

TIEMPO DE RETENCIÓN: tiempo en el que una molécula de agua permanece en el interior de una estructura hidráulica.

TIERRAS DE DIATOMEAS: material que resulta de la fosilización de las algas unicelulares recubiertas con una cama de sílice. Este polvo no es perjudicial para el medio ambiente y es efectivo en la industria para eliminar impurezas y absorber líquidos industriales pesados, como aceites o hidrocarburos.

VFL (REACTOR LABERINTO DE FLUJO VERTICAL): es un reactor biológico con un sistema de laberinto vertical de diferentes cámaras, que permiten el tratamiento de las aguas residuales aptas para ser descargadas en los vertimientos.

RESUMEN

El trabajo abordó la problemática identificada en la empresa El Gran Langostino S.A.S, dedicada a la adecuación, distribución y comercialización de productos derivados de la pesca, mediante un diagnóstico efectuado en las áreas de producción, en donde se realiza la adecuación del salmón. Los efluentes se clasificaron en el elevado consumo hídrico en el proceso de descongelación de materia prima (Salmón), la pérdida y dilución de componentes oleosos en las aguas de proceso y el desaprovechamiento de los mismos. Se propusieron diferentes alternativas en vía de brindar una solución que se ajuste a las condiciones actuales de la empresa, evaluando su grado de viabilidad mediante análisis multicriterio, considerando aspectos relevantes tales como la relación costo-beneficio, así como los lineamientos que conforman la producción más limpia (Reducir, Reutilizar, Tratar y Disponer), para lo cual se ponderó el nivel de importancia aplicado a los criterios y alternativas que cumplieron con los requerimientos al momento de realizar su calificación; adicionalmente se generó una selección objetiva de las posibles soluciones a los problemas detectados, priorizando el cambio de boquillas en el sistema de aspersión para descongelación de materia prima, la implantación de un sistema de tuberías para desviar las aguas grises al tanque ecualizador (reactor VFL) y la extracción de omega 3 de aceite de salmón, obteniendo unos resultados de 54, 31.8 y 23.2 puntos respectivamente.

Palabras clave: Adecuación del salmón, Análisis multicriterio, Relación costo beneficio, Producción más limpia

ABSTRACT

The work addressed the problems identified in the company El Gran Langostino S.A.S., dedicated to the processing, distribution and commercialization of fishery products, through a diagnosis carried out in the production areas where salmon processing is performed. The effluents were classified in the high water consumption in the process of thawing raw material (salmon), the loss and dilution of oily components in the process water and the waste of the same. Different alternatives were proposed in order to provide a solution that adjusts to the current conditions of the company, evaluating their degree of viability through multicriteria analysis, considering relevant aspects such as the cost-benefit ratio, as well as the guidelines that make up the cleaner production (Reduce, Reuse, Treat and Dispose), for which the level of importance applied to the criteria and alternatives that met the requirements at the time of their qualification was weighted; Additionally, an objective selection of the possible solutions to the problems detected was generated, prioritizing the change of nozzles in the sprinkling system for raw material thawing, the implementation of a piping system to divert gray water to the equalizer tank (VFL reactor) and the extraction of omega 3 from salmon oil, obtaining results of 54, 31.8 and 23.2 points respectively.

Keywords: Salmon processing, Multi-criteria analysis, Cost-benefit ratio, Cleaner production.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la producción mundial de productos del mar alcanzó niveles récord en 2014, superando los 164,3 millones de toneladas y se prevé que la producción de mariscos aumentará a 186 millones de toneladas a finales de 2023 (Alkaya and Demirer, 2016). Las industrias de procesamiento de pescado y mariscos se enfrentan a problemas como la eficiencia de producción, el aumento de la competencia y el saneamiento de plantas, entre otros, (Chowdhury, Viraraghavan and Srinivasan, 2010), aunque una de las principales preocupaciones corresponde a los desechos generados y el uso del agua (Monteiro *et al.*, 2018), dado que el volumen total de efluentes está directamente relacionado con la cantidad utilizada (Maroneze *et al.*, 2014). Estos desechos pueden generar un grave problema ambiental si se disponen sin el tratamiento adecuado, debido a sus características o carga orgánica (Monteiro *et al.*, 2018). Con el fin de disminuir el impacto ambiental, se debe buscar un proceso de tratamiento adecuado para tratar o incluso valorizar y reciclar estos desechos y aguas residuales (Cristóvão *et al.*, 2015), lo que puede configurarlos en una fuente relevante de ingresos para las empresas o industrias relacionadas (Monteiro *et al.*, 2018).

En la empresa El Gran Langostino S.A.S., se elabora filete de salmón, entre otros productos derivados de la pesca, del cual se procesan aproximadamente 11 toneladas por día; esta producción requiere grandes cantidades de agua en operaciones de descongelación y lavado de materia prima, con la consecuente generación de aguas residuales con alto contenido de grasa, las cuales se mezclan con las aguas grises provenientes del lavado de botas, lavado de canastillas, limpieza y desinfección de la planta de procesamiento (jabones y desinfectantes) en un área común. Esta mezcla se envía a un pretratamiento conformado por una rejilla de cribado, un sistema de trampa grasa, un reactor VFL (tipo laberinto de flujo vertical) y, finalmente, por bombeo, al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales que involucra los procesos de coagulación, neutralización, floculación y flotación. A pesar de que el sistema de tratamiento cuenta con diferentes unidades para degradar los contaminantes en estas aguas, se presenta una dificultad en su funcionamiento y eficiencia, dada la cantidad de impurezas y el volumen de AR que ingresan al proceso, generando un problema ambiental en los puntos de vertimiento final.

El nivel de contaminación presente en las aguas residuales depende de varios factores, entre ellos la operación específica que se realiza, las materias primas y los insumos empleados. El salmón posee, en gran medida, insaturaciones en sus ácidos grasos, lo cual promueve procesos de oxidación y enranciamiento de grasas, además de la formación de hidroperóxidos aún en condiciones estándar, dando lugar a numerosos productos de descomposición (Manrique, 2020). Las plantas de procesamiento de pescado y mariscos, utilizan agentes de limpieza fuertes después de cada turno de procesamiento; estas aguas de lavado poseen sustancias como cloro, sodas cáusticas, desengrasantes, entre otros productos químicos (Jamieson, Gagnon y Goncalves, 2017), que no pueden mezclarse con las aguas de otros procesos, ya que se genera un incremento en el contenido de materia orgánica e inorgánica, que suele provocar una elevada DBO y DQO (Kurniasih, Soesilo and Soemantojo, 2018), las cuales requieren ser eliminadas antes de que el agua pueda ser reutilizada o descargada (Clean Teq Water, 2020).

En vista de lo anterior, en este estudio de caso se buscó seleccionar una alternativa que permitiera mitigar los impactos ambientales causados por las aguas residuales en el proceso de acondicionamiento del salmón en la empresa El Gran Langostino S.A.S., para lo cual se realizó un diagnóstico del proceso de obtención del filete de salmón, se propusieron y analizaron diferentes alternativas considerando la influencia de aspectos técnicos, económicos y ambientales y finalmente, por medio de evaluación multicriterio, se seleccionó la mejor de ellas.

1. MARCO REFERENCIAL

Se presenta a continuación la información que permite identificar y exponer los antecedentes, orígenes, estructura organizacional y actividad empresarial de El Gran Langostino S.A.S y el contexto teórico en el que se desarrolla este trabajo.

1.1 LOCALIZACIÓN

La empresa El Gran Langostino S.A.S, dedicada principalmente al procesamiento, fileteo y conservación de pescados, camarones, langostinos y mariscos, se encuentra ubicada en un área de 1500m² y se localiza en la Calle 13 # 32-417 B4 (Bodega 4) Acopi - corregimiento Arroyohondo Yumbo, Valle del Cauca, a 20 minutos de la zona urbana de la ciudad de Cali (Anexo A).

El acceso se realiza desde dos puntos: el primero es por la nueva vía Cali – Yumbo sector Acopi, tomando un desvío al margen derecho en la empresa procesadora de lácteos Parmalat; el otro corresponde a la antigua vía Cali – Yumbo en la calle 70N, sector Menga, teniendo como punto de referencia la empresa Gecolsa de mantenimiento de equipos de maquinaria amarilla.

Figura 1. Vista panorámica de la empresa El Gran Langostino S.A.S.

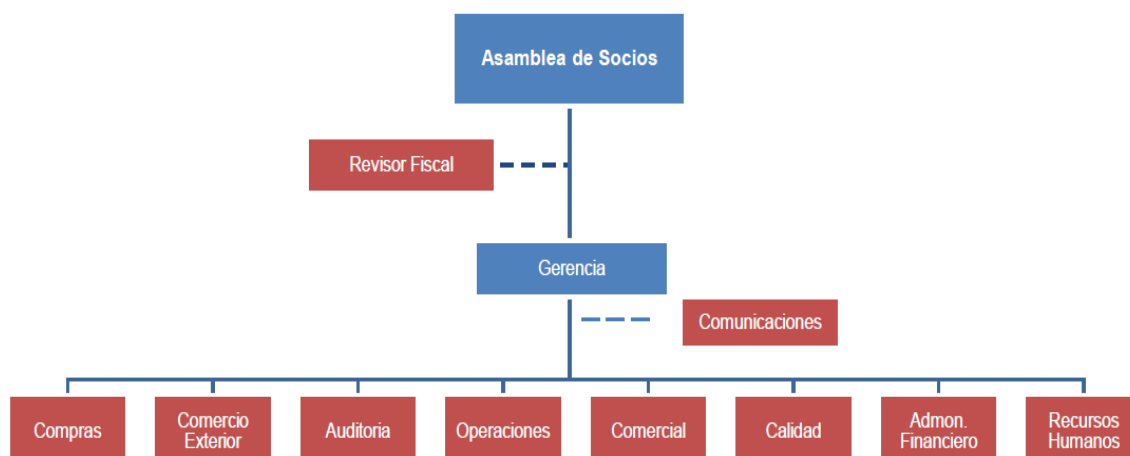


Fuente. Google Maps (2021).

1.2 LA EMPRESA

El Gran Langostino S.A.S. nace en la ciudad de Buenaventura en el año 2001; su importancia comercial estaba determinada por la compra y venta de peces, moluscos y mariscos. Después de 15 años se establece la planta de proceso en Yumbo, con el fin de brindar abastecimiento a la gran demanda generada de filetes de salmón, configurándose como uno de los principales proveedores a nivel nacional. La empresa ha tenido un gran crecimiento en toda la región y principales ciudades del país, siendo Cali la que posee el mayor número de agencias (Benavides *et al.*, 2018); la empresa cuenta con una estructura organizacional que permite la buena gestión de los procesos y de su actividad empresarial (Figura 2).

Figura 2. Organigrama empresa El Gran Langostino S.A.S



Fuente: El Gran Langostino S.A.S., 2020.


1.3 PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA EL GRAN LANGOSTINO S.A.S.

En el cuadro 1 se presenta la ficha técnica del producto Filete de salmón.

Cuadro 1. Ficha técnica filete de salmón

Nombre	Filete de Salmón
Descripción	Filetes de pescado congelado, sin espinas, con espinas, con piel o sin piel.
Nombre científico	Salmón (<i>Oncorhynchus kisutch</i>), Salmón del atlántico (salmón salar).
Características sensoriales	Pescados en filetes limpios, libres de materias extrañas, huesos y espinas; color de acuerdo a la especie, olor suave a pescado, sabores característicos de la especie.

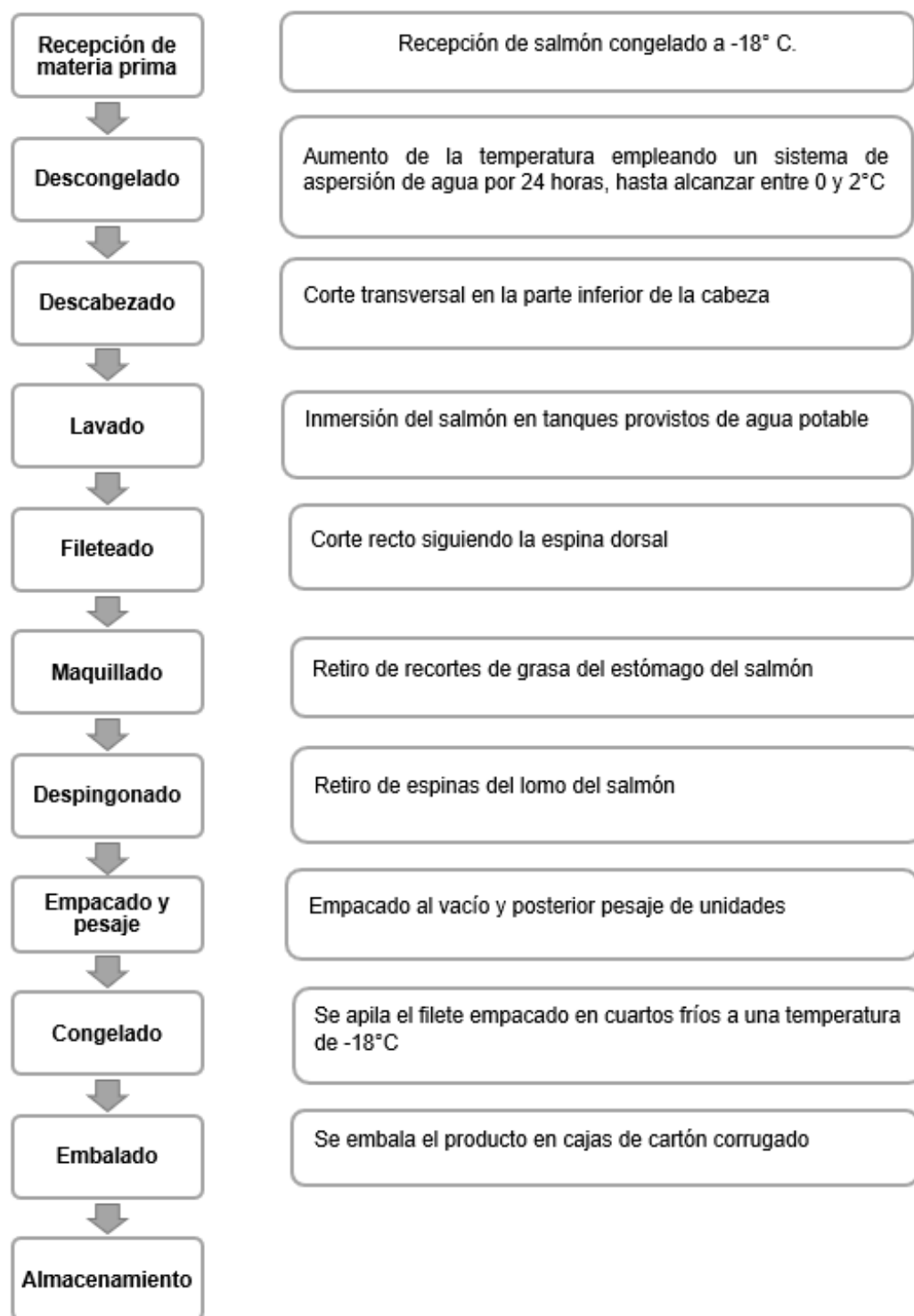
Cuadro 1. (Continuación)

Características fisicoquímicas	pH 6.4 a 7.0 Res. 776 de 2008. Bases Volátiles: máximo 70mg/100g. Res. 122 de 2012 - Metales Pesados: Plomo (Pb): máximo 0.3 mg/kg. Mercurio (Hg): máximo 0.5 mg/kg. Cadmio (Cd): máximo 0.05 mg/kg.
Características microbiológicas	Res. 122 de 2012 - Recuento de estafilococos coagulasa positivo. ufc/g100-1000 Salmonella en 25g: Negativo. <i>Vibrio Cholerae</i> en 01/25g: Negativo. <i>E. Coli</i> en 25 ufc/g: 10-400
Forma de consumo, uso esperado y tipo de consumidor al que va dirigido	Debe cocinarse antes de consumir. Producto para consumo humano para alimentación. Dirigido al público en general.
Empaque y presentaciones	Se empaqa en bolsas de polietileno por 250g-500g, 1-2;2-4;4-6Lb y empaque al vacío.
Vida útil esperada	24 meses en congelación a temperatura mínima de -18°C.
Tipo de empaque	Bolsa de polietileno y luego en cajas de cartón corrugado.
Advertencia	No congelar después de descongelar.
Información alérgena	Contiene carne de pescado.
Procedencia del producto	Importado de Chile (Salmón entero).
Destino del producto	Mercado Nacional (Colombia).
Imagen del producto	

Fuente: El Gran Langostino S.A.S., 2020.

En la figura 3 se presenta el diagrama de bloques del proceso productivo principal de la empresa El Gran Langostino S.A.S.

Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de acondicionamiento del salmón en la empresa El Gran Langostino S.A.S.



Fuente: Benavides *et al.*, 2018

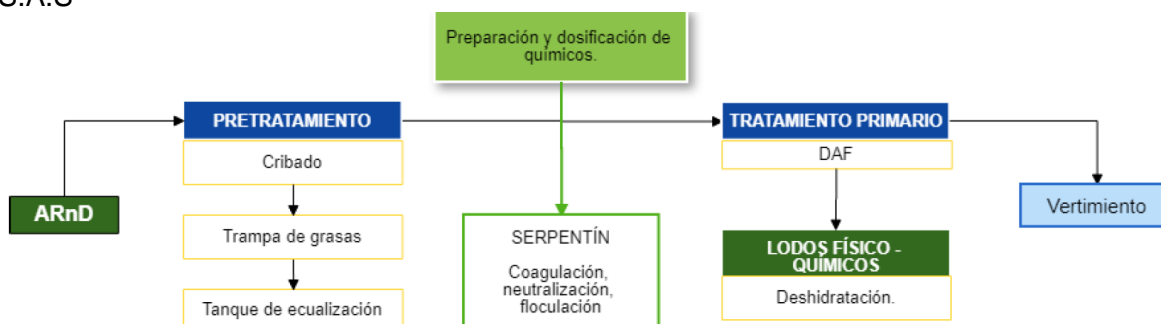
1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 PTAR (Planta de tratamiento de agua residual) de la empresa El Gran Langostino S.A.S. La planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la empresa El Gran Langostino S.A.S, consta de un sistema fisicoquímico que funciona con el principio de coagulación/floculación/flotación, mediante la adición de sustancias que desestabilizan la carga eléctrica de las moléculas contaminantes y las conglomeran formando *flocs*. Dichos *flocs* son removidos en un reactor DAF que los convierte en sobrenadantes por la inyección de microburbujas de aire y luego los separa con la acción de un juego de paletas mecánicas (Rivera y Portillo, 2020).

La empresa se encuentra clasificada en el Artículo 12 de la resolución 0631 de 2015: “Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas”, en la actividad específica “Elaboración de productos alimenticios” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

La generación de ARnD en El Gran Langostino S.A.S, tiene lugar en el proceso de fileteo de salmón y en las operaciones de descongelamiento y lavado de materiales e instalaciones. La empresa genera ARnD las 24 horas del día; sin embargo, la PTAR solo funciona 16h/día con dos turnos distribuidos de lunes a sábado de 6:00am - 2:00pm - 2:00pm a 10:00pm. Con esto el volumen al día estimado de ARnD es de 40m³ (Proyecto con Ingeniería, 2019).

Figura 4. Esquema conceptual del sistema de tratamiento en la empresa El Gran Langostino S.A.S



Fuente. Proyecto con Ingeniería, 2019.

El diagrama conceptual del sistema de tratamiento consta de:

Pre - tratamiento: cribado, trampa de grasas y homogenización del ARnD generada en la planta de producción.

Tratamiento: coagulación, neutralización, floculación y flotación.
 Manejo de Lodos Físico – Químicos: almacenamiento de lodos.
 Zona de Preparación y Dosificación de Productos Químicos: coagulante, neutralizante y floculante.

El cuadro 2 presenta las características de ARnD a la entrada del sistema de tratamiento:

Cuadro 2. Valores de entrada del sistema de tratamiento

Parámetro	Unidades	Valor de entrada al sistema de tratamiento
pH	Unidades de pH	6.8 – 7.9
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	4480
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	1462
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	124
Grasas y Aceites (G&A).	mg/L	70
Relación DBO/DQO	%	32,64

Fuente. Proyecto con Ingeniería, 2019.

El cuadro 3 presenta las características requeridas en el efluente del sistema de tratamiento.

Cuadro 3. Cumplimiento con la Resolución 0631 de 2015

Parámetro	Unidades	Resolución 0631 de 2015	Efluente con tratamiento físico - químico
pH	Unidades de pH	6 - 9	6 – 9
Demanda química de oxígeno (DQO).	mg/L	<600	1800 – 2700
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	mg/L	<400	590 – 880
Sólidos suspendidos totales (SST).	mg/L	<200	<200
Grasas y Aceites (G&A).	mg/L	<20	<10

Fuente. Proyecto con Ingeniería, 2019.

En el cuadro 4 se presentan los productos utilizados en el tratamiento de aguas residuales no domésticas y la función de cada uno de ellos.

Cuadro 4. Productos químicos empleados

Producto	Concentración estimada (g/L)	Función
PAC: Policloruro de Aluminio	1250	Coagulante
KOH, Potasa Cáustica	200	Ajuste de pH
Polímero floculante EXRO 663	0.5	Floculante

Fuente. Proyecto con Ingeniería, 2019.

Cuadro 5. Dosis estimadas en diseño

Producto	Dosis estimadas en diseño (mg/l)
PAC: Policloruro de Aluminio	300 – 1000
KOH, Potasa Caustica	100 – 500
Polímero floculante EXRO 663	5 - 10

Fuente. Proyecto con Ingeniería, 2019.

1.4.2 Evaluación multicriterio. Es un instrumento que permite evaluar alternativas como posibles soluciones a un determinado problema, considerando criterios que apoyan la toma de decisiones en la selección de la solución más conveniente.

Los componentes a seguir de una evaluación multicriterio son: la definición y estructuración del problema, la descripción de alternativas potenciales, la elección de conjuntos de criterios de evaluación y la identificación de un sistema de preferencia para la toma de decisiones, comúnmente por medio de una asignación de peso (Grajales, Serrano y Hahn, 2013).

1.4.3 Producción más limpia. Es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios, para aumentar la eficiencia general y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente. La producción más limpia puede abordar tanto los procesos de fabricación como los productos e interpreta el desarrollo de productos más limpios como el tipo de mejora más radical (Thrane, Nielsen and Christensen, 2009).

El manejo de los desechos ligados a la producción más limpia posee cuatro lineamientos importantes: Reducir, Reutilizar, Tratar y Disponer, que permiten el uso eficiente de los recursos en una empresa, a favor del cuidado del medio ambiente (Ocampo, 2013).

Reducir: corresponde a las acciones dirigidas a reducir la producción de objetos susceptibles de convertirse en residuos.

Reutilizar: se reutilizan los residuos con el fin de otorgar una mayor vida útil, reducir gastos económicos y contaminación.

Tratar: se deben tratar los residuos generados antes de enviarlos a su disposición final, debido a que pueden contener restos orgánicos, químicos, bioinfecciosos u otro agente que perjudique al ambiente o la salud humana.

Disponer: se deben disponer adecuadamente los residuos sólidos para reducir el impacto ambiental y sanitario, mediante la implementación técnica y científica a través de tecnologías y métodos de prevención. Ejemplo de esto es el confinamiento final de residuos peligrosos o químicos.

2. METODOLOGÍA

Se detallan a continuación las etapas desarrolladas para obtener la información que permita la formulación y análisis de alternativas dirigidas a mitigar los impactos ambientales y al aprovechamiento de los efluentes generados en la planta de acondicionamiento del salmón, en la empresa El Gran Langostino S.A.S.

2.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE SALMÓN

Se realizó la visita a la empresa El Gran Langostino S.A.S., con el fin de identificar las actividades desarrolladas en el proceso productivo de acondicionamiento de salmón. Se recolectó información y datos relevantes de materias primas, operaciones y consumo de recursos, que permitieron la caracterización de entradas y salidas, la identificación de los aspectos e impactos ambientales y las oportunidades de aprovechamiento de los subproductos generados.

Se identificaron las etapas que conforman el proceso de acondicionamiento de salmón, junto con las variables de mayor importancia, tales como tiempos, temperaturas, cantidad de producto y volumen de consumo agua. En segundo lugar, se reconocieron las unidades que hacen parte del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa, distinguiendo el orden, funcionamiento y las características de cada una de ellas. Por último, se realizó la recolección de datos relevantes para el caso de estudio, por medio de la solicitud de información documentada y entrevistas al jefe del departamento de gestión ambiental, jefe de calidad, pasantes, operarios y gerente de la empresa.

Con la información obtenida se elaboró el diagrama de proceso de acondicionamiento de salmón; etapas, variables y tratamientos derivados aplicados a los subproductos generados; del mismo modo, se realizó un análisis de consumo del recurso hídrico, el sistema de tratamiento de aguas residuales y el aprovechamiento de los residuos generados, para su un posterior diagnóstico.

2.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Se realizó la revisión bibliográfica de trabajos de grado, revistas y artículos científicos, relativos a alternativas implementadas en las industrias relacionadas con la actividad de la empresa objeto de estudio. Estas alternativas se evaluaron y seleccionaron considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales, para facilitar la posterior evaluación multicriterio específica para el presente estudio de caso.

Las alternativas que han sido propuestas para cada problemática identificada se muestran a continuación:

Elevado consumo del recurso hídrico: recirculación del agua de lavado por riego y cambio de boquillas en el sistema de aspersión para descongelación.

Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A): instalación de una trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises, desvío de las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales y desvío de las aguas grises al tanque ecualizador (Reactor VFL).

Desaprovechamiento de grasas y aceites: generación de biodiesel a partir de aceite y grasa de salmón y extracción de aceite omega 3.

Las alternativas mencionadas están basadas en los lineamientos de la producción más limpia (Reducir, Reutilizar, Tratar y Disponer); cabe aclarar que el orden de estos puntos es proporcional a su grado de importancia y se integran como punto clave en la evaluación multicriterio de este estudio de caso.

Dado que este trabajo busca seleccionar una alternativa que permita mitigar los impactos ambientales causados por las aguas residuales en el proceso de acondicionamiento del salmón y que la empresa considera importante mantener un equilibrio económico, la relación costo - beneficio resulta fundamental; por ello se determinó que los criterios de mayor impacto económico y ambiental debían tener un nivel de importancia alto y medio, como se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6. Aspectos, criterios con abreviatura y nivel de importancia de los criterios.

Aspectos	Criterios	Abreviatura	Nivel de Importancia
Técnicos	Operación y mantenimiento	O&M	-
	Requerimiento de mano de obra calificada	RMO	-
	Requerimiento de espacio	RE	-
Económicos	Costo de construcción o adquisición	CCA	Alto
	Costo de operación	CO	Medio
	Costo de mantenimiento	CM	Alto
Ambientales	Impacto recurso agua	IAG	Alto
	Impacto recurso aire	IA	Medio
	Impacto recurso suelo	IS	Medio

2.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

El análisis multicriterio consta de una matriz de datos relacionados con las problemáticas presentes, las posibles alternativas, los aspectos considerados y sus criterios de evaluación, los cuales tendrán una ponderación en un rango numérico entre 0 y 3,

referentes a una viabilidad nula, baja, media y alta, respectivamente; de esta manera se obtiene una sumatoria final, donde la de mayor valor, representa la mejor alternativa para cada problemática planteada.

Para la calificación de los criterios, es importante interpretar de manera adecuada el valor de viabilidad que se le otorga a cada uno; el cuadro 7 expone los criterios y su interpretación por ponderación, con el fin de generar un mejor entendimiento de los resultados obtenidos en la evaluación multicriterio.

Cuadro 7. Interpretación de los criterios según nivel de ponderación

Aspectos	Criterios	Interpretación por viabilidad			
		0 “nula”	1” baja”	2 “media”	3 “alta”
Técnicos	O&M	Muy complejo	Complejo	Poco complejo	No existe complejidad
	RMO	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo o nulo
	RE (m ²)	Mayor a 60m ²	40m ² - 60m ²	20m ² - 39m ²	Menor a 20m ²
Económicos	CCA (COP)	Mayor a 300 millones	160 a 300 millones	50 a 160 millones	Menor a 50 millones
	CO (COP)	Mayor a 2,5 millones	800 mil a 2,5 millones	150 mil a 800 mil	Menor a 150 mil
	CM (COP)	Mayor a 4,5 millones	1,5 a 4,5 millones	500 mil a 1,5 millones	Menor a 500 mil
Ambientales	IAG	Muy significativo	Significativo	Moderado	Bajo/nulo
	IA	Muy significativo	Significativo	Moderado	Bajo/nulo
	IS	Muy significativo	Significativo	Moderado	Bajo/nulo

La evaluación multicriterio se desarrolló teniendo en cuenta la matriz para la priorización de problemas y la ponderación de rango numérico propuesto por Grajales, Serrano y Hahn (2013); sin embargo, esta metodología se ajustó de acuerdo a las necesidades del estudio de caso, como se muestra en el cuadro 8.

Con la intención de que la evaluación multicriterio esté guiada hacia la elección de la alternativa más objetiva, de acuerdo con los requerimientos del estudio de caso, en primer lugar, se establecieron pesos para cada nivel de importancia de los criterios vinculados a los aspectos económico y ambiental, que se han considerado como los más relevantes; estos se multiplicaron por el grado de viabilidad (0, 1, 2 o 3), obteniendo una calificación distintiva para cada criterio.

Cuadro 8. Ejemplo base de matriz para la evaluación multicriterio

Problemáticas	Alternativas	Aspectos									Total
		Técnico			Económico			Ambiental			
		O&M	RMO	RE	CCA	CO	CM	IAG	IA	IS	Σ
Elevado consumo del recurso hídrico	Recirculación de agua										
	Cambio de boquillas										
Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A)	Instalación trampa grasa										
	Aguas grises a pretratamiento										
	Aguas grises a VFL										
Desaprovechamiento de grasas y aceites	Generación de biodiesel										
	Extracción de omega 3										

Una vez aplicado lo anterior, se tuvieron en cuenta las alternativas que tienen relación directa con los lineamientos que conforman la producción más limpia (Reducir, Reutilizar, Tratar y Disponer); cada uno de estos tiene un peso de acuerdo a su grado de importancia. Finalmente, la sumatoria de cada alternativa se multiplicó por la ponderación ya especificada. De esta forma se obtuvo un puntaje final idóneo que contribuyó a la selección y discusión de la mejor alternativa (Cuadro 9).

Cuadro 9. Pesos para los niveles de importancia de los criterios para los aspectos más relevantes y los lineamientos de la producción más limpia

Criterio	Nivel de importancia	Peso	Lineamiento (Producción más limpia)	Nivel de importancia	Peso
CCA	Alto	3	Reducir	Muy Alto	1
CM	Alto		Reutilizar	Alto	0,8
IAG	Alto		Tratar	Medio	0,6
CO	Medio	2	Disponer	Bajo	0,4
IA	Medio				
IS	Medio				

Finalmente, el puntaje máximo e ideal que una alternativa puede tener, considerando la información anteriormente mencionada, es de **54** puntos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología propuesta, a continuación, se presentan los resultados obtenidos.

3.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL SALMÓN

La operación de acondicionamiento de salmón en la empresa El Gran Langostino S.A.S, comienza en la zona de producción principal con la recepción de la materia prima (salmón), que llega a la planta en cajas de cartón corrugado y se ubica inicialmente en una precámara; a continuación, se dispone en canastas que se ubican en estibas, en donde se descongela mediante un sistema de aspersion, hasta alcanzar la temperatura de proceso.

El acondicionamiento inicia con el descabezado; a continuación, sobre la canal, se realiza un corte recto siguiendo la espina dorsal y se retiran la grasa del estómago y las espinas del lomo; a continuación, el producto se traslada a la sección de empaque al vacío y pesaje de unidades, para apilar finalmente los filetes en cuartos fríos, en donde se embala en cajas de cartón corrugado que se almacenarán para su distribución final.

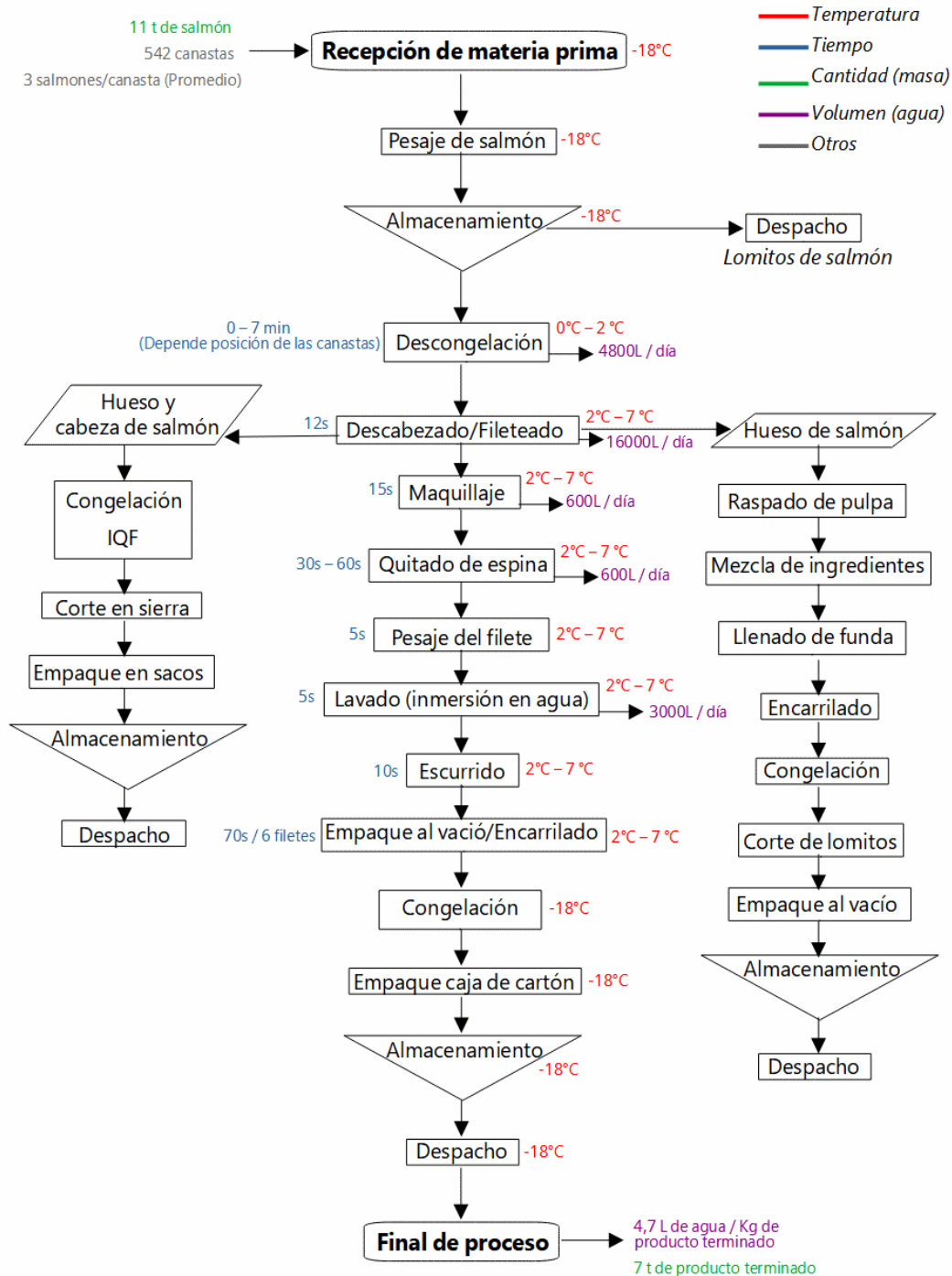
La figura 5 muestra el proceso de acondicionamiento de salmón con las variables más importantes; entre ellas se enfatiza el consumo de agua potable. Las etapas u operaciones con el mayor gasto del recurso son la descongelación, descabezado/fileteado, maquillado, despigonado y la inmersión en agua para el lavado del filete, obteniendo como dato final de consumo estimado, 4,7 litros de agua por kilogramo de producto terminado (El Gran Langostino, 2021a).

3.1.1 Diagnóstico de consumo de agua. El recurso agua comienza a utilizarse en el proceso de descongelación; en este punto se encuentran aproximadamente 1626 salmones, distribuidos en 542 canastas ubicadas en 12 anaqueles. El sistema de aspersion funciona por un tiempo máximo de 7 min/h durante 12 horas al día; en promedio, para los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2020 (Anexo C), el consumo fue de $4,8\text{m}^3$.

Con el objetivo de humedecer el salmón y hacer más fácil el corte, en la operación de descabezado y fileteado se cuenta con ocho canecas de 200 litros de capacidad cada una, a las cuales se les cambia el agua alrededor de 10 veces al día, lo que significa un consumo de $16\text{m}^3/\text{día}$; el lavado constante de materiales para el maquillaje y extracción de espina, se realiza en 12 recipientes con capacidad de cinco litros cada uno, con alrededor de 20 cambios al día, lo que se traduce en un gasto de $1,2\text{m}^3/\text{día}$. Finalmente, según registros, el gasto de agua en la operación de lavado de filete de salmón por inmersión es de $3\text{m}^3/\text{día}$, para un consumo total en la empresa de alrededor de $25\text{m}^3/\text{día}$. El consumo diario total de agua en los registros de uso eficiente del recurso en la empresa, equivale a 4,7 litros de

agua por kg de producto terminado, valor superior a la suma de los datos por etapas, que se explica porque en determinados momentos se emplean tanques con capacidad de 1m³ para mejorar y agilizar la descongelación de salmón por inmersión, que en ocasiones, por efectos de producción y logística, no pasa por la precámara.

Figura 5. Diagnóstico del proceso de acondicionamiento del salmón



Por otro lado, desde el año 2020, la empresa El Gran Langostino S.A.S, ha venido implementando estrategias de ahorro y mejor uso del recurso hídrico, que les ha permitido realizar una reducción de 2 L/kg de producto terminado, pasando de de 7.7 L/kg hasta 4.7 L/kg en un mismo año; estas estrategias se describen a continuación:

a. Adaptación de un sistema precámara con capacidad de almacenamiento de 500 cajas, que consiste en una serie de anaqueles donde se dispone el pescado a -18°C durante 20h, al final de las cuales el salmón ingresa a planta a una temperatura que varía entre 5 y 6°C, lo cual ha ayudado al proceso de descongelamiento de la materia prima que posteriormente será procesada (Anexo D).

b. Se estandarizó el sistema de aspersión para el proceso de descongelación de salmón, por medio de la toma de datos de temperatura antes y después del proceso, identificando las flautas y áreas del sistema que requerían mayor cantidad de agua, lo cual permitió la automatización del proceso mediante la selección de tiempos específicos, dependiendo de la altura a la que se encontraba ubicada la materia prima (Cuadro 10). De esta forma se garantizan las condiciones óptimas para el procesamiento del pescado (Anexo E).

Cuadro 10. Tiempo de riego por nivel de ubicación de salmón en anaquel

Nivel	Tiempo de riego por hora (min)
1	0
2	2
3	5
4	7

c. Se adquirieron ocho anaqueles más (sólo se contaba con cuatro en planta), con el fin de lograr una mejor distribución del producto y un descongelamiento óptimo, lo cual evita el uso de tanques de agua que generan mayor consumo del recurso.

Una vez implementadas estas mejoras, se identificaron las etapas con alto consumo de agua, encontrando que la situación persiste en descongelado y descabezado – fileteado. En la primera etapa se evidencia desperdicio al momento de realizar el riego, dado que el agua está destinada a un solo uso y se descarta aun cuando no contiene una alta carga contaminante (Alkaya and Demirer, 2016).

En la segunda, se debe tener en cuenta el uso de canecas con agua en los cuales humedece el salmón para facilitar la operación; sin embargo, esta etapa representa un aporte considerable de compuestos orgánicos para las aguas generadas en todo el proceso de acondicionamiento, las cuales se disponen directamente a la canal principal y posteriormente se mezclan con las aguas grises, de tal forma que se genera una dilución de la materia orgánica, impidiendo la correcta separación de la misma en el tratamiento de las aguas residuales (Anexo F).

3.1.2 Aprovechamiento de subproductos de la empresa. El Gran Langostino S.A.S genera alrededor de cuatro toneladas de subproducto al día, equivalentes al 36,4% de la materia prima inicial; estos subproductos están conformados principalmente por la cabeza, hueso, recortes y pulpa (raspado del hueso). La empresa aprovecha 220kg de pulpa al día, que representa entre el 80% y 85% de materia prima para la elaboración de productos tales como carne de hamburguesa, nuggets, chuleta, croquetas y bocados (Figura 6). Mensualmente, de 30 a 35 toneladas de cabeza se venden al mercado urbano y diariamente de 1,5 a 2 toneladas de recortes y huesos a la empresa Refinal S.A.S, dedicada a la comercialización de productos agropecuarios.

Figura 6. Productos provenientes del aprovechamiento de la pulpa en la empresa El Gran Langostino S.A.S



Fuente. El Gran Langostino, 2021b.

Es común que las empresas procesadoras de pescado busquen el aprovechamiento de materia orgánica como la grasa, a través del tratamiento de subproductos como las cabezas, huesos, recortes y pulpa, entre otros, para la elaboración de productos de valor agregado (Torres, 2013). Por ejemplo, se han utilizado subproductos de procesamiento de salmón del Atlántico para extraer aceite por medio de hidrólisis enzimática, logrando una recuperación de 93,6% de producto final (Liu, Ramakrishnan and Dave, 2021); por otro lado,

se han recolectado productos derivados de la trucha arco iris para una posterior separación de aceite mediante la técnica de extracción de fluidos supercríticos, obteniendo en promedio un 40% (Torres, 2013).

Como los anteriores, existen otros métodos de extracción de grasa y aceite como CO₂ supercrítico, asistida por microondas y ultrasonido, entre otros, que se basan en tratar como materia prima los desechos de este tipo de industrias, teniendo en cuenta que la eficiencia de extracción depende de cada método empleado. Sin embargo, aunque estos métodos puedan recolectar una cantidad considerable de grasa, la empresa El Gran Langostino S.A.S ha establecido el aprovechamiento de sus subproductos, comercializándolos o dándoles valor agregado, lo cual representa ventas que superan los 80 millones de pesos (Anexo G), de manera que se considera viable invertir en el aprovechamiento de las grasas, aceites y materia orgánica presente en las aguas residuales.

3.1.3 Tratamiento de aguas residuales para disminución de impactos ambientales.

Como se muestra en la figura 7, las aguas residuales industriales de la empresa, se originan en su mayoría en la planta de procesamiento; estas fluyen a través de una canal principal que cuenta con una deteriorada rejilla de separación de sólidos, que, además, no cuenta con la inclinación adecuada (90°) y continuamente presenta obstrucciones ocasionadas por la cantidad de sólidos generados en planta, observando reboses frecuentes y una reducción de la eficiencia de retención; en este punto se encuentra un depósito, en el cual se mezclan las aguas residuales industriales con otras provenientes de lavado de botas y canastillas. La mezcla se dirige hasta un pretratamiento que consta de unas rejillas de cribado para la retención de los sólidos gruesos, posteriormente cae a las trampas de grasas y aceites con capacidad de 7,8m³ para cada unidad, donde se extraen al día 1395,7 mg/L de grasas y aceite (Anexo H).

La cantidad de grasa y aceite que entra al sistema se afecta debido a la mezcla con las aguas grises; a manera de hipótesis, estas pueden incidir directamente en el 32,64% de la relación DBO/DQO (Cuadro 2), haciendo que se reduzca significativamente el grado de biodegradabilidad del agua residual. Por consiguiente, esta agua podría representar una oportunidad de aprovechamiento, siempre y cuando no se mezcle o disuelva con las aguas grises.

Las aguas derivadas de las trampas grasas, caen a un tanque de ecualización (reactor VFL) de 9m³ de capacidad, cuyo objetivo es homogenizar el caudal y la carga de las aguas residuales industriales; en este punto, en la medida que la empresa genera más caudal del que puede tratar, es común que sucedan reboses de aguas residuales. Estas aguas se desvían por una tubería que hace parte del reactor, lo que ocasiona que no logren llegar al sistema de tratamiento complementario y se vayan directamente al sitio de vertimiento, generando así un problema de contaminación. Siguiendo con el tratamiento, el agua es bombeada desde el tanque de ecualización hacia un mezclador estático serpentín, en el cual se inyectan productos químicos por medio de bombas dosificadoras, para efectuar las operaciones de coagulación, neutralización y floculación, buscando reducir la carga contaminante (Figura 8).

Figura 7. Sistema pretratamiento de aguas residuales de la empresa El Gran Langostino S.A.S. a: Rejilla de separación de sólidos; b: Depósito mezcla de aguas residuales; c: Rejilla de cribado; d: Grasa; e: Aceite

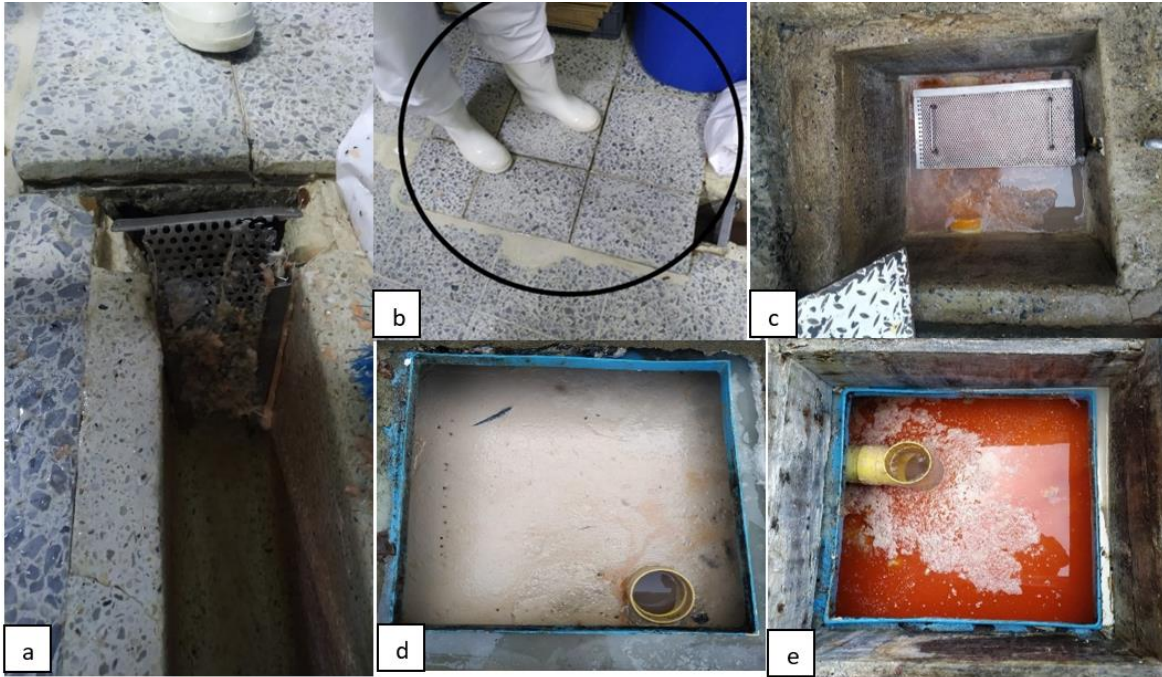
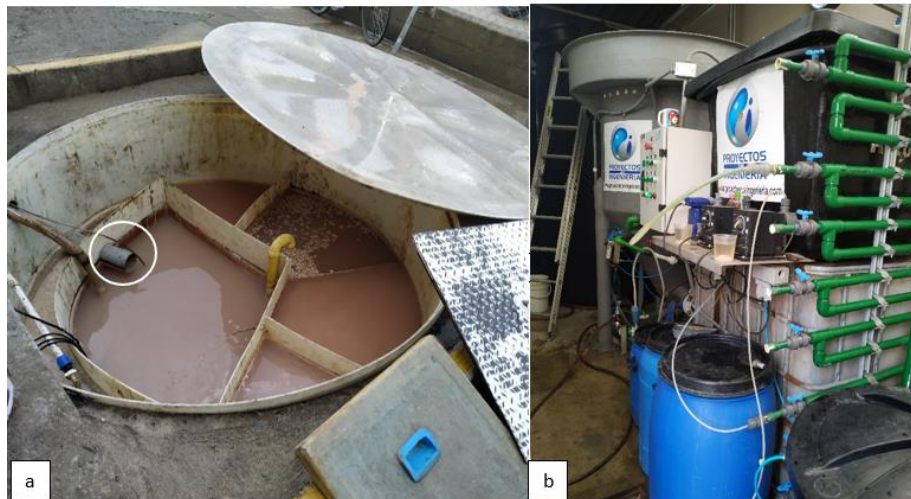


Figura 8. a: Tanque de equalización (reactor VFL); b: Mezclador estático serpentín El Gran Langostino S.A.S



Las aguas residuales no domesticas provenientes del serpentín, donde fueron inyectados los productos químicos, ingresan a una Celda DAF (Flotación por Aire Disuelto), donde se forman microburbujas que atrapan las partículas contaminantes; estas flotan y son retiradas por medio de un raspador. Finalmente, para facilitar la disposición de lodos proveniente de los raspados, estos se almacenan en dos tanques de 6000L para su acondicionamiento y

bombeo hacia big bags (contenedores intermedios flexibles a granel) con el fin de realizar su deshidratación y disposición final (Figura 9).

Figura 9. Sistema DAF y tanque de acondicionamiento y bombeo



3.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta el diagnóstico realizado, los problemas identificados sobre los cuales se profundizó en el análisis de alternativas, se resumen en el consumo elevado del recurso hídrico en operaciones como lavado por aspersión y descabezado-fileteado, la pérdida y dilución de componentes oleosos generados en proceso y el desaprovechamiento de este residuo que podría ser utilizado como materia prima para la elaboración de productos con valor agregado.

3.2.1 Elevado consumo del recurso hídrico. A continuación, se abordan las dos posibles alternativas que buscan el uso más eficiente del agua, debido al elevado consumo de este recurso generado en el área de producción de la empresa El Gran Langostino S.A.S.

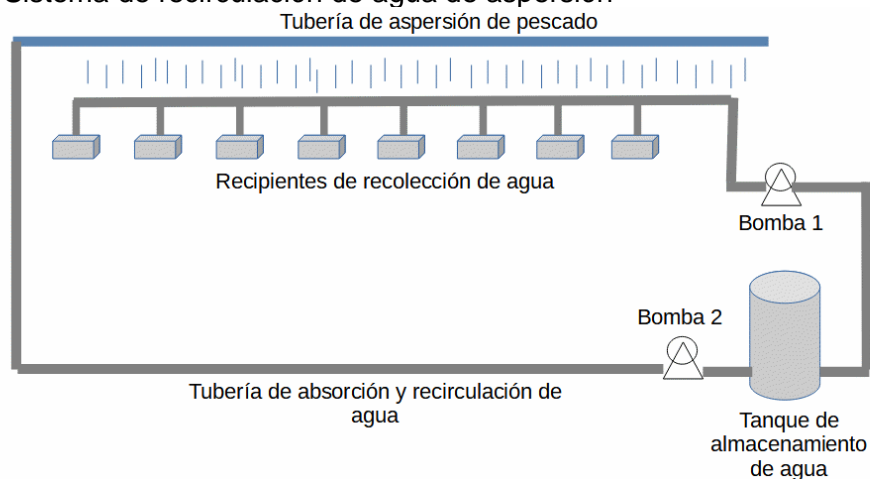
3.2.1.1 Recirculación del agua de aspersión. Como alternativa para el ahorro del consumo de agua en la planta de procesamiento de salmón, en el punto del riego por aspersión automatizado para la descongelación del pescado se planteó un sistema de reciclaje, que consiste en la adaptación de ocho recipientes de acero inoxidable con un volumen de 0.36m^3 , que irán ubicados en la parte inferior de ocho anaqueles, junto con el sistema de riego mencionado; estos recipientes, cuya función es almacenar el agua generada en la aspersión por anaquel, estarán vinculados con una tubería en PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 13.65m de largo que se conectará a una bomba centrífuga de $\frac{1}{4}$ Hp (0.1864kW).

A la entrada de la bomba se tendrá un filtro en "y", que servirá para retener partículas e impurezas provenientes de la red, aumentando la vida útil de las tuberías y mejorando la calidad del agua; a la salida estará presente una válvula check o de pie, que permite al

fluido desplazarse en una dirección, pero se cierra automáticamente una vez lo ha succionado, previniendo el flujo en la dirección opuesta y manteniendo constantemente el agua en el interior de la tubería, lo que contribuye a la preservación del sello mecánico de la bomba y la succión. El agua contenida en cada recipiente, se vierte a un tanque común de acero inoxidable de 200 L de capacidad.

El tanque al cual llegará el agua de aspersión, estará conectado a la tubería de agua potable de abastecimiento y contará con un controlador de temperatura, que mediante la función On/Off, puede activar la resistencia o calefactor tubular sumergible de 1 kW hasta alcanzar la temperatura programada y mantener, de la misma manera, la temperatura entre 20 y 25°C, dado que el agua proviene de la sección de riego y ha estado en contacto directo con el pescado congelado. En este punto se tendrá una bomba de 1 hp (0.75 kW), bajo las mismas condiciones de entrada y salida y desplazará el agua desde el tanque al sistema de riego, cumpliendo así con el ciclo de recirculación cada hora, durante las 12 horas que permanece el sistema activo (Figura 10).

Figura 10. Sistema de recirculación de agua de aspersión



Con el fin de controlar y evitar acumulación de parámetros orgánicos en las tuberías y el tanque de almacenamiento, existe la posibilidad de sanitizar el sistema; en primer lugar, se realiza una purga a las tuberías con una solución de hipoclorito al 3% en el lapso de tiempo que considere prudente el departamento de calidad, de acuerdo con el recuento microbiano promedio obtenido. En segundo lugar, se renovará el agua que contiene el tanque, recirculándose de nuevo al sistema de riego, al menos dos veces cada vez que este se realice; esto contribuye a que la tubería y el tanque estén libres de cualquier carga orgánica y no se afecte la calidad e inocuidad del producto.

En términos de ahorro y uso eficiente del recurso, es importante tener en cuenta que actualmente la empresa tiene un gasto promedio de 4.8 m³ de agua diario en el sistema de riego; implementando el sistema de recirculación, ese consumo podría verse reducido en un 91,67%, pasando a un empleo diario de aproximadamente 0.4 m³ de agua en esta etapa.

Los costos directos e indirectos de esta alternativa representan una suma superior a los 10 millones de pesos (Anexo I).

3.2.1.2 Cambio de boquillas en el sistema de aspersión para descongelación. La empresa El Gran Langostino S.A.S, posee un sistema de riego automatizado con 292 boquillas de aspersión tipo nebulización, ubicadas en los anaqueles para el descongelamiento de la materia prima; este sistema tiene un consumo diario estimado de $4,8\text{m}^3$ de agua y está relacionado con las mejoras obtenidas por la empresa a través del tiempo. El cambio de boquillas permite lograr una reducción considerable en el consumo del recurso hídrico. Uttamangkabovorn, Prasertsan and Kittikun (2005), implementaron un sistema de riego en una empresa procesadora de atún enlatado en Tailandia, para disminuir la temperatura del pescado después de un proceso de cocción; inicialmente el sistema contaba con boquillas de aspersión con un diámetro de 1,66mm y gastaba al día un aproximado de $67,21\text{m}^3$ de agua, siendo este el proceso con mayor consumo; con el cambio de boquillas de 0,5mm de diámetro para aspersión por pulverización, la empresa logró reducir en un 34% el consumo de agua.

La empresa El Gran Langostino S.A.S. podría cambiar las boquillas actuales con diámetro de 1,26mm por otras de 0,5mm (Figura 11), pudiendo reducir el consumo a $3,168\text{m}^3$ en el punto de descongelamiento, considerando que ya cuenta con el sistema de aspersión establecido, con una bomba funcional para el sistema de nuevas boquillas, cuya instalación la puede realizar la empresa. Finalmente, el costo para esta alternativa es de \$2'770.427 COP (Anexo K).

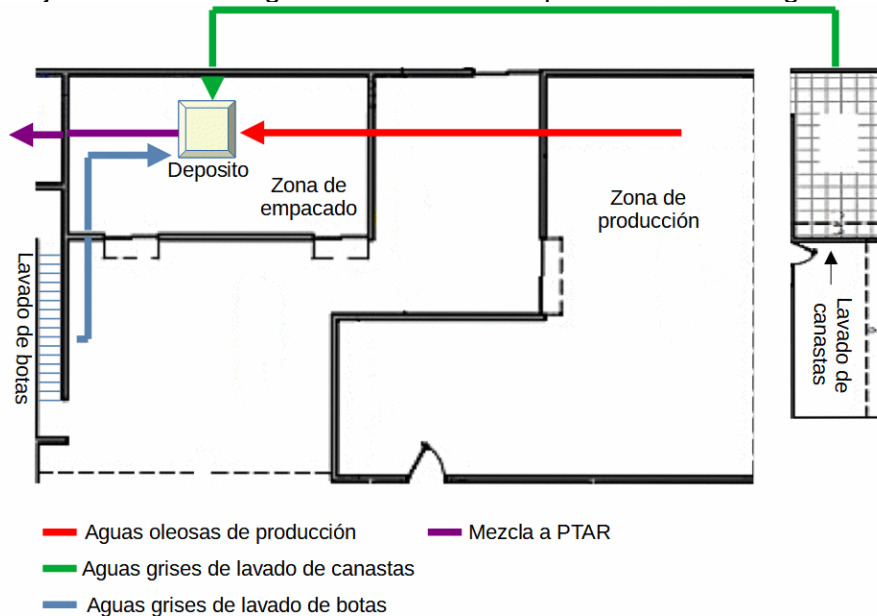
Figura 11. Boquillas actuales y de alternativa de riego por pulverización



Se destaca que el costo de instalación es el más importante al incorporar esta alternativa; sin embargo, el ahorro en el costo del consumo de agua respecto al sistema actual, sería de \$107.269 COP/mes, lo cual es una ventaja a largo plazo (Anexo L).

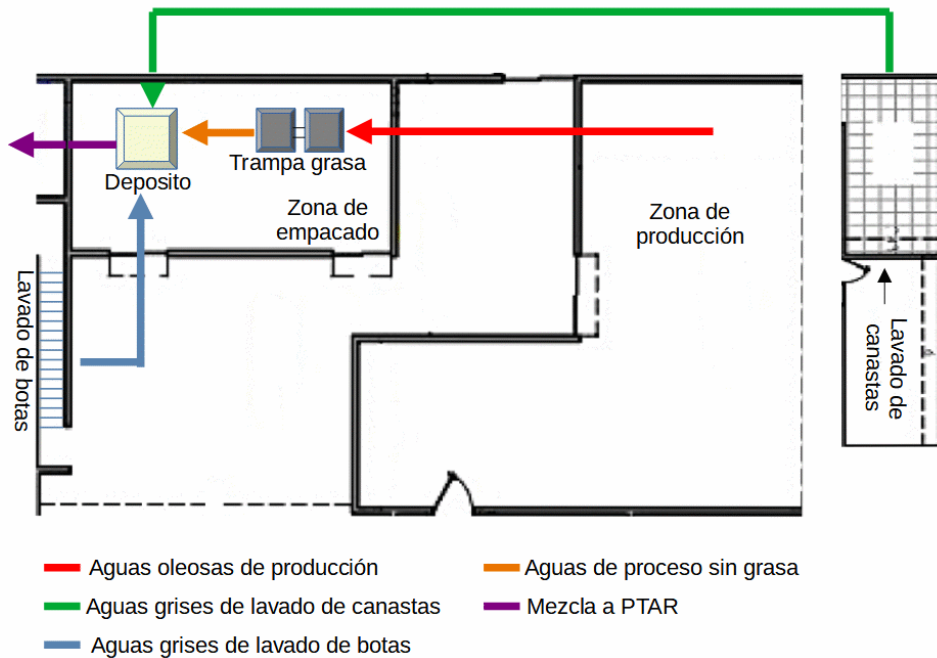
3.2.2 Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A) generados en el proceso de acondicionamiento de salmón. La empresa El Gran Langostino S.A.S cuenta con una cámara común que es un punto clave dentro del tratamiento y flujo de las aguas de proceso; en ella se acumulan aguas grises y una composición considerable de grasas y aceites, que, al mezclarse, se diluyen, haciendo menos eficiente su separación en unidades posteriores de tratamiento e incrementa los niveles de carga orgánica de las aguas residuales no domésticas (Figura 12). Sobre esta base, se plantean alternativas dirigidas a generar opciones que permitan mejorar el tratamiento de los efluentes y la obtención de las grasas y aceites en su forma más estéril, considerando este residuo como una materia prima para un posterior aprovechamiento.

Figura 12. Flujos actuales de agua residual en la empresa El Gran Langostino S.A.S



3.2.2.1 Instalación de una trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises. La instalación se realizaría en el área de empaçado y recepción de producto, contigua al área de procesamiento, antes de la cámara en donde se conectan las tres tuberías de los efluentes (aguas de proceso, lavado de botas y de canastillas); en este punto se acondicionará una trampa grasa de uso interior (bajo tierra), que cuenta con dos compartimientos en fibra de vidrio y resina anti ácido, con capacidad de 5m³ y una bomba de achique por cada compartimiento, que se usa a bajos niveles y se introduce en el agua junto con un sensor o interruptor de nivel acoplado a la misma, el cual posibilita que se detenga o arranque la bomba de manera automática en función del nivel de la capa de grasa. Gracias a esta función, se impide que la bomba actúe en seco, lo que podría averiarla por exceso de calor (Figura 13).

Figura 13. Flujos de agua residual con instalación de trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises



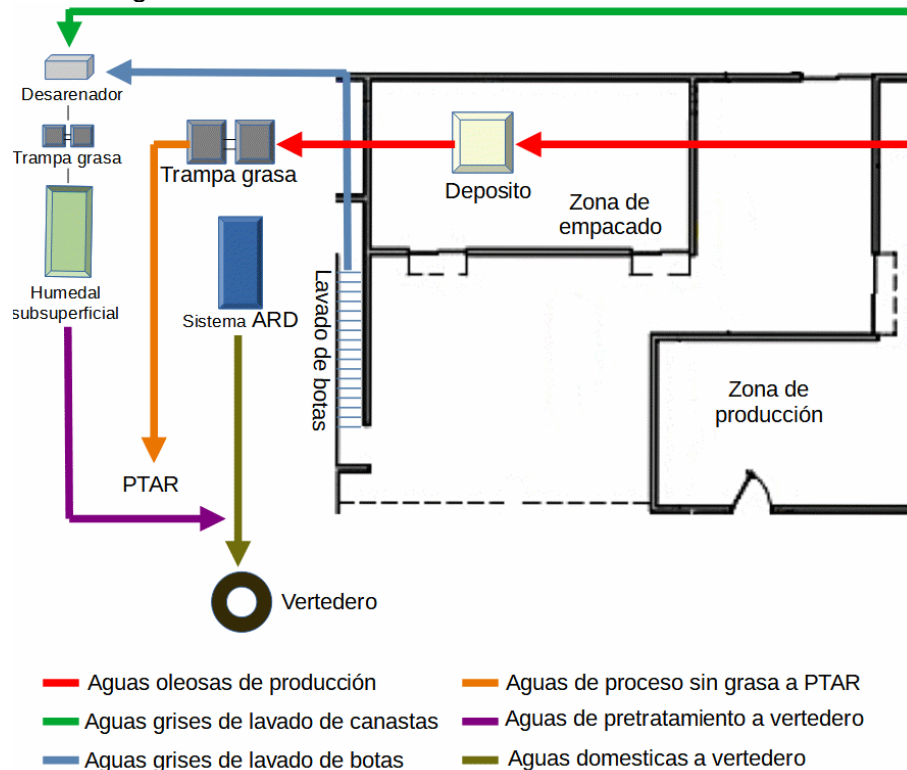
El sensor se encarga de detectar el nivel del líquido en los tanques o compartimientos en el punto exacto donde se encuentra instalado e indica mediante una señal de On/Off (Encendido o apagado) cuando el nivel del líquido o efluente ha alcanzado el máximo de llenado o el mínimo de vaciado; el líquido se absorbe por la base, en donde una rejilla impide la entrada de objetos, y se expulsa a través de un codo al que se conecta una manguera para dirigirlo hacia la zona de interés, es decir, un tanque en acero inoxidable de 200 L de capacidad, con el fin de almacenar la grasa y el aceite extraídos de la trampa; la bomba incluye una boya para automatizar su funcionamiento.

De esta forma, se haría una separación intermedia de la grasa; el agua más limpia, pasaría a mezclarse con las otros efluentes, es decir, las aguas grises, para lo cual se ahorraría la unidad actual de separación de grasas emulsionadas y pasaría directamente al tanque equalizador (Reactor VFL), siguiendo con el flujo normal de tratamiento y disminuyendo en la carga orgánica generada en proceso, evitando su dilución y el aumento en el nivel de contaminación de las aguas residuales, con lo cual se consigue una mejora en la eficiencia de la PTAR. El costo de adquisición de materiales junto con mano de obra para la implementación de esta alternativa es de \$7'682.908 COP (Anexo M).

3.2.2.2 Desvío de las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales. Esta alternativa propone el redireccionamiento de las aguas grises provenientes del lavado de botas y canastillas, hacia un sistema de pretratamiento de aguas residuales; es decir, se desvincularían las tuberías de la cámara donde actualmente se está generando el mezclado de estas aguas con las de proceso y se conectarían a una nueva

línea de pretratamiento (Figura 14). Para el caso de las tuberías de las aguas grises, se debe considerar una longitud aproximada de 9m (lavado de botas) y 22m (lavado de canastillas).

Figura 14. Flujos de agua residual para desviar las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales



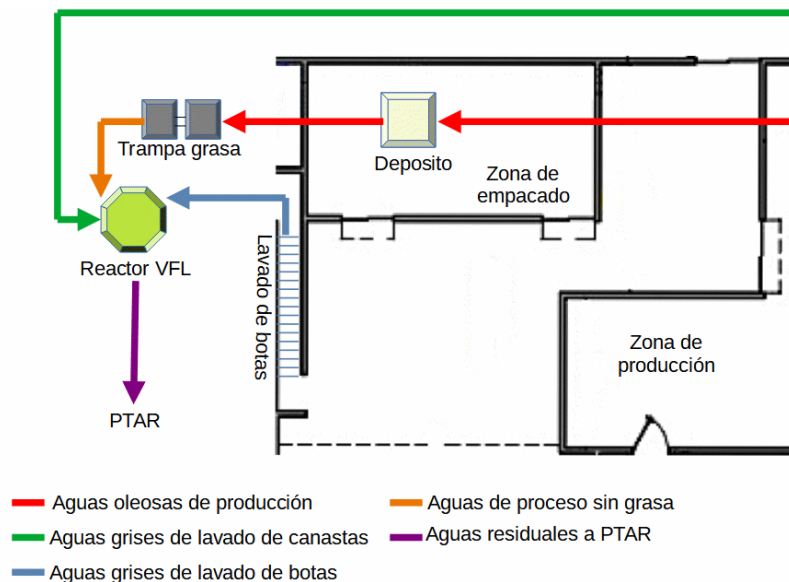
Esta alternativa requiere primero de la adaptación de un desarenador, que permite reducir la formación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales, seguido de una trampa de grasa que facilita que la misma salga a la superficie y sea retenida. El agua aclarada se evacúa por una descarga inferior y se dirige hacia un humedal subsuperficial de flujo horizontal que remueve DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos (Díaz, 2014), para su posterior depósito en el sitio de vertimiento, donde se encontrará con las aguas provenientes del sistema ARD. El objetivo de esta alternativa es fortalecer el tratamiento dado a las aguas grises, evitar el contacto de las mismas con las de proceso y reducir la carga contaminante en los vertederos, de manera que la eficiencia de la PTAR aumentaría, dado que los niveles de carga contaminante que ingresan a la misma serían menores y su reducción más sencilla. De igual manera, la extracción u obtención de la grasa, se realizará contando con los mismos materiales especificados en la alternativa ...3.2.2.1...

Teniendo en cuenta que la empresa genera un flujo aproximado de aguas grises de 236,6 L/h, los parámetros de diseño del pretratamiento son reducidos. Según el Ministerio de Desarrollo Económico (2000), el tamaño del desarenador de flujo horizontal es de 2m de

profundidad, 2,5m de largo y 1 m de ancho. Para la trampa grasa, el tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo, relación ancho : largo de 1:4, capacidad de retención mínima de 14kg y un tiempo de retención de 3 minutos. Por último, para el humedal de flujo subsuperficial horizontal, el reactor debe tener medidas de 14m² (5,6 x 2,5) con tiempo de retención de 2. Los costos aproximados en los que se debe incurrir para la aplicación de la alternativa, considerando la mano de obra, son de \$12'267.262 COP (Anexo N).

3.2.2.3 Desvío de las aguas grises al tanque ecualizador (Reactor VFL). Esta última alternativa plantea cambiar la dirección de flujo de las aguas grises hacia el tanque ecualizador (Reactor VFL); en este punto se encontrarán estas aguas con las de proceso sin grasa, evitando la mezcla (Figura 15). Esto implica el acondicionamiento de nuevas tuberías, conservando las características de las actuales en la empresa, lo cual genera un posible cambio de espacios dependiendo de la dirección y distancia más apropiada de los flujos. Para las tuberías de las aguas grises provenientes del lavado de botas y de canastillas, se debe tener en cuenta una longitud aproximada de 12m y 25m respectivamente.

Figura 15. Flujos de agua residual con desvío de las aguas grises al tanque ecualizador (Reactor VFL)



Cabe aclarar que la extracción u obtención de la grasa se realizará de la misma forma y contando con los mismos materiales especificados en la alternativa ...3.2.2.1...; los costos totales incluyendo mano de obra son de \$5'573.908 COP (Anexo O).

3.2.3 Aprovechamiento de grasas y aceites. Las siguientes dos alternativas plantean opciones de aprovechamiento de grasas y aceites provenientes del proceso de acondicionamiento de salmón, con el fin de mitigar el impacto ambiental que aportan los

componentes oleosos a la carga contaminante de las aguas residuales, además de generar productos de valor agregado que represente un ingreso económico para la empresa.

3.2.3.1 Generación de biodiesel a partir de aceite y grasa de salmón. La producción de biodiesel ha venido creciendo continuamente por ser una fuente de energía renovable y respetuosa con el medio ambiente (El-Mashad, Zhang and Avena, 2008); el aceite de salmón posee propiedades de acidez, valor peróxido, viscosidad y punto de inflamación, que lo hacen aceptable para su uso como combustible grado Diesel (Serrano, Marchetti and Mercedes, 2015).

La cantidad de biodiesel generado con aceite de salmón puede variar dependiendo de la cantidad de grasa y aceite; existen métodos a escala de laboratorio que procesan pocos kilogramos y tienen rendimientos de 91-99% de biodiesel, dependiendo del catalizador (El-Mashad, Zhang and Avena, 2008). También existen métodos de extracción de 1 tonelada de aceite para plantas de pequeña escala, con rendimientos promedio del 90% (Mota, Costa and Barreto, 2019), y procesos continuos o por batch para dimensiones industriales con capacidades considerables. Por consiguiente, es importante tener en cuenta la capacidad que tiene la empresa El Gran Langostino S.A.S de 65,68kg de aceite al día, entendiéndose que un método industrial muy grande no sería adecuado para la posible producción de biodiesel.

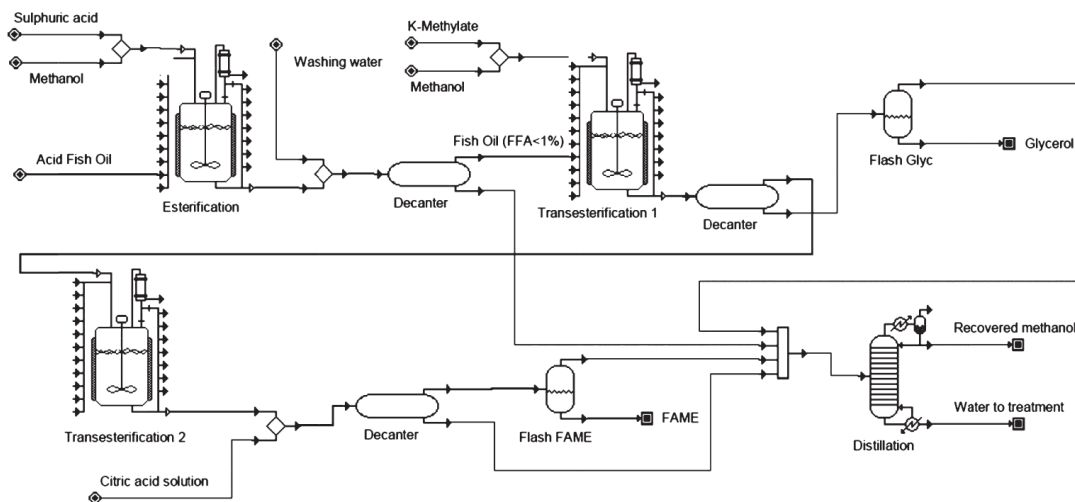
Para la producción de biodiesel existen varias técnicas disponibles; la más utilizada es la transesterificación, en la que los triglicéridos reaccionan con alcohol, generalmente metanol, en presencia de un catalizador, hidróxido de potasio o sodio (KOH o NaOH), para producir ésteres mono alquilo. El contenido de ácido graso libre (AGL) de la materia prima también es un parámetro importante a considerar, ya que podría afectar las reacciones químicas. Generalmente el aceite de salmón posee alta cantidad de AGL, por lo que el proceso daría lugar a la formación de jabones, los cuales podrían disminuir el rendimiento del biodiesel y complicar la separación y purificación del producto. La saponificación se puede evitar pretratando el aceite con un catalizador ácido para convertir los AGL en ésteres, antes de que se utilice el catalizador alcalino (El-Mashad, Zhang and Avena, 2008).

Para el aceite de salmón, un proceso simple de un paso de transesterificación alcalina catalizada no es suficiente, porque el rendimiento suele ser bajo debido a los altos valores ácidos. Un proceso de dos pasos permite que se realice un pretratamiento para esterificar los AGL y reducir los valores ácidos, para que luego se realice la transesterificación de manera adecuada (El-Mashad, Zhang and Avena, 2008).

El aceite de salmón con alto contenido en AGL se introduce en un primer reactor con agitador mecánico, junto con el metanol y ácido sulfúrico. Después de la esterificación, el aceite de baja acidez se lava y pasa por un decantador para separar el ácido sulfúrico y el metanol que no ha reaccionado; a continuación, la corriente se transesterifica con metanol y metilato. Entre los dos reactores de transesterificación se realiza una etapa de sedimentación para eliminar el glicerol producido en el primer reactor y conseguir una alta

conversión en el segundo (99,5%). La fase de ésteres metílicos se purifica con agua ligeramente ácida (solución de ácido cítrico 0,1 M), y luego se introduce en una columna flash para eliminar el agua y el metanol. La fase de glicerol también se seca por destilación flash. El metanol se recupera de varias corrientes por destilación y se recicla al principio del proceso (Figura 16) (Serrano, Marchetti and Mercedes, 2015).

Figura 16. Flujo de proceso para elaboración de biodiesel de aceite de salmón



Fuente. Serrano, Marchetti and Mercedes, 2015.

Serrano, Marchetti and Mercedes (2015), emplearon el software Super pro para estimar la inversión requerida y el costo total de la producción, dividiendo el costo de la planta en costes de inversión y costes operativos a pequeña escala. En el capital fijo directo estimado se incluyen: costo de compra de equipos principales (CSTR, decantadores, flash, columnas de destilación, etc.), tuberías, instrumentación, construcción y aislamiento. El costo indirecto incluye los costos de ingeniería. Para la empresa El Gran Langostino S.A.S, podrían aplicarse estos costos totales teniendo en cuenta que hacen referencia a una planta que se acomoda a los aspectos existentes y se deben descartar costos de una planta con capacidades de producción de más de 20 toneladas, a las que hacen referencia la mayoría de estudios de este tipo. Se acercaron los costos de mano de obra, instalación, construcción y servicios públicos a la realidad del país, considerando que son distintos, según Hervé (2007). Finalmente se obtuvo un costo total de \$7.245.835.809 COP, aproximadamente (Anexo P).

El costo de producción de biodiesel de aceite de salmón está alrededor de \$3.847/L y depende directamente del precio de obtención del aceite; este es un punto importante, porque el aceite de salmón es costoso (\$ 3.415.791/tonelada) en comparación con aceites vegetales (Mota, Costa y Barreto, 2019); este valor seguramente se verá reducido teniendo en cuenta que la empresa no requiere comprarlo. Tomando en consideración un aproximado de 99,5% de eficiencia, la cantidad de biodiesel que puede obtener la empresa al día es de 71,81L.

3.2.3.2 Extracción de aceite omega 3 de salmón. El aceite de salmón es apetecido a nivel mundial, ya que el cuerpo humano necesita ácidos grasos omega 3 para muchas funciones, desde la actividad muscular hasta el crecimiento celular. Las personas piensan cada día más en mantener una salud estable, por ello buscan este tipo de aceite para tratar enfermedades cardíacas, presión arterial alta y artritis reumatoide, entre otros (MayoClinic, 2020).

Esta alternativa pretende dar las pautas necesarias para que la empresa El Gran Langostino S.A.S pueda aprovechar la grasa y aceite de salmón que generan cada día en el proceso de acondicionamiento para la extracción de omega 3 como un valor agregado en su cadena productiva.

Para el proceso de obtención de omega 3 del aceite de salmón, se debe neutralizar el aceite con hidróxido de sodio como catalizador, dependiendo de la cantidad de AGL presentes (8%); la solución preparada en agua destilada con agitación continua se vierte al aceite para desencadenar una reacción de saponificación. Una vez generada la mezcla, se deja reposar por un tiempo no mayor a 30 minutos y se centrifuga a 6000rpm durante 45 minutos para eliminar los jabones formados. Terminado este tiempo se recolecta el aceite separado en un recipiente y se pesa; los residuos jabonosos se almacenan aparte y se etiquetan para su posterior desecho (Macías, 2015).

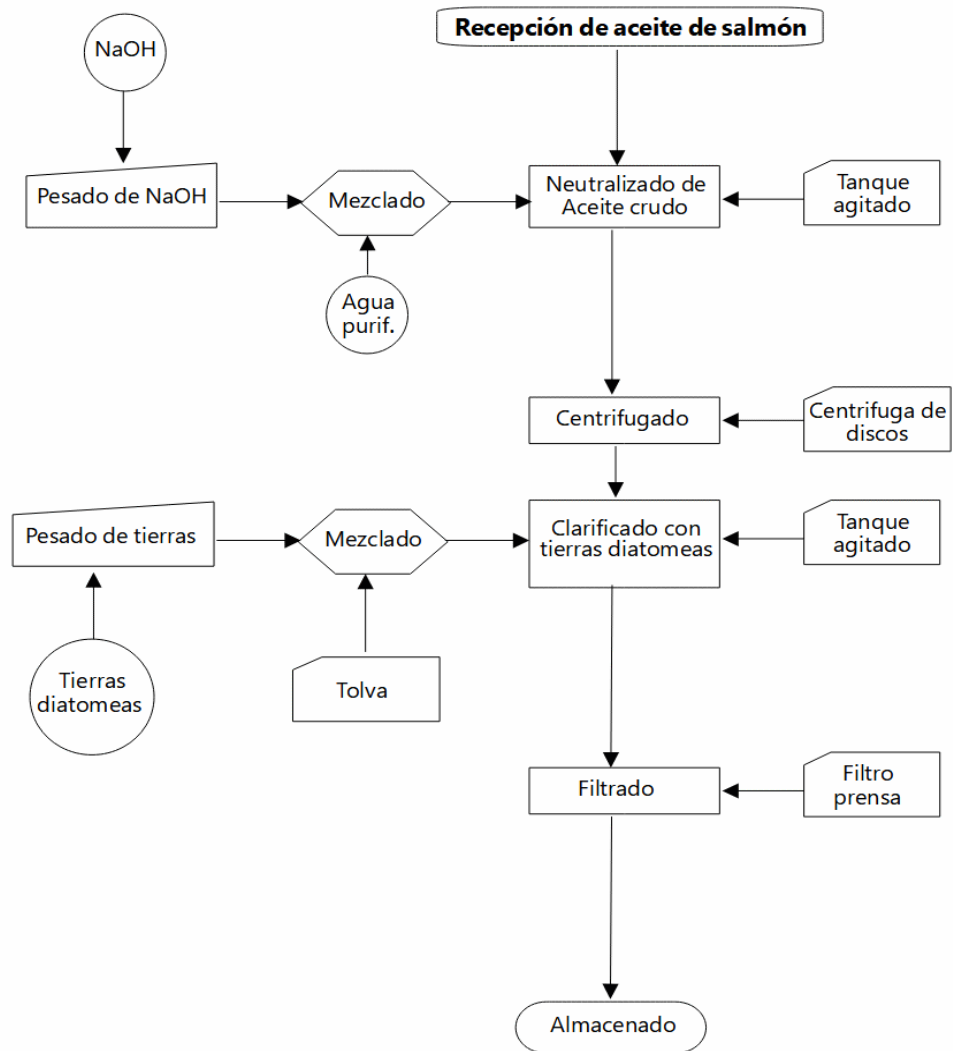
Para el clarificado, se pesa el aceite recuperado y se agrega a una mezcla homogénea de tierras diatomeas en proporción del 5% en peso; para que las tierras hagan efecto sobre el aceite, se dejan reposar entre 18 y 20 horas, pues un menor tiempo de contacto ocasionan niveles de peróxido elevados. Se centrifuga a 6000 rpm durante 45 minutos y luego dos ciclos más de 10min cada uno, para recuperar mayor cantidad de aceite. Al final se obtiene un aceite color amarillo cristalino, característico de los aceites de cocina (Figura 17).

Para asegurarse de que el aceite tiene las características deseadas se realizan pruebas de caracterización; por ejemplo, si el %AGL es alto, significa que no se neutralizó completamente el aceite.

El proceso en una planta industrial se realiza por lotes, debido a los tiempos de espera con las tierras diatomeas (18 - 20 horas), aunque es posible que con la agitación de la mezcla se logre reducir este tiempo. Para el proceso se utilizará la centrífuga de discos y para el clarificado con tierra diatomeas, un filtro prensa; se deberá lavar cada tanque y los demás equipos antes de iniciar un nuevo lote de producción, para evitar contaminación. Las tuberías y los tanques en los que se lleva a cabo el proceso deberán ser de acero inoxidable para que no afecten la calidad de los aceites (Macías, 2015).

Para una zona de producción a pequeña escala de omega 3, es importante considerar los costos de los equipos a implementar, los reactivos, mano de obra, instalaciones, mantenimiento, entre otros, que abordan un total aproximado de \$ 150'000.000 (Anexo Q).

Figura 17. Diagrama de flujo extracción de aceite de salmón omega 3



Fuente. Modificado de Macías, 2015.

Por tonelada de aceite crudo se pueden sacar a la venta 374 litros de aceite omega 3 para el consumo humano (Macías, 2015). En Colombia, el precio de venta está entre 100.000 y 150.000 los 320g (American, 2020); la empresa El Gran Langostino podría producir alrededor de 20 - 30kg al día, lo que se traduce en ventas aproximadas de 7 a 12 millones de pesos, lo cual lo hace rentable a largo plazo.

3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Una vez se han planteado las alternativas, se procede a la evaluación multicriterio con base en las pautas establecidas. El cuadro 11 presenta la calificación general adquirida en cada alternativa, considerando solo la ponderación de viabilidad (0, 1, 2, 3).

Cuadro 11. Evaluación multicriterio considerando solo la ponderación de viabilidad (0, 1, 2, 3)

Problemáticas	Alternativas	Aspectos								
		Técnico			Económico			Ambiental		
		O&M	RMO	RE	CCA	CO	CM	IAG	IA	IS
Elevado consumo recurso hídrico	Recirculación de agua	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	Cambio de boquillas	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A)	Instalación trampa grasa	2	1	3	3	2	3	3	3	3
	Aguas grises a pretratamiento	1	1	1	3	3	3	3	3	3
	Aguas grises a VFL	3	2	3	3	3	3	3	3	3
Desaprovechamiento de grasas y aceites	Generación biodiesel	1	0	0	0	0	0	1	2	2
	Extracción omega 3	2	1	1	1	1	2	2	2	2

En el cuadro 12 se expone el puntaje final, considerando los pesos establecidos para los criterios de los aspectos económico – ambiental y los presentados para la producción más limpia, aplicados a la suma total de cada alternativa (Total_{PML}).

Cuadro 12. Evaluación multicriterio con calificación final

Problemáticas	Alternativas	Aspectos									Total	Total ^{PML}
		Técnico			Económico			Ambiental				
		O&M	RMO	RE	CCA	CO	CM	IAG	IA	IS	Σ	Σ
Elevado consumo recurso hídrico	Recirculación de agua	2	2	3	9	6	9	9	6	6	52	52
	Cambio de boquillas	3	3	3	9	6	9	9	6	6	54	54
Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A)	Instalación trampa grasa	2	1	3	9	6	6	9	6	6	48	28,8
	Aguas grises a pretratamiento	1	1	1	9	6	6	9	6	6	45	27
	Aguas grises a VFL	3	2	3	9	6	9	9	6	6	53	31,8
Desaprovechamiento de grasas y aceites	Generación biodiesel	1	0	0	0	0	0	3	4	4	12	9,6
	Extracción omega 3	2	1	1	3	2	6	6	4	4	29	23,2

3.3.1 Elevado consumo del recurso hídrico. A continuación, se justifican los resultados obtenidos en la calificación multicriterio, para las dos alternativas propuestas para abordar esta problemática.

Recirculación del agua del lavado por riego: esta alternativa tiene como objetivo principal recircular el agua generada en el proceso de descongelamiento de la materia prima; para ello se debe tener en cuenta la afirmación realizada por Alkaya and Demirer (2016), donde

el agua de descongelación se puede reciclar y reutilizar mediante un sistema de recirculación, sin comprometer la calidad del producto en la industria de procesamiento de productos del mar, debido a que representa bajos niveles de parámetros orgánicos y de sólidos totales. Sin embargo, al ser un producto para el consumo humano, se debe incurrir en la inversión de un sistema compuesto de equipos y materiales con las mejores condiciones de proceso.

Los costos de adquisición y construcción de esta propuesta son acordes a las condiciones de la empresa (\$8'851.244). Se debe considerar que los costos de operación están reflejados únicamente en el bajo consumo energético, en relación con la cantidad de tiempo que estos operarán al día, siendo el valor más significativo el consumo generado por la resistencia tubular empleada en el sistema. Por otro lado, el mantenimiento se realizará en periodos de tiempo trimestrales y solo involucra las bombas que se usan para transportar el fluido, lo que representa un gasto poco frecuente para la empresa.

Para la implementación de la alternativa se cuenta con un espacio y el personal requerido para la operación. Los impactos ambientales no son significativos, porque la alternativa permite una reducción estimada de consumo del agua en un 91,67% y no repercute negativamente en el recurso aire y suelo.

Cambio de boquillas en el sistema de aspersión para descongelación: la empresa el Gran Langostino S.A.S posee un sistema de riego automatizado que ayuda al proceso de descongelación y ha sido fundamental en la reducción del consumo de agua en los últimos meses; esta estrategia pretende aportar a ello con el cambio de boquillas de menor diámetro de aspersión en las flautas ubicadas en los anaqueles, de manera que se logra un riego por pulverización que abarca un área de contacto mayor con la materia prima, lo que genera un incremento en la eficiencia de descongelación. La adquisición de 292 boquillas de 0,5mm de diámetro es favorable (\$2'420.680) principalmente por sus propiedades funcionales, ya que no se obstruyen fácilmente, tienen resistencia al desgaste y regulan eficazmente la cantidad de humidificación. El costo de operación puede aumentar debido a requerimiento de mayores presiones aportadas por la bomba, pero este valor no es significativo.

Las ventajas de esta alternativa están reflejadas en la mayoría de criterios calificados; por ejemplo, el requerimiento de mano de obra es bajo porque las boquillas son de ajuste simple a las tuberías de PVC y un operario lo puede realizar fácilmente, no se requiere de área extra y la operación y mantenimiento se maneja igual que en el sistema actual. Por último, el impacto ambiental es favorable, se reduce el consumo de agua alrededor de 1,632m³ y no existe un impacto negativo al recurso aire y suelo.

La calificación obtenida para las alternativas descritas anteriormente fue de 52 y 54 puntos respectivamente, por lo cual se concluyó que la mejor de ellas para solucionar el problema de consumo del recurso hídrico, es la implementación del cambio de boquillas en el sistema de riego para descongelación. Sin embargo, dado que los puntajes obtenidos son cercanos,

se puede considerar la posibilidad de implementar ambas alternativas ya que se optimiza el uso y el ahorro del recurso agua.

3.3.2 Pérdida y dilución de componentes oleosos (G&A) generados en el proceso de acondicionamiento de salmón. Las alternativas que se van a discutir a continuación tienen un propósito común y están relacionadas entre sí, debido a que sufren diversos cambios estructurales de tipo hidráulico, dirigidas a separar las aguas grises de las de proceso y la materia orgánica de interés (grasa y aceite) para su posterior aprovechamiento.

Instalación de una trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises: la idea central de esta alternativa es el acondicionamiento de una nueva trampa grasa, que se ubicará antes de la cámara donde se mezclan las aguas grises con las de proceso; para ello se debe realizar una inversión poco significativa, teniendo en cuenta los costos de materiales y la mano de obra calificada que garantice la instalación las condiciones apropiadas. Se debe considerar que la adaptación de esta alternativa requiere de un área de 5,25m² dentro de las instalaciones, espacio con el que se cuenta; además, las trampas grasas deben limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores, lo que puede representar una incomodidad en las labores que desempeña el personal de la planta. Por otro lado, se presentará un cambio en la configuración del pretratamiento de las aguas residuales, ya que habrá un espacio vacío en el que actualmente se encuentra ubicada la trampa grasa, que funcionará como un sedimentador extra.

El costo mensual de mantenimiento será el mismo para la empresa, ya que la trampa grasa actual disminuirá notablemente la eficiencia actuando casi como un sedimentador; el costo operativo es bajo, dado los tiempos cortos de funcionamiento de los equipos. Finalmente, el impacto ambiental se reducirá, ya que no se presentará la mezcla de las aguas grises con las de proceso, lo que favorece a la PTAR en términos de eficiencia de operación.

Desvío de las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales: esta alternativa consiste en un sistema de pretratamiento dirigido a las aguas grises, conformado por un desarenador, una trampa grasa y un humedal subsuperficial de flujo horizontal. Para ello es necesaria una inversión de capital que incluye los costos de adquisición del sistema, la mano de obra requerida para su operación y el mantenimiento, debido a que se debe llevar un control de limpieza en cada unidad para su correcto funcionamiento (Díaz, 2014). El área necesaria para implementar estas unidades de pretratamiento es considerable y la empresa no cuenta con él. En cuanto a costos de operación y mantenimiento, se tienen cifras moderadas por las dimensiones y frecuencia con las que se hará este procedimiento.

Por último, el impacto del recurso aire, suelo y agua sería menor, porque se implementa un pretratamiento extra de aguas residuales en la empresa, separando las aguas grises pretratadas que irán conectadas a la tubería de salida del sistema ARD, lo cual aporta valores bajos de contaminación al sitio de disposición final, se separa la grasa de manera adecuada y el agua residual de proceso llega con mejores condiciones a la PTAR.

Desvío de las aguas grises al tanque ecualizador (Reactor VFL): el propósito de esta alternativa es vincular directamente el flujo de las aguas grises al tanque ecualizador y de esta manera evitar el contacto de estas con el agua de proceso, lo que implica un cambio netamente hidráulico, conservando las mismas unidades de tratamiento actuales, por lo tanto, los costos de operación y mantenimiento no son significativos en esta propuesta.

El reactor VFL tiene una distribución interna que permite que, una vez lleguen aguas residuales, se organicen internamente en la zona anoxia, con lo que se obtiene agua tratada biológicamente de muy alta calidad con bajos costos de mantenimiento (BIOTAR, 2016); las aguas de proceso pretratadas en la trampa grasa llegan con mejores condiciones al mismo reactor, porque no existe una mezcla previa con las aguas grises, lo que permite una mejor eficiencia en este punto. Finalmente, los impactos ambientales serían bajos, dado que estas aguas seguirán recibiendo el tratamiento correspondiente.

El puntaje obtenido para las alternativas expuestas anteriormente fue de 28.8, 27 y 31.8 respectivamente, siendo la mejor la implementación del desvío de las aguas grises al reactor VFL; las otras dos alternativas, a pesar de reducir los impactos ambientales, poseen una estructura más compleja que consta de las modificaciones estructurales, las inversiones y las condiciones que debían cumplir para poder llevarlas a cabo. La alternativa seleccionada implica una modificación mínima, conservando el objetivo de extraer la grasa de manera adecuada.

3.3.3 Desaprovechamiento de grasas y aceites. La empresa El Gran Langostino S.A.S no aprovecha la grasa y el aceite proveniente de las aguas oleosas generadas en el proceso de acondicionamiento de salmón. Este subproducto posee una composición potencial para su transformación en productos de alto valor agregado (El-Mashad, Zhang and Avena, 2008). Las alternativas presentadas fueron:

Generación de biodiesel a partir de aceite y grasa de salmón: para la implementación de la propuesta de generación de biodiesel, es necesaria un área amplia (alrededor de 1ha) (Hervé, 2007), donde se pueda estructurar una planta acondicionada con equipos de alto costo, tales como tanques de agitación, decantadores y torres de destilación, entre otros; también se requiere tratar adecuadamente sustancias químicas (metanol, glicerol, ácido cítrico) para evitar un daño significativo al medio ambiente, lo que aumenta considerablemente los costos de mantenimiento de la planta. El requerimiento de mano de obra no solo es alto para la construcción, sino que es necesario mantener un recurso humano idóneo y capacitado, mayoritariamente en el área química y agroindustrial, para operar la planta. La construcción de este tipo de instalaciones puede llegar a costar alrededor de siete mil millones de pesos colombianos, lo que contempla un trabajo complejo por parte de la empresa para poder hacer rentable esta propuesta en el largo plazo.

La fabricación de biodiesel requiere de poca energía, esencialmente utilizada en los procesos de extracción y generación de vapor, pero es superior al del petróleo Diesel, si se basa en las cifras vistas los últimos años. Por ejemplo, la glicerina presente en el compuesto

final se debe purificar, con costo adicional, mediante un arrastre con vapor; la vida útil del biodiesel es inferior a seis meses por su escasa estabilidad oxidativa, lo que ocasiona que no se puede almacenar durante un tiempo largo y se debe vender rápidamente después de su fabricación (Hervé, 2007).

Las aguas en el proceso se recuperan, pero constituyen un costo para la planta. El lavado de éster produce alrededor de un litro de agua por litro de éster a lavar, además tiene un alto nivel de DBO proveniente del aceite residual, del éster y del glicerol. El sistema de intercambio de iones para el glicerol puede producir grandes cantidades de agua con sales por el proceso de regeneración. El proceso adicional de tratamiento del agua tiene que cumplir con los requerimientos de la planta municipal de tratamiento de aguas, en muchos casos, un tratamiento interno y luego un reciclado del agua permiten ahorrar costos y facilitar el proceso global (Hervé, 2007). Lo anterior expone un problema ambiental en el consumo de agua, teniendo en cuenta que el uso de este recurso es muy elevado y no siempre hay posibilidad de un reciclaje o recirculación. Por otro lado, la fabricación de biodiesel no implica emisiones significativas de contaminantes al aire y suelo, pero si no se realiza un mantenimiento adecuado a los procesos, pueden llegar a afectar estos recursos significativamente (Díaz, 2012).

Por último, la producción de este biocombustible genera muchos beneficios al momento de ser usado como producto final, por los beneficios ambientales con bajas emisiones de gases tóxicos y de invernadero (El-Mashad, Zhang and Avena, 2008); sin embargo, las empresas que lo elaboran tienen una responsabilidad grande para reducir la contaminación y depende de ellas evitar un impacto ambiental opuesto al que se espera al momento de elaborar este biocombustible.

Extracción de aceite omega 3 de salmón: para la ejecución de esta alternativa es necesaria la construcción o adecuación de un espacio con un área de alrededor de 60m² (Macías, 2015), en la cual se pueda disponer de los equipos e insumos necesarios para el funcionamiento, considerando que es posible que la empresa pueda generar esta adaptación con la distribución actual. Sin embargo, es necesario contar con personal calificado para la instalación y la operación y mantenimiento de la zona de producción de omega 3. Aunque los costos derivados de estas actividades son considerables, es viable a corto plazo considerando el margen favorable de ganancia (Macías, 2015).

El aislamiento de compuestos bioactivos de alto valor a partir de subproductos, con la excepción de los ácidos grasos omega-3 de cadena larga de ciertos materiales, no es muy realista en la mayoría de los casos. Las razones importantes para esto son la falta de mercados existentes, cantidades demasiado pequeñas de subproductos de alta calidad disponibles de manera regular, los altos costos de aislar componentes específicos que a menudo se presentan en pequeñas cantidades y los desafíos relacionados con proporcionar la documentación requerida para un producto nutracéutico potencial. Además, si en un subproducto se identifica una molécula con propiedades comercialmente interesantes, en muchos casos se puede realizar una producción más económica y estable

mediante síntesis química o mediante microorganismos modificados genéticamente (Olsen, Tope and Karunasagar, 2014).

Esta alternativa tiene impactos ambientales moderados, porque las aguas generadas en este proceso pueden ser tratadas por la PTAR de manera adecuada; además, el clarificado con tierras diatomeas es un removedor de impurezas natural que logra absorber líquidos industriales pesados como aceites o hidrocarburos (Husqvarna, 2020).

La puntuación obtenida para las alternativas presentadas fue de 9.6 y 23.2 respectivamente, siendo la de mayor viabilidad de implementación la extracción de omega 3; nótese la diferencia significativa en los distintos procesos de aprovechamiento, principalmente por la ventaja de la segunda alternativa en la relación a beneficios económicos a corto plazo.

4. CONCLUSIONES

Las estrategias para generar un mejor uso y ahorro del recurso hídrico que ha implementado la empresa el Gran Langostino S.A.S, han permitido reducir el consumo de agua en 2.2L/kg de producto terminado.

Los residuos generados en el proceso de acondicionamiento de salmón, tales como cabeza, espinas, hueso, recortes y pulpa, son aprovechables ya sea mediante la comercialización o la elaboración de diferentes productos de valor agregado.

El diagnóstico realizado en las instalaciones permitió la identificación de problemáticas y oportunidades de mejora, como el elevado consumo hídrico en el proceso de descongelación de la materia prima, la pérdida y dilución de componentes oleosos en las aguas de proceso y el desaprovechamiento de estos.

La cámara, punto de encuentro de las aguas grises con las de proceso, genera una dilución de la materia orgánica, lo que altera el tratamiento posterior de las aguas residuales industriales.

La herramienta de evaluación multicriterio permite categorizar las alternativas y criterios que las conforman por distintos niveles de importancia designando una ponderación para los mismos, lo que posibilita un análisis y evaluación más objetiva de cada una de las alternativas, haciendo más sencilla su calificación y selección.

Las alternativas seleccionadas que mejor se ajustan a las condiciones actuales de la empresa mantienen la debida relación costo-beneficio y están regidas bajo los lineamientos de la producción más limpia, abordan las problemáticas identificadas y siguen el objetivo general de este estudio de caso. Estas son: el cambio de boquillas en el sistema de aspersión para descongelación de materia prima, la implantación de un sistema de tuberías para desviar las aguas grises al tanque equalizador y la extracción de omega 3 de aceite de salmón.

5. RECOMENDACIONES

CORTO PLAZO (1 mes)

Disposición y tiempo de inmersión de salmón en canecas: Se sugiere que, al momento de procesar el salmón, para la descongelación no se sumerjan varias unidades a la vez en la caneca con agua por un periodo de tiempo prolongado, ya que se tienden a producir defectos de calidad, tales como la pérdida de componentes por goteo, reacciones enzimáticas, oxidación de lípidos y proteínas y pérdida de homogeneidad (Li *et al.*, 2020).

MEDIANO PLAZO (3 meses)

Cambio de rejilla de retención de sólidos: se recomienda el cambio de la rejilla de retención de sólidos actual por una nueva con un tamaño de malla mayor y el diseño de una caja que cuente con una rejilla de posición horizontal de 45 a 60 grados, con un tamaño de malla menor, que irá ubicada previa a la anterior; de esta forma se garantiza la retención de sólidos gruesos y más pequeños. El diseño de la caja permitirá que se extraigan los residuos que queden suspendidos y pueda limpiarse en tiempos de proceso, evitando su flujo a la cámara donde se mezclan las aguas grises con las de proceso; la primera rejilla debe ir fija y no se debe remover, haciendo la limpieza in situ.

LARGO PLAZO (6 meses)

Adaptación y mejoras a la precámara: conforme a lo evidenciado en el área donde se encuentra ubicada la precámara, se hace pertinente expandir su capacidad con el objetivo de mejorar la distribución de la materia prima, lo que permitiría un mejor proceso de descongelamiento previo; además, se podría acondicionar de tal manera que quede hermetizada, aplicando un sistema de ventilación UAF (Unidad de Aire Filtrado), que consta de un extractor de flujo de aire del medio, que comunica a la precámara mediante un canal de tuberías, con el fin de obtener la temperatura óptima del pescado en un tiempo mucho menor (18h) y continuar con el riego. Por otro lado, un sistema de atmósfera controlada para ingresar el pescado directamente una vez llega a la planta, no utilizaría el recurso agua, ya que requiere un medidor de temperatura que controlaría el punto en el que debe estar al siguiente día para el proceso. Se debe evaluar el costo y la influencia sobre la calidad del producto; sin embargo, contribuiría a mejorar la eficiencia de producción, considerando el nivel de producción que la empresa está manejando actualmente.

Tiempo de funcionamiento de la PTAR: evaluar la posibilidad de incrementar el tiempo de operación de la PTAR, lo que representaría la implementación de otro turno para esta actividad, dado que la planta está operando en un rango de 16 h actualmente y la generación de aguas residuales es de 24 h; de esta manera, se incrementaría la eficiencia de tratamiento.

Aumento de la capacidad del tanque ecualizador (Reactor VFL): Considerando el nivel de producción que la empresa está teniendo actualmente y la problemática presentada en el reactor debido a que se generan reboses y se están filtrando aguas residuales sin finalizar su proceso de tratamiento directamente al sitio de vertimiento, una reestructuración o ampliación del tanque sería conveniente para obtener una mayor capacidad de contención, aumentando la eficiencia en el tratamiento de estas aguas.

Aumento de la capacidad del sistema ARD: debido a que actualmente el sistema de tratamiento de aguas domésticas se encuentra operando al límite de su capacidad (13m^3), se sugiere evaluar la posibilidad de extender el mismo para una mejor operación y funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALKAYA, E. and DEMIRER, G. N. Minimizing and adding value to seafood processing wastes [en línea]. En: Food and Bioproducts Processing, 2016, vol. 100, p. 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.003>

AMERICAN, G. Alaska Omega 3 Fish Oil Wild 230 Cap Aceite Salmon Importado [En línea]. 2020. [citado el 11 de marzo de 2021]. Disponible en Internet: <https://cutt.ly/RvWvOEG>

BENAVIDES RUIZ, X., CAPOTE CERON, C. J., ORDOÑEZ MUÑOZ, L. M., y SANCHEZ MUÑOZ, N. Diagnóstico de buenas prácticas de manufactura aplicado a la empresa El Gran Langostino S.A.S. Informe para la materia Gestión de la calidad. Universidad del Cauca. 2018. p. 8-11.

BIOTAR. PTAR BT. Plantas de tratamiento de agua residual [en línea]. Pereira -Colombia: 2016 [citado 10, marzo, 2021]. Disponible en Internet en: <http://biotarsk.com/>

CHOWDHURY, P., VIRARAGHAVAN, T. y SRINIVASAN, A. Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review [En línea]. En: Bioresource Technology. 2010, vol. 101(2), p. 439–449. [citado el 15 de febrero de 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.065>

CLEAN TEQ WATER. Tratamiento de Aguas Residuales en la Industria pesquera [En línea]. Australia. 2020. [citado el 18 de enero de 2021]. Disponible en internet: <https://www.cleanteqwater.com/es/mercados/industria-pesquera/>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución No. 0631. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá: El Ministerio, 2015. 7 p.

_____. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000 (noviembre del 2000). Sistemas de Potabilización. Bogotá: El Ministerio, 2000. Sección II, Título C. p. 25-34.

CRISTÓVÃO, R. O., GONÇALVES, C., BOTELHO, C. M., MARTINS, R. J. E., LOUREIRO, J. M. y BOAVENTURA, R. A. R. Fish canning wastewater treatment by activated sludge: Application of factorial design optimization. Biological treatment by activated sludge of fish canning wastewater. En: Water Resources and Industry, 2015, vol. 10, p. 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.03.001>

DIAZ GONZALEZ, Y. C. (2012). Impacto ambiental generado a partir de biodiesel de aceite de palma. Título a especialista en Gerencia Ambiental. Bogotá D.C. Universidad Libre. 2012. p. 34-40.

DÍAZ, C.A. Tratamiento de agua residual a través de humedales [En línea]. En: Congreso Internacional de Ingeniería Civil (1: Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, 2014, pág. 3-6). Colombia. [Citado 17, marzo, 2021]. Disponible en internet en: <http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos>

EL GRAN LANGOSTINO. Datos consumo del agua El Gran Langostino S.A.S. Yumbo – Valle del Cauca. 2021a. p. 2-3.

_____. Productos más populares El Gran Langostino. 2021b. <https://tienda.granlangostino.com/>

EL-MASHAD, H. M., ZHANG, R. and AVENA-BUSTILLOS, R. J. A two-step process for biodiesel production from salmon oil [En línea]. En: Biosystems Engineering, 2008, vol. 99(2), p. 220–227. [citado 5, marzo, 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.029>

GOOGLE MAPS. El Gran Langostino [en línea]. Google®: 2021 [citado 5, marzo, 2021]. Disponible en internet en: <https://www.google.com/maps/search/el+gran+langostino/@3.471199,-76.5568902,13z/data=!3m1!4b1?hl=es>

GRAJALES QUINTERO, A., SERRANO MOYA, E. y HAHN VON-H, C. Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. En: Luna azul, 2013, vol. 35, p. 285–306.

HERVÉ LAMOUREUX, J. Diseño conceptual de una planta de biodiesel. Trabajo de grado Ingeniero civil mecánico. Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de ingeniería mecánica. Santiago: 2007. p. 22-111.

HUSQVARNA. La tierra de diatomeas: características, tipos y aplicaciones [en línea]. España: 2020 [citado 15, marzo, 2021]. Disponible en internet en: <https://tiendahusqvarna.com/blog/tierra-de-diatomeas/>

JAMIESON, B. L., GAGNON, G. A. y GONÇALVES, A. A. Physicochemical characterization of Atlantic Canadian seafood processing plant effluent [En línea]. En: Marine Pollution Bulletin, 2017, vol. 116(1–2), p. 137–142. [citado el 17 de febrero de 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.071>

KURNIASIH, S. D., SOESILO, T. E. B. y SOEMANTOJO, R. W. Water resources management at the fish processing industry using waste minimization approach. En: E3S Web of Conferences, 2018, vol. 74, p. 1–2. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187406004>

LI, D., ZHAO, H., MUHAMMAD, A. I., SONG, L., GUO, M. y LIU, D. The comparison of ultrasound-assisted thawing, air thawing and water immersion thawing on the quality of slow/fast freezing bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets [En línea]. En: Food Chemistry, 2020, vol. 320, p. 1-2. [citado el 16 de marzo de 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126614>

LIU, Y., RAMAKRISHNAN, V. V. and DAVE, D. Enzymatic hydrolysis of farmed Atlantic salmon by-products: Investigation of operational parameters on extracted oil yield and quality [En línea]. En: Process Biochemistry, 2021, vol. 100, p. 10–19. [citado el 28 de febrero de 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.019>

MACIAS FUENTES, H. (2015). Subproductos del Atún Aleta amarilla a nivel piloto-industrial. Tesis Ingeniería Bioquímica. Instituto tecnológico de Colima Villa de Álvarez, Colima – México: 2015. 11 p.

MANRIQUE, D. G. (2020). Caracterización de grasas y aceites [en línea]. Apuntes de cátedra asignatura de Análisis y control de los alimentos. Universidad Nacional del centro de la provincia de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Buenos Aires – Argentina. 2020, pág. 1-18 [citado 17, marzo, 2021]. Disponible en internet: <https://cutt.ly/dxhk586>

MARONEZE, M. M., ZEPKA, L. Q., VIEIRA, J. G., QUEIROZ, M. I., y JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. En: Revista Ambiente e Água, 2014, vol. 9, no. 3, pág. 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

MAYOCLINIC. Aceite de pescado [En línea]. Estados Unidos. 2020. [citado el 7 de marzo de 2021]. Disponible en internet: <https://www.mayoclinic.org/es-es/drugs-supplements-fish-oil/art-20364810>

MONTEIRO, A., PAQUINCHA, D., MARTINS, F., QUEIRÓS, R. P., SARAIVA, J. A., ŠVARC-GAJIĆ, J., NASTIĆ, N., DELERUE-MATOS, C. and CARVALHO, A. P. Liquid by-products from fish canning industry as sustainable sources of ω 3 lipids. En: Journal of Environmental Management, 2018, vol. 219, p. 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.102>

MOTA, F. A. S., COSTA FILHO, J. T. and BARRETO, G. A. The Nile tilapia viscera oil extraction for biodiesel production in Brazil: An economic analysis. En: Renewable and

Sustainable Energy Reviews, 2019, vol. 108, pág. 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.035>

OCAMPO, D. Jerarquización de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. En: Éxito Empresarial, 2013, vol. 230, p. 1–3.

OLSEN, R. L., TOPPE, J. and KARUNASAGAR, I. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. En: Trends in Food Science and Technology, 2014, vol. 36, no. 2, pág. 144–151.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.007>

PROYECTO CON INGENIERÍA S.A.S. Memorias de cálculo sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas - STARnD, para la empresa El Gran Langostino S.A.S. Yumbo - Valle del Cauca. 2019. p. 1-16.

RIVERA QUINAYÁS, A. y PORTILLO GARCÍA, J. Caracterización de agua residual doméstica – ARD y agua residual no doméstica – ARnD. Yumbo – Valle del Cauca. El Gran Langostino S.A.S. 2020. p. 1-46.

SERRANO, M., MARCHETTI, J.-M. y MERCEDES MARTÍNEZ, J. A. Biodiesel production from waste salmon oil: kinetic modeling, properties of methyl esters, and economic feasibility of a low-capacity plant. En: Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2015, vol. 6, no. 3, pág. 516–528. <https://doi.org/10.1002/bbb.1561>

THRANE, M., NIELSEN, E. H. y CHRISTENSEN, P. Cleaner production in Danish fish processing - experiences, status and possible future strategies [En línea]. En: Journal of Cleaner Production, 2009, vol. 17(3), p. 380–390. [citado el 22 de febrero de 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.006>

TORRES, C. Extracción de aceite de pescado derivado de subproductos del beneficio de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), a través de la técnica de fluidos supercríticos. Tesis Zootecnia. Corporación Universitaria Lasallista. Caldas-Antioquia: 2013. p.13-20.

UTTAMANGKABOVORN, M., PRASERTSAN, P. and KITTIKUN, A. H. Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand [En línea]. En: Journal of Cleaner Production, 2005, vol. 13(6), p. 547–555. [citado el 3 de marzo de 2021]. Disponible en internet: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.12.003>

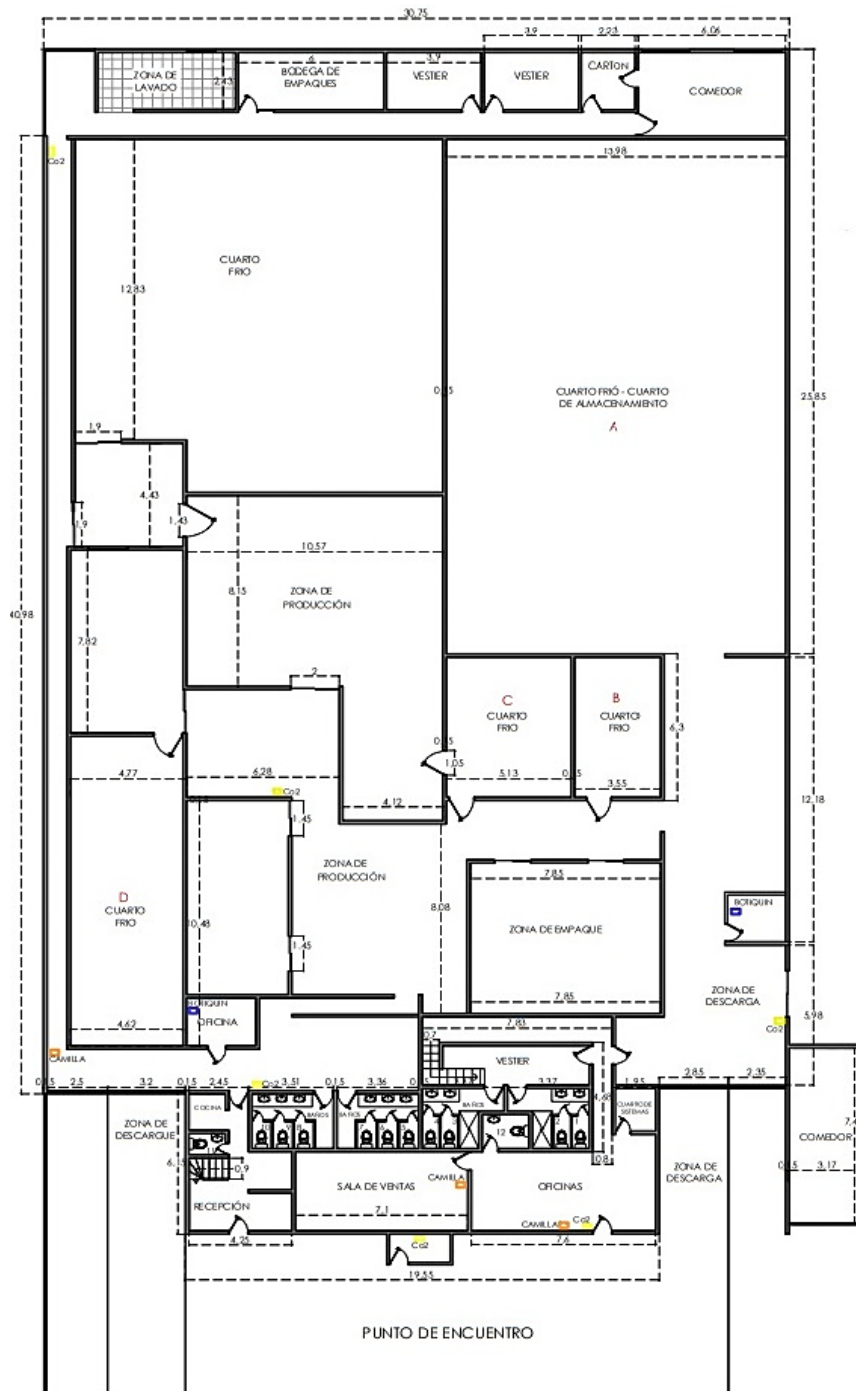
ANEXOS

ANEXO A. Localización geográfica satelital de la empresa El Gran Langostino S.A.S.




Fuente: Google Maps, 2021.

ANEXO B. Plano empresa El Gran Langostino S.A.S



Fuente: Benavides *et al.*, 2018.

ANEXO C. Consumo promedio de agua en la empresa al mes

		EMPRESA EL GRAN LANGOSTINO S.A.S		
CONSUMO DEL AGUA				
Mes	USO EFICIENTE			RIEGO ANAQUELES
	L/día	Kg filete/día	L/Kg filete día	Consumo (m ³)
Octubre	37653,85	7979,54	4,72	5,23
Noviembre	49304,35	7974,68	4,93	5,01
Diciembre	34333,33	7352,98	4,67	4,19
Promedio	37097,18	7779,07	4,77	4,81

Fuente. El Gran Langostino S.A.S, 2020.

ANEXO D. Precámara para descongelación



Fuente. El Gran Langostino S.A.S, 2020.

ANEXO E. Niveles de anaqueles en la zona de producción



Fuente. El Gran Langostino S.A.S, 2020.

ANEXO F. Canecas utilizadas para la etapa de fileteado y descabezado



Fuente. El Gran Langostino S.A.S, 2020.

ANEXO G. Ventas de subproductos de la empresa al mes

		EMPRESA EL GRAN LANGOSTINO S.A.S		
VENTAS DEL APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS				
Subproducto	Producto	Unidades vendidas/mes	Precio unidad (COP)	Venta mensual (COP)
Pulpa de recortes	Hamburguesa	4464	\$5.300	\$23'659.200
	Nuggets	4717		\$25'000.100
	Chuleta	3772		\$19'991.600
	Croquetas	2800		\$14'840.000
	Bocados	3256		\$17'256.800
Recortes y huesos		960 (bultos)	\$4.000 (bulto)	\$3'840.000
TOTAL		-	-	\$80'928.500
Producto principal		Unidades vendidas/mes	Precio unidad (COP)	Venta mensual (COP)
Filete de salmón (500g)		4620	\$20700	95'634.000

Fuente. El Gran Langostino S.A.S, 2020.

ANEXO H. Cantidad de grasa presente en las aguas residuales generadas

$$\begin{aligned} X &= \text{Concetración inicial de grasa} \\ 85\% &= \text{Eficiencia de remoción de la trampa grasa} \\ 246,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} &= \text{Concetración final de grasa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X - (X * 85\%) \\ X - 0,85X &= 246,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\ 0,15X &= 246,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\ 0,15X &= 246,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\ X &= \frac{246,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,15} \\ X &= 1642 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \end{aligned}$$

$$\text{Grasa removida por la trampa grasa} = 1642 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 246,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1395,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

ANEXO I. Costos directos e indirectos del sistema de recirculación de agua

COSTOS DIRECTOS			
Equipo/material	Especificaciones	Unidades/medida	Precio (COP)
Recipiente en acero inoxidable	1.5 m de ancho x 0.3 m de alto x 0.8 m de profundidad	8	\$ 5.600.000
Tanque de acero inoxidable	200 L	1	\$ 1.600.000
Bomba centrifuga	1hp (0.75 kW)	1	\$ 873.400
Filtro en "y"	$\frac{3}{4}$ de pulgada	1	\$ 80.700
Tubería en PVC	$\frac{3}{4}$ de pulgada	13.65 m	\$ 65.000
Controlador pid de temperatura	Rex-c100, relay con termocupla. (0.88kW)	1	\$ 95.000
Bomba centrifuga	$\frac{1}{4}$ hp (0.1864 kW)	1	\$ 465.444
Válvula check PVC	$\frac{3}{4}$ pulgada	2	\$ 18.000
Resistencia tubular sumergible	1 kW	1	\$53.700
Total			\$ 8'851.244
COSTOS INDIRECTOS			
Aspecto	Precio (COP)		
Mano de obra	\$820.000		
Mantenimiento bombas (cada 3 meses)	\$450.000		
Costos energéticos (mensuales)	\$56.910		
Total	\$1'313.821		

ANEXO J. Operaciones costos de sistema de recirculación de agua

$$\begin{aligned} \text{Costo de operación}_{(bomba 1)} &: 0,75kW * \frac{379,45 \$COP}{kW} (\text{costo energetico}) * \\ &39,2 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} (\text{funcionamiento de la bomba 1}) \\ &= \mathbf{\$11.156 COP/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de operación}_{(bomba 2)} &: 0,1864kW * \frac{379,45 \$COP}{kW} (\text{costo energetico}) * \\ &11,2 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} (\text{funcionamiento de la bomba 2}) \\ &= \mathbf{\$792,17 COP/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de operación}_{(resistencia tubular)} &: 1kW * \frac{379,45 \$COP}{kW} (\text{costo energetico}) * \\ &84 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} (\text{funcionamiento de la resistencia}) \\ &= \mathbf{\$31.873 COP/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de operación}_{(controlador de temperatura)} &: 0,88kW * \frac{379,45 \$COP}{kW} (\text{costo energetico}) * \\ &39,2 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} (\text{funcionamiento del controlador}) \\ &= \mathbf{\$13.089 COP/mes} \end{aligned}$$

**ANEXO K. Costos indirectos de la implementación de boquillas para el sistema de
aspersión por pulverización**

COSTOS INDIRECTOS	
Aspectos	Precio (COP)
Costos de instalación	\$2'420.680
Costos de operación	\$141.519
Costo de consumo de agua	\$208.228
Total	\$2'770.427

Fuente. Elaboración propia

ANEXO L. Operaciones cambio de boquillas en sistema de aspersión para descongelación

$$\text{Costos de instalación: } 292_{\text{Boquillas}} * 8290 \frac{\$COP}{\text{Boquilla}} = \mathbf{\$2'420.680 COP}$$

$$\begin{aligned} \text{Costos de operación: } & 1,11kW * \frac{379,45 \$COP}{kW} (\text{costo energetico}) * \\ & 12 \frac{\text{horas}}{\text{día}} (\text{funcionamiento del riego}) * 28 \text{ días} \\ & = \mathbf{\$141.519 COP/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de consumo de agua (alternativa): } & 3,168 \frac{m^3}{\text{día}} * 2347,45 \frac{\$COP}{m^3} (\text{costo de agua}) \\ & * 28 \text{ días} = \mathbf{\$208.228 COP/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de consumo de agua (actual): } & 4,8 \frac{m^3}{\text{día}} * 2347,45 \frac{\$COP}{m^3} (\text{costo de agua}) \\ & * 28 \text{ días} = \mathbf{\$315.497 COP/mes} \end{aligned}$$

ANEXO M. Costos para la instalación de una trampa grasa previa al punto de encuentro con las aguas grises

COSTOS DIRECTOS			
Equipo/material	Especificaciones	Unidades/medida	Precio (COP)
Trampa grasa	largo x ancho x alto (3,50x1,50x1,50m) Capacidad: 5m ³	1	\$5'330.000
Bomba de achique	1Hp (0,75W)	2	\$449.000
Tanque	Poliéster reforzado con fibra de vidrio - 200L	1	\$340.108
Censor de nivel	1,2W	2	\$63.800
Total			\$6'182.908
COSTOS INDIRECTOS			
Aspecto		Precio (COP)	
Mano de obra		1'500.000	
Mantenimiento bombas (cada 3 meses)		\$300.000	
Mantenimiento trampa grasa (purga de lodos)		\$850.000	

ANEXO N. Costos para desviar para desviar las aguas grises a un sistema de pretratamiento de aguas residuales

COSTOS DIRECTOS			
Equipo/material	Especificaciones	Unidades/medida	Precio (COP)
Tubo PVC	6" \$33.000COP x m	31m (longitud)	\$1'023.000
Bomba de achique	1Hp (0,75W)	2	\$449.000
Tanque	Poliéster reforzado con fibra de vidrio - 200L	1	\$340.108
Censor de nivel	1,2W	2	\$63.800
Desarenador	(2 * 2,5 * 1) m profundidad x largo x ancho	1	\$2'800.000
Trampa grasa	Relación ancha/longitud de 1:4m	1	\$2'430.000
Humedal flujo subsuperficial horizontal	11,6m ²	1	\$2'471.636
Total			\$9'577.544
COSTOS INDIRECTOS			
Aspecto		Precio (COP)	
Mano de obra		\$2'689.718	
Mantenimiento bombas (cada 3 meses)		\$300.000	
Costo mantenimiento (mes)		1'000.000	

Fuente. Elaboración propia

ANEXO O. Costos para desviar las aguas grises al tanque equalizador (Reactor VFL)

COSTOS DIRECTOS			
Equipo/material	Especificaciones	Unidades/medida	Precio (COP)
Tubo PVC	6" \$33.000COP x m	37m (longitud)	\$1'221.000
Bomba de achique	1Hp (0,75W)	2	\$449.000
Tanque	Poliéster reforzado con fibra de vidrio - 200L	1	\$340.108
Censor de nivel	1,2W	2	\$63.800
Total			\$2'073.908
COSTOS INDIRECTOS			
Aspecto		Precio (COP)	
Mano de obra		3'500.000	
Mantenimiento bombas (cada 3 meses)		\$300.000	

ANEXO P. Costos estimados en la implementación de planta a pequeña escala de biodiesel de aceite de salmón

COSTOS FIJOS	PRECIO \$COP
Compra de equipos	1.175.751.390
Costos directos (sin equipos)	2.462.965.450
Costos indirectos	2.182.510.990
Otros costos	18'934.271
COSTOS FIJOS	PRECIO \$USD
Costo de mantenimiento	1.376.790.495
COSTOS DE OPERACIÓN	
Instalaciones	28'883.213
TOTAL	7.245.835.809
COSTOS MENSUALES	
Mano de obra	5'529.986 \$COP/mes
Otros costos mensuales	2'013.519 \$COP/mes
TOTAL MENSUAL ESTIMADO	7'543.505 \$COP/mes

Fuente. Hervé, 2007.

Nota

Dado que los costos de esta alternativa se expresan en dólares estadounidenses (Hervé, 2007), se tomó una tasa de cambio representativa del día 18 de abril del 2021, equivalente a \$ 3.595,57 COP por dólar.

ANEXO Q. Costos para la implementación de zona de producción de aceite de salmón omega 3

COSTOS DE EQUIPOS				
Equipo	Características	Unidades	Costo (\$COP)	Total
Bomba centrífuga	1hp (0.75 kW)	4	873.400	3'493.600
Bomba de tornillo	4hp (3 kW)	2	2'836.000	5'672.000
Tanque agitado	-	1	5'317.000	5'317.000
Fregaderos industriales	Acero inoxidable (2,5 x 0,5 x 0,6) m	2	2'616.000	5'232.000
Tolva	D=1m	1	2'304.000	2'304.000
Centrífuga de discos	840x500x1600mm	1	24'461.500	24'461.500
Filtro prensa	20 placas – 5,40m ²	1	70'902.000	70'902.000
Total				117'382.100
COSTO DE INSTALACIONES				
Aspecto	Características	Costo (\$COP)		
Cuarto	60m ²	30'000.000		
Mano de obra	Obreros	7'268.208		
Total		37'268.208		
COSTOS MENSUALES				
Reactivos para tierras de diatomeas al 5%	Cantidad requerida diaria (kg)	Costo (\$COP)	Costo Mensual (\$COP) (28días)	
Actisil 220	27,5	50.170	1'404.760	
Optimum 320	27,5	45.140	1'263.920	
Celatom Fw40	27,5	134.538	3'767.064	
Fibra BWW40	27,5	401.665	11'246.620	
NaOH	250	404.800	11'334.400	
Total			29'016.764	
OTROS COSTOS MENSUALES		Costo (\$COP)		
Servicios públicos		2'481.600		
Personal		6'359.682		
Mantenimiento		500.000		
Otros costos		1'000.000		
Total		10'341.282		

ANEXO R. Propiedades aceite de salmón

PROPIEDADES ACEITE DE SALMÓN PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL		
Propiedad	Unidades	Valor
Ácidos grasos libres (AGL)	wt. %	8.37
Densidad	Kg/m ³	910
Valor de yodo	gI ₂ /100g	133
Numero de peróxido	meq/kg	5.94
Viscosidad cinemática	mm ² /s	33.61

Fuente. (Serrano et al., 2015)