



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial
de congelados**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

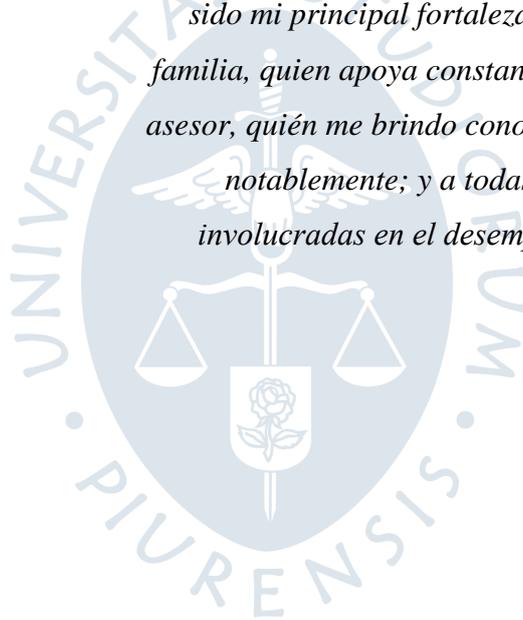
Omayra Jazmín Campoverde Niño

Asesor: Dr. Ing. Francisco Arteaga Núñez

Piura, noviembre de 2019

Dedicatoria

“Esta tesis principalmente se la dedico a Dios, quien ha sido mi principal fortaleza para seguir adelante; a mi familia, quien apoya constantemente mi desarrollo; a mi asesor, quién me brindo conocimientos que me ayudaron notablemente; y a todas las personas que se vieron involucradas en el desempeño y desarrollo de ésta.”.



Prefacio

La pesca es un sector de valiosa importancia para el Perú. En el año 2017, la pesca creció en un porcentaje considerable respecto el año anterior; el mayor crecimiento estuvo impulsado por la captura de anchoveta y especies para congelado. En el mes de análisis, la producción del sector pesca se incrementó en 37,29 % respecto a marzo de 2016. Este resultado se sustentó en la mayor captura de especies para consumo humano directo (25,42 %), destinado principalmente a congelado (112,63 %); mientras que disminuyó la pesca de especies para enlatado (-6,9 %), consumo envasado fresco (-13,8 %) y curado (-24,6 %) (INEI, 2017).

Sin embargo, el sector pesquero enfrenta uno de los mayores problemas, la sobrecapacidad, promovida por el continuo crecimiento de la flota y el número de plantas procesadoras. Generando más puntos de contaminación.

Además, la fuerte demanda de los productos derivados de la pesca tradicional ha favorecido a este proceso de contaminación. Pese a esto, como consecuencia a un mal manejo en el crecimiento de flota y número de plantas procesadoras, la bahía de Paita está contaminada; reflejándose esto; en que especialistas en materia ambiental; investiguen a 52 empresas por contaminación del litoral (Zapata, 2014).

La legislación nacional obliga al tratamiento de aguas residuales industriales; de esta manera las empresas están obligadas a la aplicación de un programa de adecuación y manejo ambiental (PAMA). El inciso 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú señala que las personas tienen derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; incentivando así, al cuidado del medio ambiente. Esto genera para las empresas pesqueras una gran preocupación; debido a que el tratamiento de sus aguas residuales industriales (obtenidas del proceso de producción) es una obligación; sin embargo, muchas empresas pesqueras, carecen de conocimientos acerca del buen manejo en el tratamiento de éstas, sin dejar de mencionar que prefieren no incidir con altos costos para su tratamiento; ignorando así los beneficios posteriores; después de agua para riego (Zapata, 2014).

La presente tesis se ha elaborado con la finalidad de contribuir una solución a la problemática que actualmente enfrenta la provincia de Paita. Proponiendo una mejora en el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales pesqueras (agua de cola); proyectando información adicional de los posibles beneficios posteriores que pueden obtenerse de acuerdo al sistema mejorado, sin dejar de lado la evaluación de las

necesidades de la empresa en estudio. Además, el presente estudio puede ser aplicativo para diversas empresas, evaluando siempre las características de la industria, y las posibles similitudes con la empresa en estudio. Por tanto, podría generalizarse para empresas del sector pesca (recursos hidrobiológicos de congelado).

Se busca con ello, reducir la contaminación ambiental, principalmente la contaminación del mar y aire; y cumplir con la obligatoriedad determinada (normativa legal vigente).



Resumen Analítico-Informativo

Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados

Omayra Jazmín Campoverde Niño

Asesor(es): Dr. Ing. Francisco Arteaga Núñez

Tesis.

Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura,

Palabras claves: tratamiento / hidrobiológicos / aguas residuales/ sector pesca / reactor / sistema anaeróbico / carga volumétrica / trifásico.

Introducción: Aportar propuesta de mejora en el diseño de aguas residuales para una empresa pesquera, perfilada a las necesidades de ésta.

Metodología: Investigación in situ, evaluación de propuestas para el desarrollo de la presente tesis en base al sistema de aguas residuales.

Resultados: Sistema actualmente empleado excede límites máximos permisibles; resultados favorables, aplicando el sistema propuesto de forma teórica.

Conclusiones: El sistema propuesto cumple con las expectativas planteadas, mejorando la administración y tratamiento de aguas residuales; además reduce notablemente los resultados iniciales, siendo mejores que los resultados obtenidos del sistema actual de la empresa; sin embargo, existen diversos estudios que pueden ser aplicables para el sistema evaluado

Fecha de elaboración del resumen: 20 de agosto de 2019

Analytical-Informative Summary

Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados

Omayra Jazmín Campoverde Niño

Asesor(es): Dr. Ing. Francisco Arteaga Núñez

Tesis.

Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura,

Keywords: treatment / hydrobiologicals / wastewater / fishing sector / reactor / anaerobic system / volumetric load / trifasic.

Introduction: provide a proposal for improvement in the design of wastewater for a fishing company profiled to its need.

Methodology: in situ research, evaluation of proposal for the development of this thesis based on the wastewater system.

Results: System currently used exceeds maximum permissible limits; favorable results, applying the proposed system theoretically.

Conclusions: The proposed system meets the expectations set, improving the administration and treatment of wastewater; it also significantly reduces the start results, being better than the results obtained from the current system of the company; however, there are several studies that may be applicable to system evaluated.

Summary date: August 20th, 2019

Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1 Caracterización de aguas residuales y principales actividades como empresas pesqueras	3
1. Visión.....	3
2. Diagnóstico de aguas residuales.....	3
2.1. Contaminación en playas.....	8
3. Situación actual de problemática de aguas residuales de la ciudad de Paita	12
4. Características de la zona donde se ubica Congelados R.....	16
5. Empresa pesquera en estudio (historia, productos).....	17
6. Análisis FODA medioambiental para la provincia de Paita	18
7. Marco legal y normativo	20
Capítulo 2 Tratamiento de las aguas residuales	27
1. Definición de aguas residuales en general	27
2. Características resaltantes de las aguas residuales en general	28
2.1. Características físicas.....	28
2.1.1. Propiedades físicas	28
2.2. Características químicas	33
2.2.1. Constituyentes químicos.....	33
2.2.1.1. Orgánicos	33
2.2.1.2. Inorgánicos	36
2.2.1.3. Gases	39
2.2.2. Características biológicas	39
3. Tipos de aguas residuales.....	41
3.1. Aguas residuales domésticas	41
3.2. Aguas residuales industriales.....	42
3.3. Aguas residuales del sector pesca.....	42
3.3.1. Problemas con el efluente y carga orgánica en la empresa Congelados R.....	43
3.4. Aguas residuales urbanas.....	45
4. Alternativas de tecnologías para tratamientos de aguas residuales.....	45

4.1.	Tecnologías para tratamientos anaeróbicos	52
4.1.1.	Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)	53
4.2.	Tecnologías para tratamientos aeróbicos	55
4.2.1.	Lagunas de estabilización	55
4.2.2.	Lodos activados	57
5.	Tecnología seleccionada para tratamiento de aguas residuales	58
5.1.	Reactor anaerobio	62
5.2.	Ventajas y desventajas	64
5.3.	Productos obtenidos	66
5.3.1.	Biogás	67
5.3.2.	Bioabono	67
5.3.3.	Lodo de recirculación	68
5.4.	Etapas en el proceso global de conversión del tratamiento anaerobio	69
5.4.1.	Hidrólisis	69
5.4.2.	Acidogénesis	70
5.4.3.	Acetogénesis	70
5.4.4.	Metanogénesis	71
5.5.	Factores que influyen en el tratamiento anaerobio	72
5.5.1.	Temperatura	72
5.5.2.	pH	73
5.5.3.	Capacidad buffer	73
5.5.4.	Nutrientes	73
5.5.5.	Toxicidad en la digestión anaerobia	74
5.5.6.	Factor Ambiental	74
5.6.	Rangos de temperatura definidos en el tratamiento anaerobio	75
5.6.1.	Psicrofílica	76
5.6.2.	Mesofílica	76
5.6.3.	Termofílica	77
5.7.	Puesta en marcha de un reactor RAFA	77

Capítulo 3 Diseño de la planta de tratamiento para la empresa pesquera

	Congelados R	81
1.	Características de las aguas residuales crudas	81
2.	Caudales	82

3.	Dimensiones del RAFA	85
3.1.	Diseño del separador GLS (gas líquido sólido)	90
3.1.1.	Dispositivos de distribución del afluente	97
3.1.2.	Otros dispositivos	98
3.2.	Característica del efluente obtenido del RAFA (teórico)	99
3.2.1.	Estimación teórica de los subproductos	100
4.	Lodos activados.....	102
4.1.	Dimensionamiento y diseño del sistema “Lodos Activados”	103
4.2.	Etapa aireación.....	104
4.2.1.	Volumen necesario de tanques de aireación.....	104
4.2.2.	Dimensiones de los tanques de aireación	105
4.2.3.	Sistema de aireación	106
4.2.4.	Tiempo de retención hidráulico resultante (Td)	107
4.2.5.	Alternativa para el sistema de aireación	108
4.2.6.	Caudal del lodo de retorno	108
4.2.7.	Producción de exceso de lodo biológico	109
4.2.8.	Edad de lodos θ_c	109
4.2.9.	Tanque de sedimentación	110
4.2.10.	Tasa de flujo superficial resultante.....	110
4.2.11.	Volumen útil de decantadores secundarios/sedimentador.....	111
5.	Cloración.....	111
5.1.	Demanda de cloro	112
5.2.	Reacciones con el agua.....	113
5.3.	Desinfección con hipoclorito de calcio – Preparación de Soluciones	114
5.3.1.	Preparación de solución clorada (solución líquida).....	114
5.3.2.	Preparación de solución clorada (sustancia sólida- granulada).....	114
5.4.	Características de los microorganismos en el proceso de cloración.....	115
5.5.	Diseño de la unidad de desinfección	116
	Conclusiones.....	119
	Recomendaciones.....	121

Referencias bibliográficas..... 123**Anexos..... 133**

Anexo A.	Fotografías del sistema actual de la empresa Congelados R.	135
Anexo B-1.	Tabla de relación de afluente (ingreso de agua de red / cisternas) vs producción (ingreso de materia prima medida en toneladas).....	139
Anexo B-2.	Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de la Industria pesquera de consumo humano directo.....	140
Anexo C.	Informe de ensayo – empresa pesquera Congelados R.....	141
Anexo D.	Diseño completo del sistema	142



Lista de tablas

Tabla 1.	Industrias relacionadas al procesamiento y comercialización de recursos hidrobiológicos.....	5
Tabla 2.	Lista de otros factores que contribuyen a la contaminación del litoral-Paita.....	7
Tabla 3.	Control de calidad en línea de playa, Paita, agosto 2005.	11
Tabla 4.	Conservación y aprovechamiento de los recursos naturales y la diversidad biológica	19
Tabla 5.	Límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de la industria pesquera de consumo humano directo.....	24
Tabla 6.	Objetivo de los procesos de pre-tratamiento.	47
Tabla 7.	Procesos de tratamiento avanzado y eficiencia remocional.	49
Tabla 8.	Características de los lodos procedentes de diferentes procesos de tratamiento.....	51
Tabla 9.	Eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales	52
Tabla 10.	Ventajas y desventajas de alternativas tecnológicas	65
Tabla 11.	Características del agua residual cruda/datos de ensayo (Congelados R).....	81
Tabla 12.	Caudal promedio de la empresa pesquera	85
Tabla 13.	Parámetros primarios de diseño	86
Tabla 14.	Parámetros que afectan el diseño y la operación.....	87
Tabla 15.	TRH en función de la temperatura	87
Tabla 16.	Parámetros de diseño para dos unidades RAFA propuestas para la planta.	88
Tabla 17.	Dimensiones del reactor	89
Tabla 18.	Velocidad de flujo ascendente.....	89
Tabla 19.	Parámetros de diseño de un reactor anaeróbico de flujo ascendente	90
Tabla 20.	Dimensiones generales de diseño para el separador GLS.	91
Tabla 21.	Dimensiones generales del separador GLS	92
Tabla 22.	Relación de alturas	93
Tabla 23.	Parámetros en relación al separador trifásico.....	94
Tabla 24.	Resumen de parámetros hallados en relación al separador trifásico.	94
Tabla 25.	Otras dimensiones en relación al reactor y separador.	95
Tabla 26.	Parámetros de diseño finales para el reactor anaeróbico.....	96

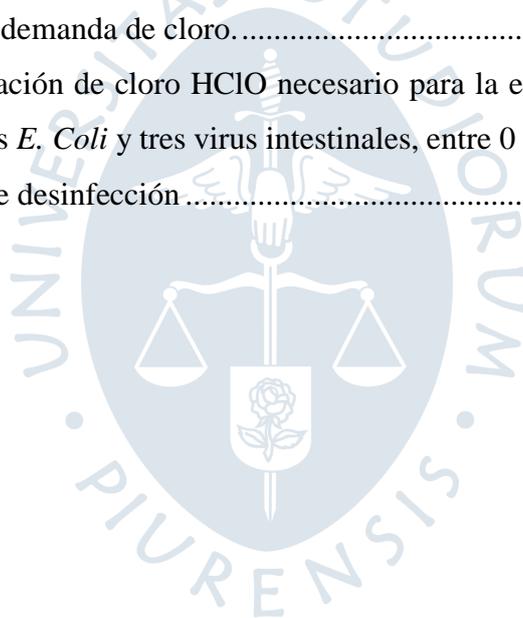
Tabla 27.	Estimación de eficiencia y concentraciones.....	100
Tabla 28.	Producción de subproductos (explicación).....	101
Tabla 29.	Parámetros iniciales para el tratamiento de lodos activados.....	103
Tabla 30.	Parámetros importantes para el sistema de tratamiento de lodos activados.....	105
Tabla 31.	Dimensionamiento de medidas para el tanque de aireación.....	106
Tabla 32.	Tabla de resumen de datos	107
Tabla 33.	Parámetros para diseño de la unidad de cloración.	117



Lista de figuras

Figura 1.	Efluentes industriales de la Zona Industrial II.	6
Figura 2.	Puntos de contaminación de la ZMC de provincia de Paita.....	7
Figura 3.	Variaciones de los SST en la bahía de Paita durante los veranos 2002- 2005.....	9
Figura 4.	Variaciones de los SST en la bahía de Paita durante los inviernos 2002- 2005.....	9
Figura 5.	Mar de Paita contaminado por el colapso de los desagües y la actividad industrial.....	10
Figura 6.	Tendencia semanal de diarrea aguda disentérica región Piura.....	12
Figura 7.	Pozas de aguas servidas que desembocan en el mar	13
Figura 8.	Contaminación de la bahía de Paita, encuentro de llegada al mar desde la zona industrial.	14
Figura 9.	Terreno en Zona Industrial II	16
Figura 10.	Terreno en Zona Industrial II	17
Figura 11.	Flujograma de procesos.....	18
Figura 12.	Cono de Imhoff.	30
Figura 13.	Equipo de filtración al vacío	31
Figura 14.	Sistema DAF, lodos obtenidos.....	44
Figura 15.	Esquema de una PTAR, normalmente.	46
Figura 16.	Filtro estático.....	47
Figura 17.	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).....	54
Figura 18.	Esquema del funcionamiento de una laguna facultativa.	57
Figura 19.	Proceso convencional de lodos activados	58
Figura 20.	Sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Congelados R.....	59
Figura 21.	Sistema DAF	60
Figura 22.	Partículas sólidas con capacidad de flotación.	60
Figura 23.	Recolector de lodos.	61
Figura 24.	Agua obtenida al final del sistema DAF.	61
Figura 25.	Reactor anaeróbico de flujo ascendente	63
Figura 26.	Fertilizante bioabono (lodos tratados).....	68
Figura 27.	Gránulos de lodo activo de un reactor UASB.	69
Figura 28.	Procesos de conversión en la digestión anaerobia	71

Figura 29.	Procesos de conversión en la digestión anaerobia. (Los números se refieren a porcentajes, expresados como DQO).....	72
Figura 30.	Balance anaerobio de la DQO	75
Figura 31.	Efecto de la temperatura de operación sobre la actividad de microorganismos anaeróbicos.....	76
Figura 32.	Morfología y tamaño de gránulos formados en un reactor anaerobio.....	78
Figura 33.	Diagrama de ingreso y salida de aguas residuales	83
Figura 34.	Flujograma de proceso de pota.....	84
Figura 35.	Diseño de un separador trifásico.	92
Figura 36.	Representación del ángulo entre las paredes del separador trifásico.	94
Figura 37.	Sistema de lodos activados – tanque de aireación y de sedimentación.....	103
Figura 38.	Recirculación de lodos-balance de masa.....	108
Figura 39.	Curva de demanda de cloro.....	112
Figura 40.	Concentración de cloro HClO necesario para la eliminación del 99 por 100 de los <i>E. Coli</i> y tres virus intestinales, entre 0 °C y 6°C.....	116
Figura 41.	Unidad de desinfección.....	117



Introducción

La presente tesis consta de tres capítulos, los que se detallan a continuación:

El capítulo 1, “Caracterización de aguas residuales y principales actividades como empresas pesqueras”, brinda información del sector pesca, partiendo de la visión de las empresas pesqueras en general; así como el diagnóstico de las aguas residuales, la situación de la problemática de aguas residuales de la ciudad de Paita, y el marco legal y normativo.

El capítulo 2, “Tratamiento de las aguas residuales”, presenta una amplia definición de aguas residuales, los parámetros, características y tipos de aguas residuales. Además, se muestran las tecnologías para un tratamiento anaeróbico y aeróbico; e información básica de la tecnología seleccionada para la empresa Congelados R. Se expone además información acerca de los productos obtenidos después del tratamiento de las aguas residuales; así como ventajas y desventajas, factores que influyen en el tratamiento anaerobio y puesta en marcha. Se enfatiza en la tecnología seleccionada; dónde el previo análisis llevó a la decisión tomada para Congelados R.

El capítulo 3, “Diseño de la planta de tratamiento para la industria pesquera”, en este capítulo se expone la información sobre los caudales y características de las aguas residuales, las dimensiones del reactor, y diseño final de la planta de tratamiento.

Para finalizar, tenemos conclusiones y recomendaciones, enfatizadas en el desarrollo del tema; como recomendaciones, se proponen soluciones para la problemática planteada, la que está estrechamente relacionada con el ambiente

Capítulo 1

Caracterización de aguas residuales y principales actividades como empresas pesqueras

En el presente capítulo se exponen datos importantes referentes a la materia prima que se trabajará; el proyecto se enfoca principalmente en la obtención de beneficios a partir de aguas residuales de la industria pesquera Congelados R; por lo que, en el capítulo siguiente, se detalla específicamente la situación actual de la ciudad en la que se ubica dicha empresa. Con ello, se muestra el marco normativo y legal, necesario para manifestar la importancia que tiene en el sector industrial de productos congelados; conjuntamente es indispensable para el correcto desarrollo del proyecto, que traerá consigo beneficios y aportes por la parte legal.

1. Visión

Consideramos que la crisis existente en el tratamiento de aguas residuales industriales puede mejorarse continuamente hasta alcanzar niveles aceptables; previamente con estudios aplicados por cada empresa emisora de aguas residuales. Si la voluntad empresarial permite que la importancia por el programa ambiental juegue un papel estelar en la solución del problema y los recursos requeridos sean asignados a la brevedad posible.

Las empresas procesadoras de productos hidrobiológicos deben aportar principalmente a la solución del problema con la correcta aplicación de normativas impuestas por organismos ambientales, asimismo con estudios ambientales obligatorios, que requiere nuestra sociedad en la ingeniería sanitaria y ambiental. De esta manera el principal problema que radica en este punto, contribuirá en gran proporción a la solución del mismo.

2. Diagnóstico de aguas residuales

La industria pesquera, como actividad extractiva, es de gran importancia económica en el Perú. Asimismo, es una fuente proveedora de materia prima para la industria de harina y aceite de pescado donde Perú es el mayor productor y exportador del mundo. Sin embargo, la transformación y el procesamiento del pescado produce una considerable cantidad de aguas residuales que está contaminada con sustancias

orgánicas, principalmente de forma disuelta y forma de partículas que pueden ser además muy bien aprovechadas. El agua residual producida por la industria alimentaria pesquera en especial el agua de cola¹ es la principal fuente de contaminación sobre los cuerpos de agua, donde estas industrias se han establecido. Debido a lo anterior en la actualidad existen varios procesos para su tratamiento, los cuales abarcan métodos físicos, químicos y biológicos.

El 26 de mayo del año 2003, el Gobierno Regional de Piura en sesión ordinaria de Consejo Regional y mediante acuerdo regional N° 061 _ 2003/GOB.REG.PIURA-CR, crea el Programa Regional de Manejo Integrado de Recursos de la ZMC² de Piura, encargándose a la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, la implementación del referido programa. El 04 de noviembre del 2011 mediante resolución Gerencial Regional N° 363 – 2011/GOB.PIURA-GRRNGMA-GR, con la cual fue creado el Grupo Técnico Regional de ZMC y Humedales, el cual modificado al Grupo Técnico Regional de ZMC y se le dictamina como función principal la implementación del Programa Regional de Manejo Integral de la ZMC de Piura (Calle Calle C. G., 2013).

La Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente viene impulsando la implementación del Programa Regional de Manejo Integrado de la Zona Marino Costera y Humedales- PRMIZMCH, que permitirá planificar en forma concertada el uso del espacio localizando y definiendo áreas de reserva o conservación, según la planificación territorial, generando condiciones para el desarrollo sostenible de la ZMC. Mediante Resolución Ejecutiva Regional N° 832-2013/GRP-PR de Diciembre del 2013 se oficializa a los comités de Gestión de la ZMC de las provincias de Paita y Talara, los cuales serán los encargados de estudiar, analizar y proponer los mecanismos necesarios para mejorar la calidad ambiental de la ZMC, cuya función principal será la de elaborar e implementar el Plan de Gestión Integral de la ZMC de las provincias de Paita y Talara. El Diagnóstico Socio Económico y Ambiental de la ZMC de la provincia de Paita es parte de estos esfuerzos orientado a impulsar la implementación del programa regional (Calle Calle C. G., 2013).

En la ZMC de Paita, se concentran diversas actividades, principalmente la pesca industrial, semi-industrial y artesanal, hacen posible el procesamiento y la

¹ Cfr. Subproducto obtenido de centrifugar el caldo de prensa en la industria de harina de pescado. Está compuesta por sólidos, aceite y agua. Es el efluente con mayor contenido de materia orgánica.

² Cfr. Zona Marino Costera.

comercialización nacional e internacional de los productos derivados de recursos hidrobiológicos (harina de pescado, productos marinos congelados, conservas, enlatados de pescados y mariscos) siendo más de 41 empresas asentadas en Paita, las que en gran parte procesan los recursos hidrobiológicos, tal como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Industrias relacionadas al procesamiento y comercialización de recursos hidrobiológicos.

N°	Razón Social	Rubro
1	“Austral Group S.A.A.”	Procesamiento de productos hidrobiológicos
2	Del Mar S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
3	“Inversiones Holding Perú S.A.C.”	Procesamiento de productos hidrobiológicos
4	Tassara Ortiz Horacio E.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
5	Multiservicios Huaroc E.I.R.L.	Congelado
6	Paredes Flores Eustaquio	Almacén de Aceite de Pescado
7	Pesquera Hayduk S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
8	Estación Naval	Procesamiento de productos hidrobiológicos
9	Corporación Refrigerados INY S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
10	Pesquera Austral	Procesamiento de productos hidrobiológicos
11	Tecnológica de Alimentos S.A.	Procesamiento de harina de pescado
12	Molinera Inca	Procesamiento de harinas
13	Servicio del Frío	Fábrica de hielo
14	“ M.I.K. Carpe S.A.C. ”	Procesamiento de productos hidrobiológicos
15	Industrial Pesquero di Recco S.A.C.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
16	Sea & T.S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
17	Cardomar Perú S.A.C.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
18	Mai Lang	Procesamiento de productos hidrobiológicos
19	Seafrost	Procesamiento de productos hidrobiológicos
20	Friomar S.A.C.	Procesamiento de productos hidrobiológicos, fab. de harina
21	Peruvian Sea Food S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
22	Empresa Pesquera Puerto Rico	Procesamiento de productos hidrobiológicos, fab. de harina
23	Frío Frías E.I.R.L	Procesamiento de productos hidrobiológicos
24	Freeko	Fábrica de Hielo
25	Prod-Export (EXSUMESA)	Procesamiento de productos hidrobiológicos
26	Arcopa S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
27	Sakana Perú	Procesamiento de productos hidrobiológicos
28	Produmar S.A.C.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
29	Pesquera Ribaudó	Procesamiento de productos hidrobiológicos
30	Dexim S.R.L.	Procesamiento de productos hidrobiológicos, Fab. Hielo
31	“Daewon Susan E.I.R.L. I”	Procesamiento de productos hidrobiológicos
32	Indust.Pesq.Congelado	Procesamiento de productos hidrobiológicos
33	Daewon Susan E.I.R.L. II	Procesamiento de productos hidrobiológicos

(Continuación)

N°	Razón Social	Rubro
34	Pesq. Virgen de la Puerta	Fábrica de hielo
35	Seafrost SAC II	Procesamiento de productos hidrobiológicos
36	Sakana Perú SA. II	Procesamiento de productos hidrobiológicos
37	Procesadora San Diego SAC	Fábrica de hielo
38	Pesquera Fénix SRL	Congelado
39	Pesquera Santa Emma S.A.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
40	Negocios del Sur del Perú SAC	Fábrica de hielo
41	Refrigerados Fisholg & Hijos SAC.	Procesamiento de productos hidrobiológicos
42	Vieira Perú SA	Procesamiento de productos hidrobiológicos

Fuente: Calle Calle, Carlos G., 2013

Sobre los acantilados de la ZMC de Paita (ej. Zona Industrial II) existen numerosas industrias de procesamiento de harina de pescado y congelado, que vierten directamente sus aguas de procesos industriales sobre el suelo de los acantilados (ver Figura 1), las que sin ningún tipo de tratamiento terminan en el mar, conteniendo químicos y material orgánico descompuesto que se vierte a lo largo de dos kilómetros del litoral (ver Figura 2), lo cual no sólo implica un riesgo para la salud de la población aledaña, sino que también constituye un daño irreparable para el paisaje de la zona. En la Tabla 2 se indican otros factores, que contribuyen a la contaminación del litoral (Calle Calle C. G., 2013).



Figura 1. Efluentes industriales de la Zona Industrial II.

Fuente: IMARPE, 2008



Figura 2. Puntos de contaminación de la ZMC de provincia de Paita
Fuente: Calle Calle, Carlos G., 2013

Tabla 2. Lista de otros factores que contribuyen a la contaminación del litoral-Paita

Responsable/sitio	Contaminación
EPS Grau S.A.	Vertimiento de aguas servidas provenientes del sistema de desagüe de la ciudad, que dispone las aguas residuales sin tratamiento, a través de un colector subacuático, que finalmente llega al mar.
Empresas pesqueras ubicadas en la Zona industrial de Paita Baja.	Vertimiento de aguas residuales de proceso industrial (sanguaza y/o agua de cola) al cuerpo receptor (mar), las cuales también contienen compuestos tóxicos.
Buques cargueros, barcos de pesca industrial, etc.	Descarga de aguas de lastre que traen consigo nuevas especies, entre ellas las que pueden causar mareas rojas, y también sustancias contaminantes.
Muelles artesanales	Aguas residuales de los desembarcaderos pesqueros artesanales, los cuales no cuentan con la infraestructura adecuada para el manejo de los residuos, contaminando con sanguaza la bahía.
Pescadores artesanales	En su actividad producen residuos sólidos y líquidos como aparejos de pesca, recipientes del cambio de aceite, vertimiento de aceites, bolsas plásticas, residuos fecales, etc.; lo que causa una gran contaminación al mar.
Población/EPS GRAU	Existen colectores urbanos provenientes de la zona norte de Paita.
Empresas de hidrocarburos.	Derrames de petróleo crudo en los ecosistemas marinos.
El muelle privado de la empresa INREPA	Desembarque de pota, la cual es procesada en su planta industrial ubicada en tierra. El lavado de la pota eviscerada se realiza con la misma agua de mar que es devuelta luego del proceso, alterando la calidad del agua.
Empresa-El muelle de ENAPU	Se caracteriza por albergar actividades de transporte marítimo; sin embargo, los residuales de las sentinas de los barcos llegan al agua de mar, incrementando el deterioro de las aguas.
Población/turistas	Frente al malecón coexiste la actividad recreacional junto a residuos sólidos provenientes del lavado de embarcaciones y deposición de materiales de la población colindante.

(continuación)

Responsable/sitio	Contaminación
Pescadores/turistas/población	El muelle fiscal se caracteriza por albergar actividades de pesca y transporte marítimo artesanal; este muelle se encuentra deteriorado, por ello conduce residuos líquidos y sólidos al ambiente marino y costero.
EPS Paita	Se ha identificado vertimientos directos de la EPS Paita, frente a Puerto Nuevo, Playa Chica y la Zona naval, coexiste la industria pesquera junto a la comercialización de recursos pesqueros, conjuntos habitacionales los cuales descargan residuos líquidos y sólidos al ambiente marino costero.
El Centro de Entrenamiento Pesquero	Entidad dedicada a la investigación, capacitación y servicios de comercialización y congelado que originan residuales que son vertidos al mar.
Muelles artesanales	En la calle Hermanos Cárcamo, al borde de la playa, se ubica la cámara de bombeo N°1 (CB-1) de la EPS Grau, la cual conduce las aguas servidas generadas en Paita Baja y el Complejo Pesquero, a la red principal. La EPS Grau trata las aguas servidas parcialmente en lagunas de estabilización y el resto las dispone sin tratamiento. Cuando la CB-1 deja de operar, las aguas servidas son dispuestas en la línea de playa sin tratamiento, al igual que los reboses de la cámara. El rebose de la CB1, se ubica en las coordenadas UTM E 487241, N 9 438 074.
Población/Río Chira.	El río desemboca en la Bocana de Vichayal, él llega con toda la carga microbiológica de las aguas residuales domésticas e industriales de la Provincia de Sullana, cuyas lagunas de oxidación no se encuentran en funcionamiento, así como de los desechos de residuos tóxicos provenientes de la actividad agrícola.

Fuente: Calle Calle, Carlos G., 2013

2.1. Contaminación en playas. La bahía de Paita sufre de contaminación por un sistema de alcantarillado obsoleto y más de 30 años de contaminación de empresas pesqueras. Pese a ser una de las zonas marinas de mayor diversidad en Perú, la bahía de Paita muere lentamente por el descuido y la contaminación. El diagnóstico socio económico y ambiental de la zona marino costera de la provincia de Paita, realizado en el año 2014, indicaba que “el problema más agudo en Paita es la contaminación marina debido a que funciona como el receptor de los vertimientos de los efluentes líquidos y residuos sólidos urbanos e industriales”, una situación que lleva décadas sin solución definitiva. El problema tiene tal magnitud que el último 24 de abril, el Consejo Regional de Piura aprobó, por unanimidad, solicitar ante el Ministerio del Ambiente el estado de emergencia ambiental de la Bahía de Paita (Sierra Praeli, 2018).

“El problema de contaminación es serio, complejo, con múltiples causas y varias instituciones involucradas en su solución”. En efecto, las causas han llevado a Paita a esta situación crítica. Tienen sus orígenes en las empresas pesqueras ubicadas en la

bahía, la antigüedad del sistema de desagüe y la actividad pesquera que arroja sus desechos directamente al mar. Los desagües de Paita producen, además, olores insoportables para los vecinos del lugar. La playa El Toril ya ha sido declarada no apta para bañistas por la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa) debido a que la cantidad de coliformes fecales de sus aguas supera hasta en cinco veces los límites permitidos. Además de las variaciones en los sólidos solubles totales (SST), como puede observarse en la Figura 3 y Figura 4, para el periodo de verano e invierno de los años 2002 – 2005, actualmente esto va en aumento.

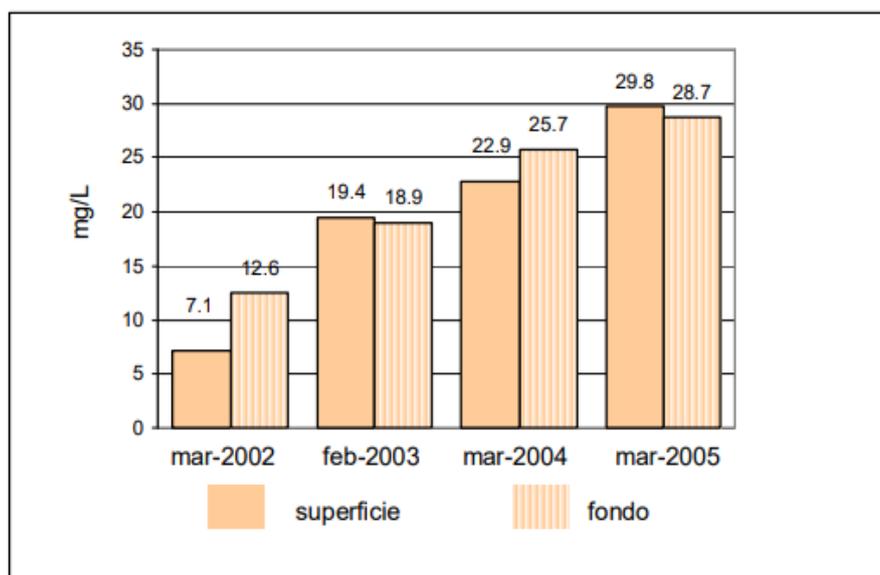


Figura 3. Variaciones de los SST en la bahía de Paita durante los veranos 2002-2005
Fuente: IMARPE, 2008

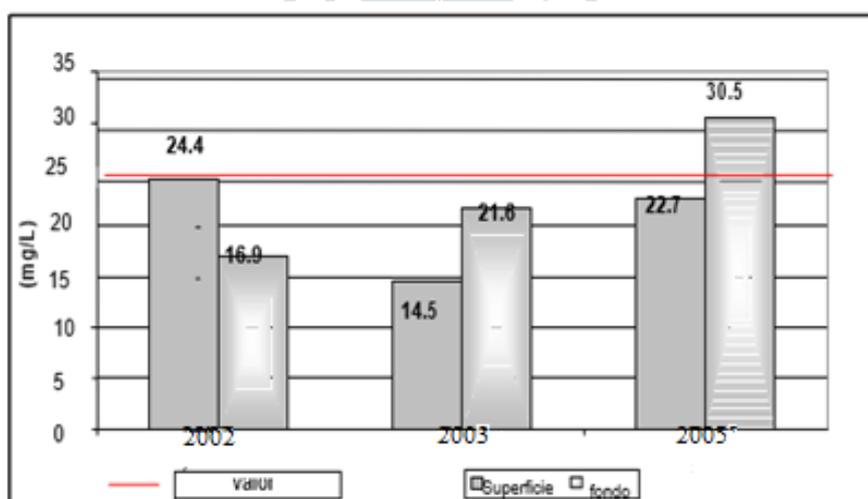


Figura 4. Variaciones de los SST en la bahía de Paita durante los inviernos 2002-2005
Fuente: IMARPE, 2008

El Economista Juan Carlos Sueiro, director de Pesquerías de la ONG Oceana, agrega que los problemas de contaminación en Paita se han agudizado por el aumento de la población y las industrias. “Hay problemas en la atención de servicios debido al crecimiento de la población, puesto que no existe correlación entre sus necesidades y las inversiones”. Se han identificado empresas que, en lugar de tratar el agua, la sacan en camiones cisternas durante la noche y la lanzan en el desierto. “OEFA (Organismo Estatal de Fiscalización Ambiental) ya identificó y sancionó a una de ellas y está siguiendo procesos administrativos a cinco más. Se agrega también que le corresponde a la OEFA continuar con su labor de fiscalización, a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con su rol de supervisión de la correcta instalación de las plantas de tratamiento y a la Dirección Regional de Producción constatar el cumplimiento de las normas establecidas a las compañías que solicitan autorización para su funcionamiento (Sierra Praeli, 2018).

Los vertimientos son cada vez más peligrosos para el mar, las zonas ribereñas del balneario de Paita y asentamientos humanos aledaños (ver Figura 5). El color y el olor denotan la contaminación, cuyo grado de toxicidad no se conoce porque utilizan diferentes reactivos y químicos en sus procesos. Si bien indicó, esta carga que ingresa al mar no mata la biomasa, deja con graves contaminantes y enfermedades a los peces que habitan en esta parte del litoral, lo cual representa un riesgo para el consumo humano.



Figura 5. Mar de Paita contaminado por el colapso de los desagües y la actividad industrial.

Fuente: Sierra Praeli, Yvette, 2014

Tal como sucedió en Japón en la década del 90, en la bahía de Minamata donde toda la población sufrió enfermedades a causas de la contaminación que llegó del río hacia el mar. Bajo esta misma visión; se indicó que estas empresas vierten al mar alrededor de 80 l/s de descargas orgánicas, producto del fileteado de pescado, lo cual se convierte en una “cadena contaminante” porque no sólo intoxica al mar sino también a los peces, y estos a su vez a la población. “Es decir, el recurso hidrobiológico es infectado por la bacteria “Escherichia coli” (microbio que causa diarreas hemorrágicas, hepatitis, insuficiencia renal y hasta la muerte) producto de la mezcla de desechos tóxicos y orgánicos, lo cual se esparce en el mar y es ingerida por los peces, los cuales a su vez se convertirán en alimento para la población, ocasionando enfermedades e infecciones”. Cabe resaltar que para la fecha del mes de junio 2018; se incrementó en 40 % la contaminación a causa de desagües, hidrocarburos y aguas residuales no tratadas; provenientes de las empresas pesqueras (Prieto Durand, 2013).

En la Tabla 3 se puede observar la acción contaminante en base a un control de calidad en línea de playa para el año 2005, cabe resaltar que para la fecha estos valores pueden haber crecido notablemente.

Tabla 3. Control de calidad en línea de playa, Paita, agosto 2005.

ESTACIONES	HORA	POSICIONES		PROF.	DBO5 (mg/L)	COLIFORMES TOTALES NMP/100 ml	COLIFORMES TERMOTOLERANTES NMP/100 ml
		LATITUD	LONGITUD				
PLAYA A	CORMAR	08:40	05°04'44.7"	81°08'52.1"	0	2.24	30
PLAYA B	Muelle Artesanal	09:15	05°04'38.0"	81°07'14.0"	0	2.81	930
PLAYA C	Muelle Fiscal	09:33	05°04'56.0"	81°06'48.5"	0	3.75	1500
PLAYA D	Punta Cuñúz	10:00	05°04'54.4"	81°06'00.0"	0	2.93	40
PLAYA E	INREPA	10:20	05°04'44.1"	81°05'07.0"	0	0.86	4600
PLAYA F	Salinera Colán	11:05	05°02'09.0"	81°03'36.0"	0	1.34	40
PLAYA G	Balneario Colán	11:28	05°00'31.0"	81°03'55.0"	0	3.00	30

Fuente: Municipalidad provincial de Paita, 2011

Existe por otra parte una comparación en los índices de las enfermedades respecto la región Piura en general; en la Figura 6 se muestran las tendencias semanales de diarrea disintérica. La razón de diarreas agudas acuosas: disintéricas para el período (2011-2018) se incrementa en un promedio de 67:1. Por lo cual las recomendaciones dadas por la Dirección Regional de Salud (Dirección Regional de Salud, 2018) fueron las siguientes:

- Siendo las Eda's (Enfermedades Diarreicas Agudas); un daño trazador por tener riesgo potencial epidémico de incrementarse en zonas afectadas por fenómeno del niño, debido al riesgo biológico, ambiental y social se debe iniciar la vigilancia epidemiológica de su tendencia y activar la notificación diaria. Y también de toma de muestra para descartar circulación de *Vibrio cholerae* por localidades donde se visualiza incremento de Eda's con deshidratación grave.
- Asimismo, monitorizar las vías de riesgo como desagües, las aguas estancadas, canales y playas con cercanía a la desembocadura de un colector de desagüe.

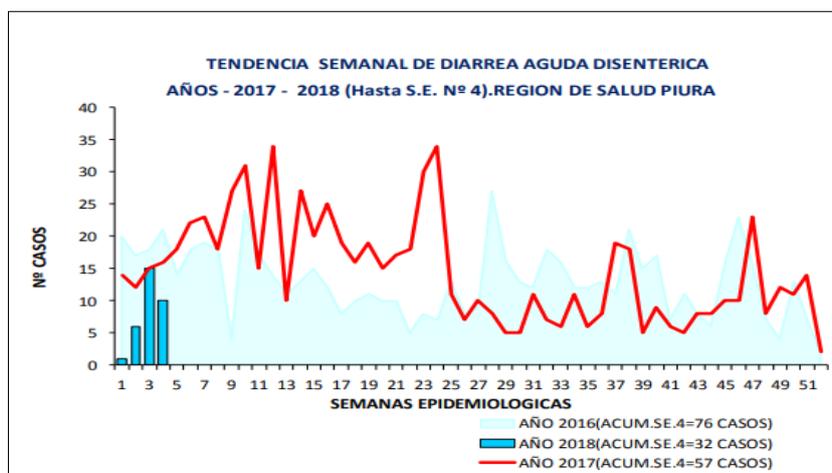


Figura 6. Tendencia semanal de diarrea aguda disentérica región Piura
Fuente: Dirección Regional de Salud, 2018

3. Situación actual de problemática de aguas residuales de la ciudad de Paita

Paita alta alberga una importante zona industrial, donde destacan la industria manufacturera química, y empresas dedicadas al procesamiento y la comercialización de productos derivados de la actividad pesquera (harina de pescado, productos marinos congelados, conservas y enlatados de pescados y mariscos). Lamentablemente las actividades industriales son una de las causas principales de la contaminación de la bahía de Paita, sobre todo las empresas pesqueras ubicadas en la Zona Industrial II de Paita, las cuales hace varios años contaminan el mar y según la OEFA estas no cumplen con la norma de tratamiento de residuos sólidos.

La fiscalía especializada en materia ambiental de Piura, señala que en la bahía de Paita solo se ha constatado la existencia de una empresa pesquera que cuenta con su planta de tratamiento de aguas industriales. Sin embargo, por ley todas las empresas están obligadas a cumplir sus planes de manejo ambiental, que incluyen el tratamiento de sus aguas servidas (Zapata, 2014).

Más de cuatro décadas que se sintetizan en un aproximado de 30 millones de metros cúbicos de aguas residuales y desagües que hoy flotan mezclados entre la flora y fauna del mar de Grau. El mar de Paita se ha convertido en una mezcla letal, o coctel aciago, de albuferas fecales, sanguaza y aguas residuales provenientes de las fábricas pesqueras, que sumado a la irresponsabilidad de los empresarios y al nulo interés de las autoridades, han condenado a este inmenso ecosistema a morir de a pocos. Estos efluentes contienen residuos químicos y residuos orgánicos en descomposición, los cuales se vierten a lo largo de 2 km de litoral (Figura 7), como consecuencia contaminan el medio ambiente que en este caso sería el mar peruano y también perjudican la salud de las poblaciones en torno a ese sector (Dirección Regional de Salud, 2018).

“Según un estudio de noviembre del 2011 de la Dirección Regional de Salud de Piura, la presencia de coliformes fecales en el mar de uno de los muelles, ubicado a menos de un kilómetro y medio de playa Cuñuz, es de aproximadamente 840 NMP (número más probable de partículas en 100 mL). Los estándares nacionales de calidad ambiental del agua señalan que el máximo permisible para actividades recreativas de contacto primario es de 200 NMP”. En una lenta pero segura agonía. Durante más de 40 años las empresas pesqueras, instaladas en la Zona Industrial II de Paita, se han dedicado, de manera constante e inescrupulosa, a verter todos sus desagües directamente al mar, más de 5000 m³ diarios de contaminación y deyecciones (Dirección Regional de Salud, 2018).



Figura 7. Pozas de aguas servidas que desembocan en el mar
Fuente: Radio Cutivalú, 2016

Existen multas, llamadas de atención y órdenes de cierre temporal. Pero no sólo se contamina Paita (ver Figura 8), también Colán y todas las especies marinas, aéreas y

terrestres que habitan en la zona. La autoridad administrativa del agua Jequetepeque Zarumilla en conjunto con la administración local de agua Chira sancionó hasta ese momento, a seis empresas pesqueras ubicadas en la Zona Industrial II de Paita, por realizar vertimientos de aguas residuales sin el permiso de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), mientras se investiga a otras 11 empresas, incluyendo una entidad del estado. Las pesqueras multadas, cada una con el pago de 100 Unidades Impositivas Tributarias (UIT), son Empresa DEXIM S.R.L., Provedora de Productos Marinos S.A.C, Sea Frost S.A.C., Peruvian Sea Food S.A, Pesquera Ribaudó S.A. y Trading Fishmeal Corporation S.A.C (Ampudia, 2015).

Lamentablemente, por ambigüedades en el proceso legal, el Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas de la ANA, declaró la nulidad de las resoluciones directorales que dieron mérito a las sanciones impuestas a las empresas SeaFrost, DEXIM, Trading Fishmeal Corporation S.A.C., alegando haber vulnerado el debido proceso (Ampudia, 2015).

El informe, precisa la presencia de concentraciones de coliformes fecales en la bahía de Paita, específicamente a 500 m al noroeste del muelle INREPA y a 400 m lado sur. Además, se evidenció la presencia de nitratos y fosfatos que no cumplen con el Estándares de Calidad Ambiental – (ECA) - para la zona marina (Ampudia, 2015).



Figura 8. Contaminación de la bahía de Paita, encuentro de llegada al mar desde la zona industrial.

Fuente: Benites Acha, Jaime , 2014

La subdirección de Gestión de Calidad de Recursos Hídricos de ANA, precisó que el tema no sólo depende de esa entidad, sino también de la municipalidad de Paita que

es la encargada de dar el visto bueno para estas empresas. También Produce da la autorización para el funcionamiento de las plantas pesqueras; luego de presentar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA); y asimismo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), quienes deben fiscalizar el efluente y los límites máximos acuáticos permisibles. Lamentablemente, lejos de resarcir o buscar una solución al gran problema de la contaminación, ninguna de las empresas sancionadas ha implementado un sistema de tratamiento de aguas o buscado una solución alternativa. El mar sigue siendo el último destino de sus desechos orgánicos e industriales.

Por su parte, el alcalde de Paita, precisó que la prioridad de su gestión es encontrar una solución que permita recuperar la bahía de Paita, sentando firmemente su posición con respecto al tratamiento que se le debe dar al problema medio ambiental que atraviesa el ecosistema marino costero en el puerto; conjuntamente añadió que el problema lo conocen todos, la tarea es la profundización del diagnóstico, que en su oportunidad y de acuerdo al marco normativo estarán convocando para poder reactivar algunos espacios ya creados desde el gobierno regional, ello con la finalidad de tener un plan concertado de desarrollo ambiental. Por otro lado, el gerente de la empresa Bevitec (especializada en el tratamiento de aguas industriales), propuso la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, cuyo monto estimado de inversión bordea los S/. 10 millones de soles. Estaría ubicada a 4 km al este de la Zona Industrial II, terreno cedido por la municipalidad de Paita. Indicó que su proyecto ya cuenta con expediente técnico y con el estudio de impacto ambiental aprobado mediante Resolución Directoral N° 262-2014 (Ampudia, 2015).

Según explicó el gerente de la empresa Bevitec, los índices de contaminación por efecto del vertimiento de las aguas residuales por parte de las empresas industriales, son elevados llegando incluso a ser 100 000 m³ de aguas residuales al mes, las que no serían tratadas; casi un 80 % del total de aguas que evacuarían las empresas de un total de 125 000 m³ mensuales. Sólo 20 % de empresas ubicadas en la Zona Industrial II cumplen con el tratamiento de sus aguas residuales, el resto incumple la norma con premeditación (Ampudia, 2015).

La funcionalidad de la planta ejecutaría la recolección de los desechos sometiéndolos a un tratamiento con oxígeno activado que generaría la destrucción de las bacterias y otros microorganismos. El resultado de este tratamiento sería utilizado para la irrigación de campos agrícolas donde se trabajen con plantaciones de tallo alto. Con

estas aguas tratadas se podría beneficiar la instalación de cultivos como banano, maíz, caña de azúcar y limón.

4. Características de la zona donde se ubica Congelados R

El lugar geográfico influye directamente en la empresa y el desarrollo de ésta; la elección que se realice para el sitio puede significar tanto el éxito como el fracaso del negocio. Es decir, dependiendo de la ubicación podrá seguir la producción de lo que se ofrece a un cliente; esto porque muchas personas e interesados pueden verse afectados. Por ello se busca una zona que sea adecuada, para una empresa industrial; sin que afecte directamente a las comunidades, y pueda brindar la confianza a los interesados y a la vez cumpla con todas las zonas requeridas.

En Paita la zona que cumple con estos requisitos es la Zona Industrial II en la Figura 9 y en la Figura 10, puede observarse parte de la Zona Industrial II, donde se encuentran ubicadas las plantas procesadoras de diversos productos hidrobiológicos que cuentan con capacidad instalada para producir diferentes especies, entre ellas Congelados R; además se tiene para esta zona, las autorizaciones de diferentes organismos reguladores y supervisores para una planta diseñada para procesamiento.



Figura 9. Terreno en Zona Industrial II
Fuente: Municipalidad de Paita, 2016

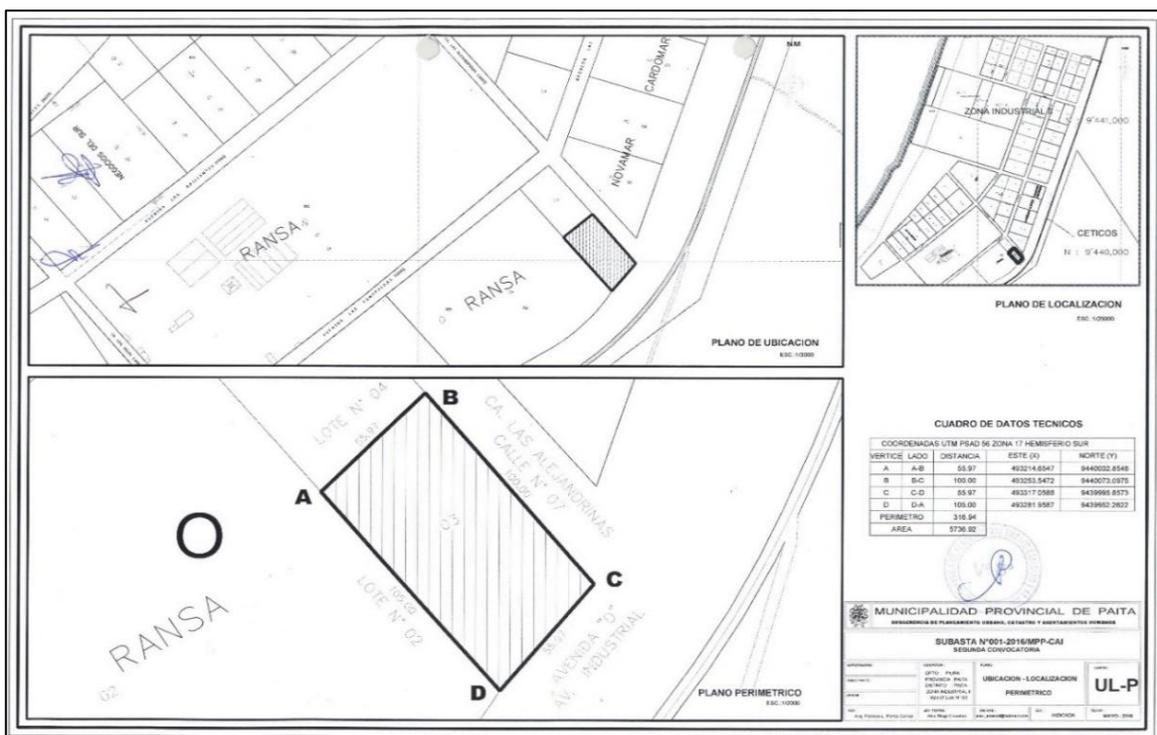


Figura 10. Terreno en Zona Industrial II
Fuente: Municipalidad de Paíta, 2016

5. Empresa pesquera en estudio (historia, productos)

La empresa en estudio es una empresa productora y exportadora de productos hidrobiológicos congelados. Es una empresa joven, ubicada en la Zona Industrial II, en el puerto de Paíta; el objetivo de ésta es, ser una de las mejores empresas pesqueras del país, lo que les motiva a diario trabajar con empeño y dedicación para el logro de su objetivo. Además, cuentan con un equipo de colaboradores responsables con alto profesionalismo y amplia experiencia en el rubro pesquero. Se dedica a elaborar productos hidrobiológicos congelados, atendiendo a los mercados internacionales más exigentes; brindando productos de óptima calidad listos para la mesa del consumidor.

En la Figura 11, se muestran los procesos unitarios que se realiza en la empresa para la transformación de la materia prima en producto terminado.

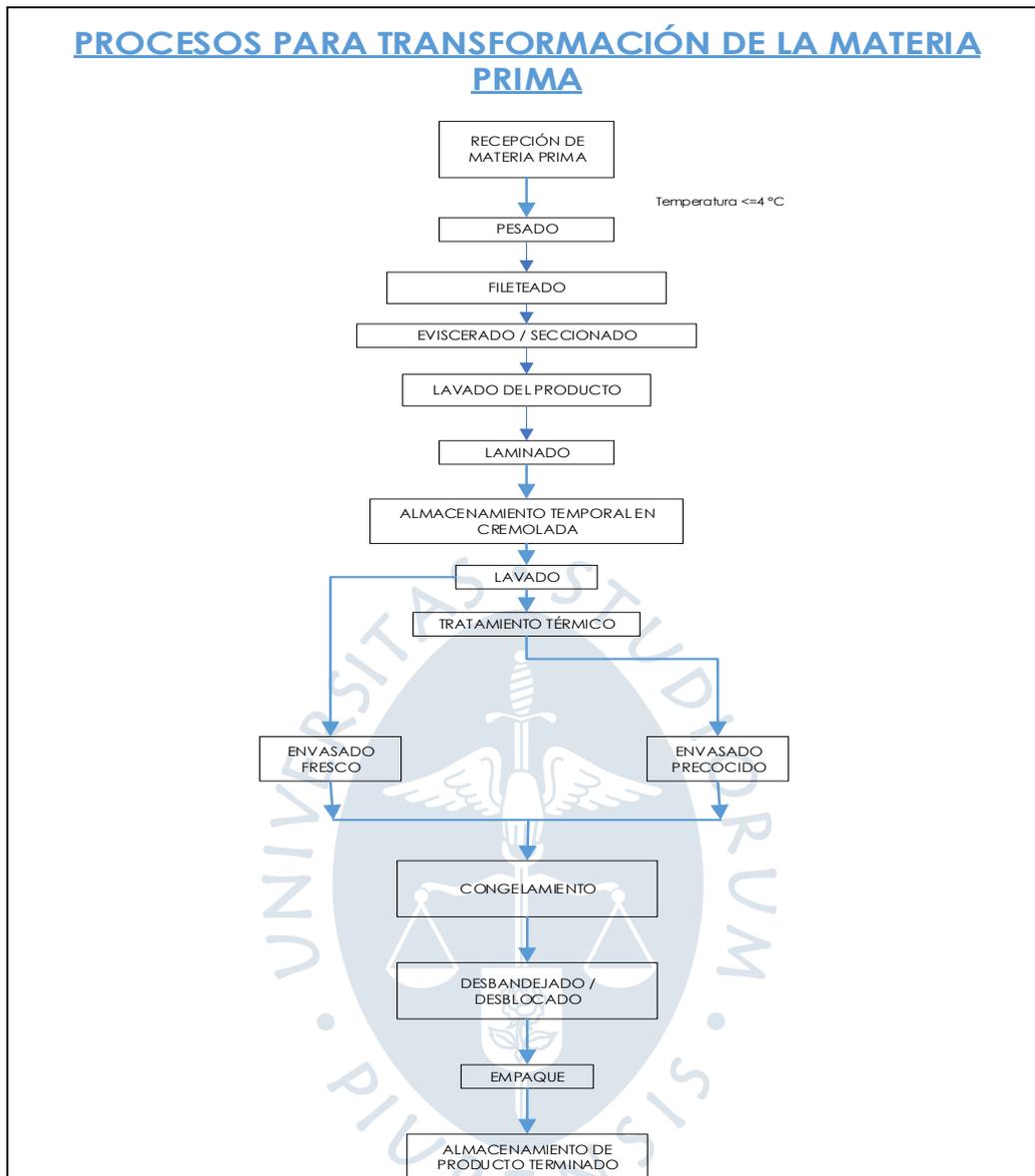


Figura 11. Flujograma de procesos
Fuente: Congelados R, 2018

6. Análisis FODA medioambiental para la provincia de Paita

El presente análisis evalúa la conservación y aprovechamiento de la diversidad biológica marina, enfocándose en el contexto social, ambiental de la provincia paiteña y en el sector pesquero, haciendo frente a estrategias complejas de una manera sencilla (ver Tabla 4), con la finalidad de obtener conclusiones sobre la forma en que el objeto estudiado es capaz de afrontar los cambios en el contexto; además de la importancia de las empresas en el desarrollo de la provincia, y las consecuencias que trae consigo la mala gestión de los recursos por parte de éstas.

Tabla 4. Conservación y aprovechamiento de los recursos naturales y la diversidad biológica

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
<p>Presencia de Instituciones que investigan, monitorean, fiscalizan, etc., los problemas medioambientales.</p> <p>Presencia de IMARPE, con el fin de cumplir mejor sus funciones, colocando diversos observadores en otras caletas como en el Ñuro, lo cual está permitiendo una mejor vigilancia de los recursos.</p> <p>Presencia de la OEFA, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, que garantiza que las actividades económicas se desarrollen en equilibrio con el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano. El cual ejerce y promueve una fiscalización ambiental efectiva que armonice el ejercicio de las actividades económicas y la protección del ambiente con el desarrollo sostenible.</p> <p>Existencia de normativas, para las empresas en funcionamiento. Ley N° 26839 de la Conservación y Aprovechamiento Sostenible. Decreto supremo 040-2017-RE. Acuerdo sobre medidas del Estado Rector del Puerto destinadas a prevenir, desalentar, y eliminar la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada.</p> <p>Posesión del mar más rico del mundo, con gran biomasa y diversidad. En esta zona se encuentra la Isla Foca (Paita-Piura).</p>	<p>Interés de algunas empresas por preservar el ambiente, y cumplir con la normativa planteada.</p> <p>Empresas transnacionales, embrionarias y emergentes. Cascadas de oportunidades, a partir de la pesca, para los pobladores de la provincia.</p>	<p>Pesca industrial; uno de los problemas que enfrenta la actividad pesquera en Perú-Paita es el uso de artes de pesca altamente destructivas del ambiente marino, por ejemplo; la pesca ilegal, la pesca de arrastre, la pesca bolichera; estos ejemplos antes mencionados, capturan en grandes cantidades especies marinas, y al ser procesadas, se utiliza agua en abundantes cantidades.</p> <p>Inadecuado manejo de residuos sólidos y líquidos generados por actividades industriales.</p> <p>Muelles artesanales no adecuados a la normatividad, que, a pesar de la normatividad implantada, no cuentan con emisores submarinos, realizando la faena de eviscerado, lavado, y transporte en infraestructura no adecuadas, lo que trae consigo que las aguas residuales de los DPA (desembarcadero Artesanal) sean arrojadas a las bahías causando la contaminación ambiental.</p> <p>Escasa sensibilización y capacitación en temas de conservación ambiental; el problema o debilidad transversal a las demás es la falta de sensibilización, cultura y educación ambiental, por parte de la sociedad, tanto empresa privada, pescadores artesanales y población en general, existen programas, fondos para la limpieza pública, pero no se ha priorizado la educación ambiental</p>	<p>Pérdidas económicas en sector pesquero y de procesamientos de recursos hidrobiológicos, las malas prácticas en las diferentes actividades en la explotación de los recursos de la ZMC de Paita, traerá consigo el alejamiento, disminución o extinción de muchos recursos, y está consigo la pérdida económica, siendo los sectores de pesca y procesamiento de hidrobiológicos los más afectados.</p> <p>Cambio climático como constante amenaza biológica, la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad es el cambio climático. Las emisiones de gases constantes y desproporcionados por parte de los países industrializados y por el mal uso de los recursos naturales, están provocando graves modificaciones en el clima a nivel global. Sus consecuencias se traducen en inundaciones, sequías y todo tipo de desastres naturales, alterando muchas veces la producción, y exportaciones.</p>

Fuente: Calle Calle, Carlos G., 2013

7. Marco legal y normativo

El Perú dispone de un marco legal bastante completo, aunque algunas normas requieren actualización. La norma que rige la actividad pesquera y acuícola es la Ley General de Pesca y su Reglamento, la cual promueve la conservación y sostenibilidad de los recursos hidrobiológicos. Asimismo, se cuenta con la Ley General de Acuicultura, la Ley de Promoción y Desarrollo de la Acuicultura y su Reglamento, y el Plan Nacional de Desarrollo Acuícola, que promueve la actividad acuícola en aguas marinas, aguas continentales o mediante el uso de aguas salobres. Adicionalmente, existen una serie de medidas para la protección de esta actividad que incluye un sistema de áreas protegidas tanto en medio marino como en aguas continentales y un conjunto de medidas de protección y manejo del recurso, como las siguientes: vedas estacionales, cuotas de pesca, tallas mínimas de captura, tamaño de malla, restricciones sobre artes de pesca, zonas de pesca exclusivas para cierto tipo de embarcaciones y ciertas artes de pesca, y un sistema bastante eficiente de control de flota industrial. El control de la flota artesanal ha sido transferido a los gobiernos regionales, el cual es todavía limitado. Existen dos centros de investigaciones que contribuyen al desarrollo pesquero y acuícola: el instituto del Mar del Perú (Imarpe), y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) para el ámbito amazónico. Adicionalmente, diversas universidades públicas y privadas tienen centros de investigación que incluyen el tema acuícola y pesquero (Ministerio del Ambiente, 2015).

La Ley General de las Aguas – Ley N° 17752 (24 de julio 1969), aún vigente, es la norma fundamental sobre la gestión de los recursos hídricos en el Perú; desde su creación ha tenido algunas modificaciones menores, pero mantiene sus objetivos originales. En dicha ley se norma todo lo relacionado a los recursos hídricos, desde la propiedad del estado peruano sobre ellas hasta sus usos. Además, en varios artículos se menciona la intención de priorizar el interés social y el desarrollo nacional como criterios para asignar el agua o solucionar conflictos entre intereses enfrentados. Dispone la formulación y expedición de los reglamentos correspondientes para su debida aplicación. Si bien la Ley General de Aguas de 1969 desarrolló algunos puntos relacionados con el tema ambiental, es con la aprobación de la Ley General del Ambiente mediante Ley N° 28611 de 2005 que se ordena el marco legal para la gestión ambiental en el Perú, así como los roles de cada uno de los actores y desarrolla integralmente los lineamientos e instrumentos para su implementación. Esta Ley es la

norma fundamental para la protección de la calidad del agua como recurso a través de la definición de instrumentos para regular el vertimiento, tratamiento y reúso de las aguas residuales, declarándose al Estado como promotor del uso de las mismas con fines productivos (SUNASS, Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, 2008).

Se menciona además, la resolución ministerial N° 178-2014-MINAM; considerando que el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida ; que el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley; además el artículo 31 de la Ley N° 28611, define el límite máximo permisible (LMP) como la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente, según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (Dirección General de Calidad Ambiental, 2014).

El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los Estándares de Calidad Ambiental. La política Nacional del Ambiente, aprobada mediante Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, consigna entre los lineamientos de política del Eje 2: Gestión Integrada de Calidad Ambiental, referidos al control integrado de la contaminación, el de contar con parámetros de contaminación para el control y mantenimiento de la calidad del aire, agua y suelo; en este contexto, el Ministerio del Ambiente ha elaborado el proyecto de Decreto Supremo que aprueba los LMP para efluentes de la industria pesquera de consumo humano directo; propuesta que previa a su aprobación requiere ser puesta en conocimiento del público, con la finalidad de contar con las sugerencias y/o comentarios de los interesados (Dirección General de Calidad Ambiental, 2014).

- **Para los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes para la industria pesquera de consumo humano directo**

El derecho fundamental de toda persona a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo pleno de sus capacidades vitales ha sido incorporado en la constitución Política del Perú y recogida en la Ley General del Ambiente- Ley N° 28611, así como el deber del estado y de todos sus ciudadanos de promover una gestión ambiental efectiva, que comprenda la salud de las personas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, entre otros aspectos.

La Ley N° 28611, Ley General de Ambiente en su artículo 3, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseñe y aplique, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley. Una de las funciones específicas del Ministerio del Ambiente es elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y LMP, debiendo contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo; uno de esos instrumentos de la Gestión Ambiental es el LMP que es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente siendo su cumplimiento exigible legalmente a los distintos niveles de gobierno en la definición de políticas, planes, programas y normas legales en materia ambiental (Dirección General de Calidad Ambiental, 2014).

El Ministerio del Ambiente propone:

- Los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes para la industria pesquera de consumo humano directo, refiriéndose a enlatado, congelado, curado y concentrado proteico; son indispensables puesto que según información proporcionada por el Ministerio de la Producción, las plantas de proceso cuentan con un incipiente tratamiento físico a través de cribas o tamices verticales, pozas de sedimentación, otros con separadores de aceites y grasas y algunos utilizan químicos (soda cáustica) para neutralizar el pH del efluente.

- Para reducir la carga orgánica de un efluente de proceso por lo menos una planta debe contar con sistemas de tratamiento secundario. Por otro lado, de la información del inventario efectuado por la Dirección General de Asuntos Ambientales de Pesquería – DIGAAP (2007 – 2008) al rubro de consumo humano directo (CHD) se tiene que los establecimientos cuentan con incipientes tratamientos, los mismos que han reflejado en los resultados de sus reportes de monitoreo un amplio espectro de fluctuaciones de la carga contaminante (demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales (SST), y los aceites y grasas (AyG)).
 - Los establecimientos industriales pesqueros (EIP) deben aplicar el uso de la mejor tecnología disponible a fin de reducir la carga orgánica contaminante de sus efluentes; por cuanto, los estimados que se vierten al cuerpo receptor fluctúan en promedio 412 toneladas de DBO_5 /año, 101 toneladas de SST/año y 60 toneladas de aceites y grasas/año para el caso de una empresa perteneciente al rubro de enlatado (Dirección General de Calidad Ambiental, 2014).
 - Los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes para la industria Pesquera de consumo humano directo (enlatado, congelado, curado y concentrado proteico) propuestos, constituyen una parte integrante de los instrumentos de Gestión Ambiental, toda vez que son herramientas de gestión que permiten fijar un ideal ambiental y, a su vez proteger la salud humana, todo ello conforme a las opiniones, aportes y sugerencias provenientes de las instituciones públicas y privadas, y de esta forma facilitar su implementación.
- **Cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de la industria Pesquera de consumo humano directo para actividades en curso**

Los titulares de las plantas industriales Pesqueras de consumo humano directo, para actividades que se encuentren en curso, con licencia de operación vigente e instrumento de gestión ambiental aprobado, que cumplan con todos los parámetros de los LMP establecidos en la Tabla N° 5; deberá presentarse un Informe de evaluación del monitoreo de los efluentes generados en su planta, debidamente sustentado incluyendo la presentación de los reportes de ensayos de laboratorio acreditado y firmado por el representante legal de la empresa, documento que

tendrá carácter de declaración jurada. El plazo máximo de presentación del citado documento, es de sesenta (60) días calendario, de aprobado el presente dispositivo. Titulares que no presenten la mencionada estrategia no podrán seguir operando.

Los efluentes del proceso y de los servicios domésticos de las actividades conexas a la actividad principal, que se vierten a un cuerpo receptor, recibirán tratamiento en forma independiente de tal manera que cada uno cumpla con los límites máximos permisibles establecidos, ya sean dichos efluentes vertidos en forma separada o en conjunto a través de emisarios submarinos. Los efluentes residuales domésticos deberán cumplir con los LMP establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM. Se obliga además a realizar el monitoreo de sus efluentes de conformidad con el programa de monitoreo vigente aprobado por la autoridad competente.

Tabla 5. Límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de la industria pesquera de consumo humano directo.

Parámetros / contaminantes	Unidad	Concentración en el efluente a descargar	
		Columna 1 Dentro zona protección Ambiental Litoral(*)	Columna 2 Fuera de zona protección Ambiental Litoral
Aceites y grasas (A y G)	(mg/L)	10	200
Sólidos suspendidos totales (SST)	(mg/L)	40	350
pH		6-9	6-9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	(mg/L)	50	500
Demanda química de oxígeno	(mg/L)	60	600
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10 000	—

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

Fuente: Dirección General de Calidad Ambiental, 2014

• Sanciones

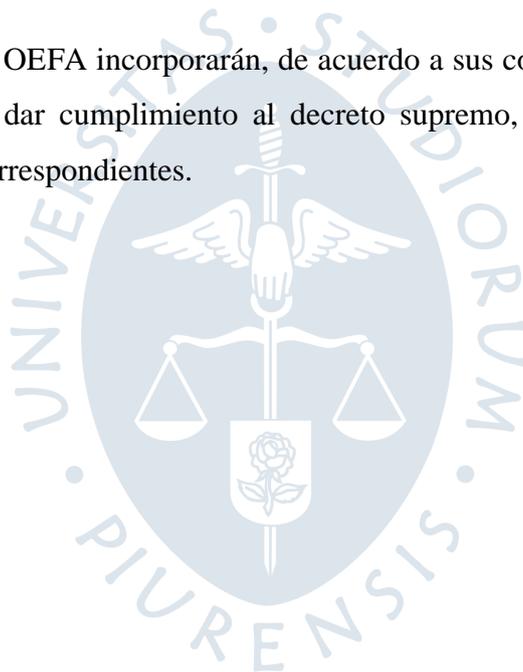
La persona responsable de la actividad será pasible de sanción si incumple con las disposiciones establecidas en la presente norma, de conformidad con lo dispuesto en la Ley General de Pesca – Decreta Ley N° 25977 y la tipificación de infracciones y Escala de Sanciones relacionada con los instrumentos de gestión

ambiental y el desarrollo de actividades en zonas prohibidas, establecidos por OEFA mediante resolución de consejo Directivo N° 049-2013-OEFA/CD.

PRODUCE y OEFA incorporarán, de acuerdo a sus competencias, los tipos de infracciones para dar cumplimiento al presente Decreto Supremo, así como las sanciones administrativas correspondientes.

Si en el ejercicio de su función de supervisión, fiscalización y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar a la Autoridad competente o al ente fiscalizador, adjuntando, los respectivos medios probatorios.

PRODUCE y OEFA incorporarán, de acuerdo a sus competencias, los tipos de infracciones para dar cumplimiento al decreto supremo, así como las sanciones administrativas correspondientes.



Capítulo 2

Tratamiento de las aguas residuales

En el presente capítulo se detallan conceptos básicos referentes a las aguas residuales; así como los parámetros, y tecnologías para el tratamiento de éstas. Al mismo tiempo se especifica, la tecnología que se empleará en el tratamiento de aguas residuales, y el porqué de la elección, puntualizando sus ventajas y desventajas; etapas y factores que influyen en el proceso.

1. Definición de aguas residuales en general

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado; Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Rolim Mendonca, 2000).

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos – aguas residuales- es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez ha sido contaminada, durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Sin embargo, desde el punto de vista de las fuentes de generación, el agua residual se puede definir como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. Si se permite la acumulación y estancamiento de agua residual, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho cabe añadir, la presencia en el agua residual bruta, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales. También suele contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas, y puede incluir también compuestos tóxicos. Es por todo ello que la evacuación inmediata

y sin molestias del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es no sólo deseable sino también necesaria en toda sociedad industrializada (Metcalf&Eddy, 1998).

2. Características resaltantes de las aguas residuales en general

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

2.1. Características físicas. Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbidez (Metcalf&Eddy, 1998).

2.1.1. *Propiedades físicas*

- **Color:** Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica. El color de las aguas residuales es causado por los sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por los sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. El color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada.
- **Olor:** Agua residual en descomposición, residuos industriales. La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de un agua residual fresca es generalmente inofensivo, pero cuando se produce la degradación biológica de la materia bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales se liberan una gran cantidad de compuestos malolientes. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido).

Anteriormente para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad

del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegando a este punto, suele clasificarse el agua residual séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual (Metcalf&Eddy, 1998).

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento (Metcalf&Eddy, 1998).

- **Sólidos:** Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103 °C y 105 °C.

No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff (Figura 12)) en el transcurso de un período de 60 minutos (Metcalf&Eddy, 1998).

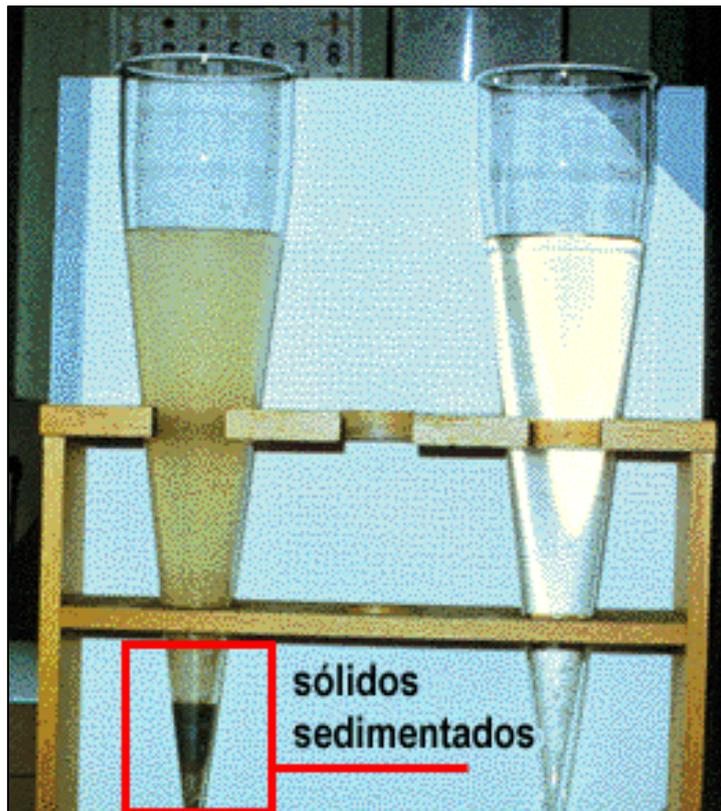


Figura 12. Cono de Imhoff.
Fuente: Cidta, s.f.

Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de mL/L, constituyen una medida aproximada de la calidad de fango que se obtendrá en la decantación del agua residual. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro (Figura 13). Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio (Whatman GF/C), con un pequeño nominal de poro de $1,2 \mu\text{m}$, aunque también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato. Es conveniente destacar que los resultados que se obtienen empleando ambos tipos de filtro pueden presentar algunas diferencias, achacables a la diferencia estructural de los filtros (Metcalf&Eddy, 1998).

A la temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, la descomposición de sales inorgánicas se limita al caso del carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y dióxido de carbono al alcanzar la temperatura de $350 \text{ }^\circ\text{C}$. De las sales inorgánicas, la más frecuente y preponderante es el carbonato de calcio, que se mantiene estable hasta una temperatura de $825 \text{ }^\circ\text{C}$. El análisis de sólidos volátiles se emplea

habitualmente para determinar la estabilidad biológica de fangos de aguas residuales (Metcalf&Eddy, 1998).

Los sólidos totales están formados por los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos. En síntesis, el residuo seco es un indicativo de los iones, minerales, metales y del contenido salino del agua.



Figura 13. Equipo de filtración al vacío
Fuente: Ali express, s.f.

- **Sólidos suspendidos totales (SST).** Constituyen uno de los límites que se fijan a los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los SS (Sólidos Suspendidos), se determinan como la cantidad de material retenido después de filtrar un determinado volumen de muestra, a través de crisoles “GOOCH” o filtros de fibra de vidrio que utilizan como medio filtrante. En la actualidad se prefiere utilizar filtros de membrana con un tamaño de poro de aproximadamente $1,2 \mu\text{m}$ (Ortega Mafla, Jose O. & Carbajal Ruiz, Armando E., 2014).

Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa

de sólidos suspendidos en el agua. Incluso las partículas de materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en su superficie (Ortega Mafla, Jose O. & Carbajal Ruiz, Armando E., 2014).

Este indicador de la calidad del agua, se define también como la porción de sólidos retenidos, luego de filtrar un determinado volumen de muestra de aguas residuales, por medio de crisoles o filtros de fibra de vidrio (medios filtrantes de porosidad estandarizada) que posteriormente se secan a una temperatura entre 103 °C - 105 °C. Forman parte de este grupo: pequeñas partículas de materia orgánica e inorgánica, microorganismos y plancton. Estos sólidos suspendidos totales se dividen en volátiles (SSV) y fijos (SSF) (Ortega Mafla, Jose O. & Carbajal Ruiz, Armando E., 2014):

- **Sólidos suspendidos fijos (SSF):** Son los residuos que quedan cuando el filtro de fibra de vidrio, que contiene los sólidos suspendidos totales, es sometido a una calcinación en mufla a una temperatura de 500 °C ± 50 °C.
- **Sólidos suspendidos volátiles (SSV):** Son aquellas partículas volatilizadas en el proceso de calcinación antes mencionado. Este parámetro es más utilizado en la ingeniería ambiental.
- **Temperatura:** Aguas residuales domésticas e industriales. Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final.
- **Turbidez:** Como una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material en suspensión coloidal. Prácticamente, constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. La medición de la turbidez se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbidez y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante, sí están razonablemente ligados la turbidez y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la

decantación secundaria en el proceso de fangos activados. Las aguas residuales crudas son; en general, turbias, debido al 0,1 % de material sólido orgánico o inorgánico, suspendido en el agua. En aguas residuales tratadas puede ser un factor importante de control de calidad.

2.2. Características químicas. El estudio de las características químicas de las aguas residuales abarca: la materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas (Rolim Mendonca, 2000).

2.2.1. *Constituyentes químicos*

2.2.1.1. Orgánicos. La contaminación orgánica es la más importante en magnitud y sus fuentes son de origen doméstico, industrial, agrícola y ganadero. Hay tres índices para medir la contaminación orgánica en forma global: La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), carbón orgánico total (COT).

– **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** La DBO es la cantidad de oxígeno requerida en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas de tiempo y temperatura. Es la principal prueba usada para la evaluación de la naturaleza del agua residual. La DBO se determina generalmente a 20 °C, después de incubación durante cinco días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, por cinco días, a 20 °C. En la determinación de la DBO se utilizan cinco días de incubación, porque es medida más fácilmente que la demanda bioquímica de oxígeno final (DBO_f), que representa el oxígeno necesario para la completa biooxidación del agua residual. Se conoce convencionalmente como DBO_5 expresado en mg/L de O_2 . El concepto de DBO es originario del Reino Unido según Mara (1976), la “Royal Commission” escogió cinco días para la estimación de la DBO a 20 °C porque los ríos británicos tienen un tiempo de escurrimiento hacia el mar abierto inferior a cinco días y la media de la temperatura en el verano es de 18,3 °C (Rolim Mendonca, 2000).

La demanda de oxígeno de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales:

- Materia orgánica carbonosa usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios.
- Nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico, que sirven de sustrato para bacterias específicas del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, que oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
- Compuestos reductores químicos, como sulfito (SO_3^{-2}), sulfuro (S^{-2}) y el ion ferroso (Fe^{+2}), que son oxidados por oxígeno disuelto.

Para aguas residuales domésticas, prácticamente toda la demanda de oxígeno se debe a la materia orgánica carbonosa. Para efluentes sujetos a tratamiento biológico, parte considerable de la demanda de oxígeno puede deberse a la nitrificación (conversión del nitrógeno amoniacal en nitrito y, en seguida, en nitrato).

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato de dicromo de potasio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$). Este proceso oxida casi todos los compuestos orgánicos en gas carbónico (CO_2) y agua (H_2O). La reacción es completa en más de 95 % de los casos. La ventaja de las mediciones de DQO es que los resultados se obtienen rápidamente (en cerca de tres horas), pero tienen la desventaja de que no ofrecen ninguna información de la proporción del agua residual que puede ser oxidada por las bacterias, ni de la velocidad del proceso de biooxidación. Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente por un agente oxidante fuerte, generalmente, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata (Rolim Mendonca, 2000).
- **Carbohidratos:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Grasas animales, aceites y grasa:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Las grasas animales y los aceites son el tercer componente, en importancia, de los alimentos. El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. El

contenido de grasa se determina por extracción de la muestra con triclorotrifluoroetano, debido a que la grasa es soluble en él. También es posible la extracción de otras sustancias, principalmente aceites minerales como el kerosene, aceites lubricantes y aceites de materiales bituminosos empleados en la construcción de carreteras. Las grasas animales y los aceites son compuestos de alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que se presentan en estado líquido a temperaturas normales se denominan aceites, mientras que los que se presentan en estado sólido reciben el nombre de grasas. Químicamente son muy parecidos, y están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones.

Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. No obstante, sufren el ataque de ácidos minerales, lo cual conduce a la formación de glicerina y ácidos grasos. En presencia de determinadas sustancias alcalinas, como el hidróxido de sodio, se libera la glicerina dando paso a la formación de sales alcalinas y ácidos grasos (Rolim Mendonca, 2000).

- **Pesticidas:** Residuos agrícolas.
- **Fenoles:** Vertidos industriales.
- **Proteínas:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Contaminantes prioritarios:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Agentes tensoactivos:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Compuestos orgánicos volátiles:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Materia orgánica:** Cerca del 75 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en

determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. La principal característica de estas sustancias es que arden y pueden ser quemadas (compuestos combustibles). Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40 % - 60 %), hidratos de carbono (25 % - 50 %), y grasas y aceites (10 %). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes. El agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja. Una manera de cuantificar la materia orgánica en efluentes es a través de parámetros que reportan el oxígeno necesario para oxidarse, porque la materia orgánica disuelta incrementa la demanda bioquímica de oxígeno. Estos parámetros son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT).

2.2.1.2. *Inorgánicos*

- **Alcalinidad:** Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea. La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amonio. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

La reducción de la alcalinidad por el CO_2 y la acidez de los ácidos orgánicos permiten el tratamiento de algunas aguas industriales con altos o bajos pH. Es necesaria una buena mezcla integral, como para los tóxicos, para conseguir un pH aceptable por efecto de la dilución. En las aguas residuales urbanas, el pH suele variar desde 6,5 a 8,0. Generalmente no se presentan problemas respecto a la eliminación de la contaminación orgánica (Ronzano E., 2015).

- **Cloruros:** Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea. Son comunes en aguas residuales pues la contribución diaria por persona es de 6 a 9 gramos. Concentraciones altas pueden causar problemas de calidad de agua para riego (efluente tratado) y de sabor en agua para reúso. En general, los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales no remueven cloruros. En aguas residuales domésticas crudas la concentración de cloruros oscila entre 30 – 200 mg/L. Los cloruros interfieren en el ensayo de DQO y su determinación también sirve para el control de contaminación marina y de la tasa de bombeo en acuíferos costeros. Los cloruros en concentraciones mayores a 15000 mg/L son considerados tóxicos para el tratamiento biológico convencional.
- **Metales pesados:** Vertidos industriales.
- **Nitrógeno:** Los elementos como el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico. No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Debido que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea suficiente; será preciso añadirlo para hacer del agua residual, agua tratable. Existen formas del nitrógeno, sin embargo, el contenido total está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. El contenido en nitrógeno orgánico se determina con el método Kjeldahl. Se hierve la muestra acuosa con el objeto de eliminar el amoníaco, para dar paso al proceso de digestión en el que el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. El nitrógeno Kjeldahl total se determina del mismo modo que el nitrógeno orgánico, con la diferencia de que no se elimina el amoníaco presente antes del proceso de digestión. Por lo tanto, el nitrógeno Kjeldahl total incluye ambas formas de nitrógeno, el orgánico y el amoniacal. La presencia del nitrógeno en la naturaleza, en el agua residual creciente, se halla primariamente combinado en forma de materia proteínica y urea, aunque su paso a la forma amoniacal se produce enseguida. La edad de un agua

residual puede medirse en función de la proporción de amoníaco presente. En medio aerobio, la acción de las bacterias puede oxidar el nitrógeno amoniacal a nitratos y nitritos. La preponderancia de nitrógeno en forma de nitratos en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. No obstante, los animales pueden emplear los nitratos para sintetizar proteínas animales. La muerte y descomposición de proteínas vegetales y animales vuelve a generar más amoníaco. Por lo tanto, si la presencia de nitratos puede ser aprovechada por algas y otras plantas para la síntesis de proteínas, puede ser necesario adoptar medidas para la reducción del nitrógeno presente para prevenir la proliferación de estas plantas (Metcalf&Eddy, 1998).

- **pH:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Medida de la concentración del ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno.
- **Fósforo:** Es la concentración de todas las formas presentes del fósforo; ya sean orgánicas, inorgánicas, disueltas y/o en formas de partículas en una muestra de agua residual. El fósforo orgánico procede de la descomposición de la materia orgánica de aguas residuales domésticas, aguas residuales agroindustriales, y de industrias alimenticias. El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales, casi exclusivamente en la forma de fosfatos. Además, los fosfatos provienen de efluentes de productos de fertilizantes, limpieza, procesos biológicos, etc.

Siendo el fósforo también esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforos que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales y a través de escorrentías naturales. La descarga de fosfatos en las aguas, es un estimulante del crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas. El exceso de su concentración en el agua provoca lo que se llama eutrofización. Este fenómeno consiste en crecimiento desmedido de la biota vegetal, debido a un enriquecimiento masivo de nutrientes o elementos inorgánicos, de los ecosistemas marinos: ríos, mares, lagos, etc. (descargas de vertimientos fosfatados) (Metcalf&Eddy, 1998).

El procedimiento para hallar el valor de este parámetro se realiza por la transformación de todas las formas de fósforo contenidas y la detección del ortofosfato en solución por cualquier método cuantitativo (análisis químico).

En las aguas residuales domésticas, industriales y comerciales, aguas de escorrentía. El fósforo se puede encontrar como fósforo orgánico, fósforo inorgánico (ortofosfatos), disuelto o en suspensión. El fósforo disuelto puede provenir de las rocas o del lavado del suelo en cuyo caso indica contaminación por estiércol o pozos negros. Como el fósforo es un factor limitante en el crecimiento de algas o fitoplancton, su presencia favorece la eutrofización y trae como consecuencia el aumento de materia orgánica, bacterias heterótrofas y finalmente disminución del oxígeno disuelto (Metcalf&Eddy, 1998).

- **Contaminantes prioritarios:** Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
- **Azufre:** Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.

2.2.1.3. Gases

- **Sulfuro de hidrógeno:** Descomposición de residuos domésticos.
- **Metano:** Descomposición de residuos domésticos.
- **Oxígeno:** Agua de suministro; infiltración de agua superficial.

2.2.2. Características biológicas. Es importante para este punto estar familiarizado con los siguientes temas: principales grupos de microorganismos, presentes, tanto en aguas superficiales como residuales; así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; organismos patógenos presentes en las aguas residuales; organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

- Constituyentes biológicos:
 - **Animales:** Cursos de agua y plantas de tratamiento.
 - **Plantas:** Cursos de agua y plantas de tratamiento.
 - **Protistas:**

- **Eubacterias:** Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
- **Arqueobacterias:** Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
- **Virus: Aguas residuales domésticas.**
- **Coliformes totales:** Las bacterias del grupo coliforme se utilizan desde el inicio del siglo XX como indicadores de contaminación fecal. Fueron definidas siempre como bastoncillos gramnegativos (adquieren la coloración rosa después de coloreados por el Gram), no formadoras de esporas, que pueden crecer en presencia de sales biliares o de otros agentes tensoactivos y que fermenta la lactosa a 37 °C, con producción de ácido (ácidos orgánicos débiles y aldehídos) y gas en 24 horas. Entre otras propiedades, debe destacarse la formación de la enzima β -galactosidasa, que es propia de todos los coliformes. En las heces, está en la concentración de $10^8 - 10^{10}$ microorganismos por gramo.

Los coliformes totales son clasificados como bacilos gramnegativos aerobios y anaerobios facultativos no esporulados que fermenta la lactosa con producción de ácido y gas después de incubación durante 24 – 48 horas a 37 °C. Esta familia de bacterias se halla principalmente en el tracto intestinal de los seres humanos y de los animales de sangre caliente (homeotermos), siendo expulsados a través de la materia fecal. También se encuentran en las plantas. Sirven como indicadores de contaminación de las aguas residuales o cualquier clase de desechos, encontrándolas en las capas superficiales de los efluentes o en los sedimentos del fondo. Es necesario saber que no todos los coliformes son fecales, por ello, se dividió en dos grupos diferentes para su uso como índices de contaminación: coliformes totales, que abarcan casi toda la familia y los coliformes fecales, aquellos que son de origen intestinal. La presencia de coliformes totales debe interpretarse, de acuerdo con el tipo de agua: deben estar ausentes en 85 % de las muestras de aguas potable tratadas. En caso exista presencia, su número no puede ser superior a 2 – 3 coliformes. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el

tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias (Rolim Mendonca, 2000).

- **Coliformes fecales o termotolerantes:** Los coliformes fecales constituyen un subgrupo de los coliformes totales, y se diferencian de los anteriores por ser tolerantes a temperaturas más altas, creciendo a 44,5 °C. Se denominan termotolerantes por su habilidad de soportar temperaturas más elevadas. Por otro lado, se sabe que muchos coliformes, denominados fecales antiguamente, son termotolerantes y se encuentran en el medio ambiente (Rolim Mendonca, 2000).

El subgrupo está formado principalmente por *E.coli* y, con menor representatividad, por otras enterobacterias que forman el grupo de los coliformes: *Klebsiella*, *Citrobacter* y *Enterobacter* (estos dos últimos, en menores concentraciones). La termotolerancia estaría relacionada con la presencia de proteínas más resistentes al calor en la membrana celular y en el citoplasma, que fueron sintetizadas por las coliformes del intestino de animales homeotérmicos. Éstas les permiten estar mejor adaptados a las temperaturas con las de las aguas superficiales y con las aguas residuales (Rolim Mendonca, 2000).

3. Tipos de aguas residuales

Por lo general las aguas residuales provienen de fuentes domésticas e industriales.

3.1. Aguas residuales domésticas. Son aquellas aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Tienen origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente. La cantidad de aguas residuales domiciliarias (sanitarias) por lo común se determina a partir del uso del agua y se conoce que sólo el 70 % al 90 % del agua suministrada llega a las alcantarillas (Rolim Mendonca, 2000).

3.2. Aguas residuales industriales. Son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria. Resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (Rolim Mendonca, 2000).

La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe asumirse en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y como parte del proceso de producción.

3.3. Aguas residuales del sector pesca. El agua residual producida por la industria alimentaria pesquera en especial el agua de cola es la principal fuente de contaminación sobre los cuerpos de agua en donde estas industrias se han establecido. Debido a lo anterior en la actualidad existen varios procesos para su tratamiento, los cuales abarcan métodos físicos, químicos y biológicos. (García Sifuentes, O. et al, 2009)

Actualmente algunos de estos métodos se aplican en el tratamiento de las aguas de cola como en la recuperación de sólidos de la misma, los cuales pueden ser reincorporados a la harina de pescado, o bien se pueden extraer compuestos bioactivos de ellos. Una de las consecuencias de la instalación de plantas industriales, ha sido la contaminación de bahías, debido a la descarga de sus desechos (agua de cola, agua de descarga y desechos) sobre las aguas marinas. El entorno de la industria se convierte en un ecosistema particular, por la adición de residuos orgánicos, como son la sanguaza, agua de cola y grasas, que generan la formación de sedimentos negruzcos con olores sulfurosos, lo cual genera alteraciones en el sedimento y en el agua de mar, causando un desequilibrio en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas propiedades, se ven afectadas por cambios en la salinidad, disminución de oxígeno (DBO), incremento de los nutrientes, alta carga de sulfuros y amonio en sedimentos e incremento de la temperatura, lo cual puede llevar a un proceso de eutrofización, evitando así la rápida oxigenación del fondo y posterior muerte de organismos vivos (García Sifuentes, O. et al, 2009).

Características. La primera medida al comenzar el examen de datos para la elaboración del diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales se relaciona con la determinación de la cualidad y cantidad de residuos que serán encaminados a la planta de tratamiento, para que sea posible un dimensionamiento más próximo a la

realidad, y no basado apenas en datos obtenidos de la bibliografía (Valladares A. , Rosa & Garay S. , Alina, 2016).

Para el sector pesca, las características principales son las de los contaminantes; que se producen en el transcurso de la transformación del producto.

- **Heterogeneidad de los residuos:** La heterogeneidad de los residuos industriales es uno de los principales problemas del tratamiento y de la evacuación de desechos. Desde este punto de vista, existen decisiones que deben ser tomadas en cuánto a segregación de desechos provenientes de procesos diferentes o la incorporación de todos los residuos a un ducto común. Esta última opción es la más frecuente en la industria pesquera, lo que produce serios problemas en el manejo de los residuos por sus altos volúmenes (Morales Aquino, sf).
- **Materia orgánica de fácil degradación:** En general, los residuos del proceso industrial están constituidos por materia orgánica de fácil degradación (con excepción de los aceites y grasas) y, por lo tanto, presentan una alta demanda de oxígeno. En estudios de cinética, en laboratorio, no se observa aparición de interferentes durante la oxidación de la materia orgánica y las curvas obtenidas se asemejan a una reacción de primer orden (Morales Aquino, sf).
- **Grasas:** Las materias grasas corresponden principalmente a aceites insaturados y ésteres de ácidos grasos. Son compuestos hidrofóbicos y una parte importante de ellos se saponifica, formando compuestos de baja solubilidad y de gran adherencia (Espinoza, 2016).
- **Otros contaminantes:** El lavado y sanitización de la planta, especialmente, en procesadoras de productos hidrobiológicos, debe ser realizado diariamente, antes, durante y después del proceso. En el desarrollo de este proceso se utilizan detergentes, hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio y otros compuestos que se evacúan por los efluentes ordinarios (Espinoza, 2016).

3.3.1. *Problemas con el efluente y carga orgánica en la empresa Congelados R.*

Existe una ausencia, con la relación entre el sector pesquero y el medio ambiente; donde generalmente, se prioriza los ingresos monetarios, y se deja de lado el cuidado ambiental. En el sector pesquero, el agua es el principal recurso para desarrollar correctamente los procesos de transformación, sin embargo, la falta de gestión de los

efluentes, puede originar una serie de problemas ambientales, afectando principalmente el mar.

Cada proceso desarrollado en la empresa exige el uso de agua, pero los que exigen más cantidad de agua son, el proceso de lavado y tratamiento térmico (pre-cocido, cocido), puesto que en este punto para algunos productos se exige que los filetes laminados pasen por agua a temperatura cercana a la ebullición, por encima de los 86 °C en tiempos especificados por el cliente. Cabe mencionar que las aguas obtenidas de los procesos son una mezcla de sanguaza, residuos de pota u otros recursos hidrobiológicos; por ello existen rejillas en las canaletas que atrapan los residuos sólidos y las partes de pota de las operaciones como: fileteo, desaletado-despielado, eviscerado, limpieza. En algunos casos, se mezclan las aguas residuales industriales, con aguas residuales domésticas; generando contaminación en el efluente final, sin embargo, este no es el caso de Congelados R.

Congelados R, cuenta con un sistema DAF (Sistema de flotación por aire disuelto), produciendo lodos constantemente (Figura 14); éstos no tienen un posterior tratamiento, además inciden en costos adicionales, para el traslado de los lodos a otra zona, se opta en cierto punto, por los botaderos municipales; las aguas residuales después de pasar por el sistema DAF, son derivadas en cisternas y llevadas a zonas en las afueras de la ciudad, para verterlas directamente, originando quemas en sembríos al no tener un post tratamiento, por ello se prefiere verter en zonas aledañas desiertas. Para sus aguas residuales domésticas, existe un tratamiento independiente del sistema DAF, más sencillo, consta de tres digestores y un filtro carbón; finalmente las aguas residuales domésticas tratadas son derivadas al sistema de alcantarillado.

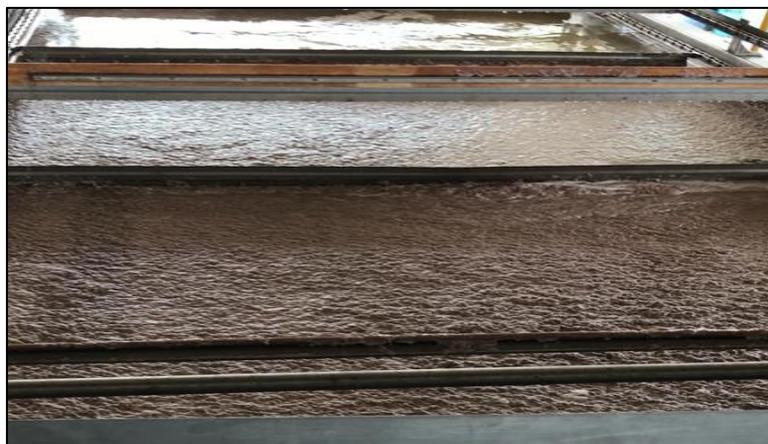


Figura 14. Sistema DAF, lodos obtenidos.
Fuente: Congelados R, 2018.

El sistema DAF empleado para el tratamiento de aguas residuales, no logra disminuir la carga orgánica; porque los lodos obtenidos no se están tratando y no existe un tiempo de retención hidráulica prolongado, porque las aguas solamente atraviesan el sistema y se retiran los lodos constantemente; ignorando así los beneficios que se pueden obtener y en el peor de los casos, no se logra conseguir agua apta para regadíos.

3.4. Aguas residuales urbanas. Las aguas residuales presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc. Éstas son el tipo de aguas residuales que más contacto directo con los seres humanos tienen. Es importante tomar en cuenta que las aguas residuales urbanas son fáciles de tratar para un reúso posterior.

4. Alternativas de tecnologías para tratamientos de aguas residuales

El tipo de tecnología de una PTAR depende de la calidad del efluente que se requiera alcanzar para ser vertido a un cuerpo natural o reusado sin afectar la salud de las personas y cumplir con la normatividad ambiental vigente.

Normalmente una PTAR contiene unas determinadas etapas de tratamiento (Figura 15). Cada etapa puede incluir una variedad de diferentes tecnologías, de acuerdo con la calidad del efluente requerido (SUNASS, Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, 2008).

- **Tratamiento preliminar:** El tratamiento preliminar incorpora procesos de acondicionamiento de las aguas residuales, como la remoción de arena, elementos gruesos, flotantes, sedimentables, aceites y grasas. Las unidades utilizadas en el tratamiento preliminar son: reja, tamiz, desarenador y desengrasador (SUNASS, Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, 2008).

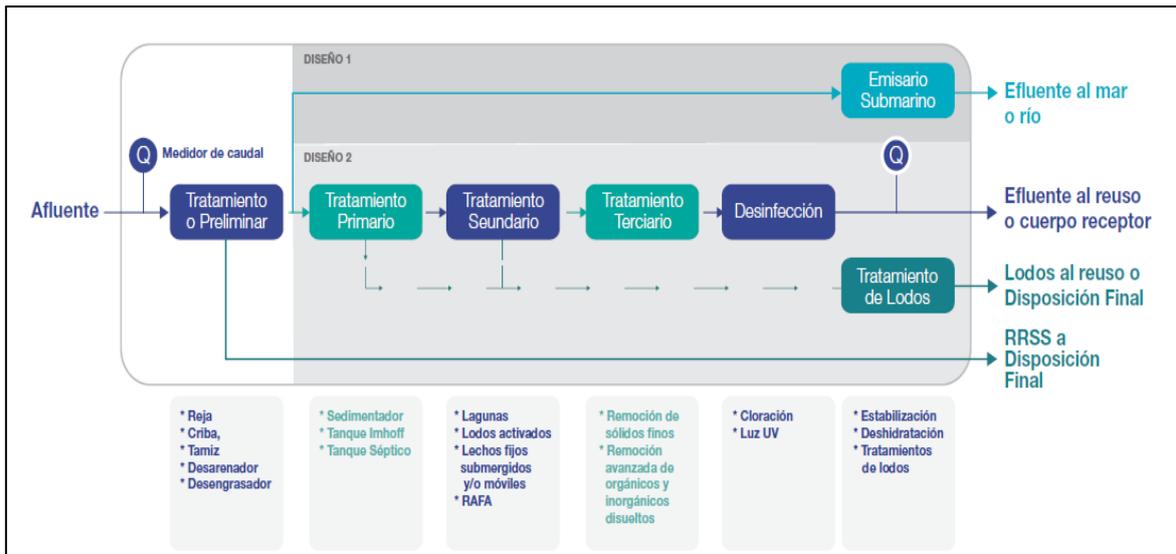


Figura 15. Esquema de una PTAR, normalmente.

Fuente: SUNASS, Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, 2008

Rejas (Remoción de sólidos groseros); los dispositivos de remoción de sólidos groseros (rejas) están constituidos por barras paralelas de fierro o acero, posicionadas transversalmente en el canal de llegada de las aguas residuales a la planta de tratamiento, pudiendo ubicarse perpendiculares o inclinadas, dependiendo del dispositivo de limpieza del material retenido. Las rejas deben permitir un flujo de las aguas sin producir grandes pérdidas de carga.

Desarenador; tiene por objetivo la remoción de la arena a través del principio de la sedimentación, sin que haya remoción conjunta de sólidos orgánicos. Se tienen dispositivos de remoción manuales o mecánicos (bandejas de acero removidas por carretilla o mediante bombeo).

Tipos de desarenador; tipo canal con velocidad constante controlada por una canaleta Parshall; sección cuadrada en planta, con remoción mecanizada de lodo; desarenador aireado.

En relación al concepto descrito previamente al tratamiento preliminar, la empresa pesquera Congelados R, emplea generalmente un filtro estático (Figura 16) para separar las partículas sólidas pequeñas, luego de haber pasado por canaletas que ya atrapan partículas sólidas en tamaño considerable.



Figura 16. Filtro estático
Fuente: Congelados R, 2018.

En la Tabla 6, se muestran los objetivos obtenidos de las unidades utilizadas para el proceso de pre tratamiento.

Tabla 6. Objetivo de los procesos de pre-tratamiento.

Proceso	Objetivo
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre-aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico.

Fuente: SUNASS, Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, 2008.

- **Tratamiento primario;** este tratamiento remueve considerablemente la materia en suspensión, sin incluir la materia coloidal o disuelta. En el tratamiento primario se produce lodo orgánico que requiere un tratamiento (estabilización) adicional. Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25 % y el 40 % de la DBO y entre el 50 % y el 65 % de los sólidos suspendidos.

Entre los tipos de tratamiento primario tenemos:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.

- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Oxidación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

- **Tratamiento secundario;** este tratamiento remueve la materia orgánica biodegradable (carga orgánica) y los sólidos en suspensión, lo que es necesario para cumplir los LMP de la DBO₅, DQO y sólidos suspendidos. La tecnología de tratamiento secundario que más se aplica es del tipo lagunas: anaerobias, facultativas y aireadas, en forma individual o en combinación. Además de lodos activados, lechos fijos sumergidos, filtros percoladores y reactores anaerobios tipo RAFA.

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante el tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aireadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85 % al 95 %.

- **Tratamiento terciario,** este tratamiento consiste en la implementación de procesos fisicoquímicos o biológicos para alcanzar un grado de tratamiento superior (Tabla 7) al tratamiento secundario en la remoción de sólidos en suspensión y huevos de helmintos; en la remoción de compuestos orgánicos complejos y compuestos inorgánicos disueltos. Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. Los procesos de

tratamientos de esta categoría están conformados por procesos físicos, químicos y biológicos (Tabla 7).

Tabla 7. Procesos de tratamiento avanzado y eficiencia remocional.

Proceso	Eficiencia remocional							
	SS	DBO	DQO	NH ₃	Norg	NO ₃	PO ₄	STD
Arrastre de amoniaco				85-98				
Filtración								
Múltiple	80-90	50-70	40-60		20-40			
Diatomea	95-99							
Microfiltro	50-80	40-70	30-60		20-40			
Destilación	99	98-99	95-98		90-98	99	99	95-99
Flotación	60-80				20-30			
Congelación	95-98	95-99	90-99		90-99	99	99	95-99
Separación fase gas				50-70				
Aplicación en suelo	95-98	90-98	80-90	60-80	80-95	5-15	60-90	
Ósmosis inversa	95-98	95-99	90-95	95-99	95-99	95-99	95-99	95-99
Porción		50	40				99	10
Carbón activado	80-90	70-90	60-75		50-90			
Precipitación química	60-80	75-90	60-70	5-15	60-50		90-95	20
Precip. química en lodo activado	80-95	90-95	85-90	30-40	30-40	30-40	30-40	10
Intercambio iónico		40-60	30-50	85-98	80-95	80-90	85-98	
Electroquímico	80-90	50-60	40-50	80-85	80-85		80-85	
Electrodialisis				30-50		30-50	30-50	40
Oxidación química		80-90	65-70	50-80				
Reducción						NO ₃ - NH ₃		
Asimilación bacteriana	80-5	75-95	60-80	30-40	30-40	30-40	10-20	
Desnitrificación						60-95		
Lagunas		50-75	40-60	50-90	50-90	50-90	50	
Nitrificación-desnitrificación						60-95		

Fuente: Márquez Vázquez, 2011.

- **Tratamiento de lodos;** en los procesos de tratamiento de aguas residuales se produce la generación de lodos. La cantidad y el intervalo de purga de estos lodos dependen de la carga de la PTAR y de la tecnología aplicada. Los lodos que tienen concentraciones elevadas de sustancias volátiles requieren ser estabilizados por separado (estabilización aeróbica, anaeróbica o química).

En otros casos, como por ejemplo en PTAR de lagunas de estabilización y lodos activados con aireación extendida, el lodo ya sale estabilizado del proceso de tratamiento de aguas residuales. Para facilitar el manejo de lodo generalmente se aplica alguna forma de deshidratación del lodo antes de su disposición final. El tratamiento de las aguas residuales produce una serie de subproductos como son los residuos de las rejillas, desarenadores y sedimentadores. Este caso específico se refiere a los productos retenidos en los sedimentadores tanto primario como secundario y que vienen a conformar la parte más importante de los subproductos.

Los lodos antes de su disposición final deben ser acondicionados a causa del alto contenido de materia orgánica putrescible y que de ninguna manera pueden ser dispuestos libremente. El lodo procedente de las plantas de tratamiento, varía según el tipo de planta. En líneas generales se puede indicar que los lodos provienen de la sedimentación primaria y representa entre el 0,22 % y el 0,93 % del volumen de agua residual y el contenido de sólidos volátiles es del 63 % al 83 %. En el caso de los lodos provenientes de la sedimentación secundaria, varían en función de los procesos.

Los lodos resultantes de los filtros percoladores muestran un rendimiento de 0,08 % a 0,10 % del caudal tratado y el contenido de sólidos volátiles es del 60 % en promedio. Los lodos activados comúnmente presentan rendimiento del 1,2 % al 1,5 % del volumen de agua tratado con un contenido de humedad de 97 % al 99 %. Los procesos típicos de manejo de lodos son: concentración (espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación) (Tabla 8). De éstos, la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda son los más empleados para la reducción de la materia orgánica, y la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad.

El tratamiento de la materia orgánica persigue: Reducción apreciable del contenido de la materia orgánica volátil; aumento del contenido de sólidos fijos; reducción del contenido de humedad; mayor posibilidad de drenaje del agua contenida en los lodos; producción de gases, principalmente metanos.

Tabla 8. Características de los lodos procedentes de diferentes procesos de tratamiento.

Tipo de lodo	Aspecto	Olor	Secado	Humedad (%)
Primario	Pardo y pegajoso	Fuerte	Difícil	95,0 – 97,5
Secundario				
Filtro biológico	Ceniciento floculento	Medio	Medio	92,0 – 95,0
Lodo activado	Marrón floculento	Suave	Difícil	98,5 – 99,5
Precipitación química	Ceniciento gelatinoso	Fuerte	Difícil	93,0 – 95,0
Lodo séptico	Negro	Fuerte		
Lodo digerido	Negro homogéneo granular	Suave	Fácil	S.P. 87 F.B. 90 L.A. 93 P.Q. 90

S.P. Sedimentador primario, F.B. Filtro biológico, L.A. Lodo activado, P.Q. Precipitación química
Fuente: Márquez Vázquez, 2011.

- **Desinfección;** la desinfección tiene por objetivo la remoción de los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales y el cumplimiento de los LMP de coliformes termotolerantes. La desinfección puede ser química o física como la luz ultravioleta. Es decir, suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro. Otra forma de remoción de coliformes termotolerantes es por muerte natural, que se obtiene mediante un período de retención del agua en la PTAR. Una PTAR de tecnología de lagunas facultativas de tipo flujo disperso (que es el más común en el país) requiere por lo menos 20 días de retención. La instalación de lagunas de pulimento después del tratamiento secundario ayuda a obtener el tiempo necesario para la muerte natural de coliformes termotolerantes. Se emplea principalmente para reducir el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las lagunas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades.

En la Tabla 9, se muestra; la eficiencia de los procesos de tratamiento para aguas residuales.

Tabla 9. Eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales

Proceso	Dbo	Dqo	Sólidos suspendidos
Tratamiento preliminar			
Cribado fino	5-10	5-10	2-20
Cloración crudo o sedimentado	15-30	--	--
Tratamiento primario			
Sedimentación simple	25-40	20-35	40-70
Precipitación química	50-85	40-70	70-90
Tratamiento secundario			
Filtros percoladores	50-95	50-80	50-92
Lodos activados	55-95	50-80	55-95
Lagunas			
Primarias	75-85	60-70	85-95
Secundarias	90-95	80-70	85-95
Terciaria	85-95	60-70	85-95
Tratamiento avanzado			
Cloración aguas tratadas	-	-	-

Fuente: Márquez Vázquez, 2011.

4.1. Tecnologías para tratamientos anaeróbicos. La utilización de reactores anaeróbicos para tratamientos de aguas residuales, en la mayoría de países latinoamericanos ha crecido desde 1982, orientándose principalmente al tratamiento de aguas residuales agroindustriales. Entre los procesos anaeróbicos avanzados, surge el Reactor UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket) o RAFA (Reactor anaerobio de flujo ascendente), constituyéndose como una tecnología de tratamiento en la que el agua atraviesa un manto de lodos a baja velocidad ascensional.

Destacando así la digestión anaeróbica como un proceso biológico y natural que consiste en la descomposición microbiana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, a través de una serie de reacciones bioquímicas, produciendo una mezcla de gases denominada biogás y una suspensión acuosa que contiene componentes muy complejos de descomponer.

De acuerdo a las características presentes en el agua residual de la empresa Congelados R; y una previa evaluación de las posibles tecnologías de tratamiento para

sus aguas residuales, para el posterior estudio; se toma como opción principal el sistema anaeróbico, RAFA.

4.1.1. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA). Los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) (Figura 17), también conocidos como UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket), se caracterizan por realizar en una sola unidad las operaciones de decantación primaria, reactor biológico y digestión anaerobia del lodo.

Fue desarrollado en la década del setenta por Gatzke Lettinga y colaboradores en la Universidad Agrícola de Wageningen – Holanda. Este reactor ha sobresalido debido a la alta cantidad del efluente producido y al relativo bajo costo del tratamiento de aguas residuales de baja y mediana carga orgánica; ha sido ampliamente aplicado también al tratamiento de aguas residuales complejas con alta carga orgánica (Lettinga G. et al, 1999).

Los resultados obtenidos de las experiencias a escala piloto y escala real efectuadas en varias partes del mundo, proporcionaron avances importantes en el desarrollo del proceso y tecnología del tratamiento anaerobio. El éxito de estas experiencias, junto a los beneficios presentados por el proceso como la ausencia de equipos de control sofisticados, baja producción de residuos del proceso (lodos), menor consumo energético y producción de metano (combustible de alto poder calorífico), han establecido al reactor UASB como una opción de tratamiento para una amplia variedad de residuos líquidos.

Los elevados costos de operación y funcionamiento intrínsecos de los tratamientos convencionales, la implementación de sistemas de tratamiento de agua residual es un problema significativo en los países en vías de desarrollo. A partir de ello surge la necesidad de la adaptación de tecnología de tratamientos modernos capaces de remover los principales contaminantes de las aguas residuales, con bajos costos de construcción, económicamente factibles y autosostenibles, evitando los riesgos sanitarios de utilizar el agua residual cruda indiscriminadamente, por ejemplo, en riego directo de cultivos. Los sistemas de tratamiento anaerobios se constituyen en una alternativa atractiva, siendo sus costos de implementación bajos y su eficiencia con respecto a la remoción de contaminantes elevada; por esto resulta conveniente adoptar esta tecnología para el beneficio de países en desarrollo como el nuestro.

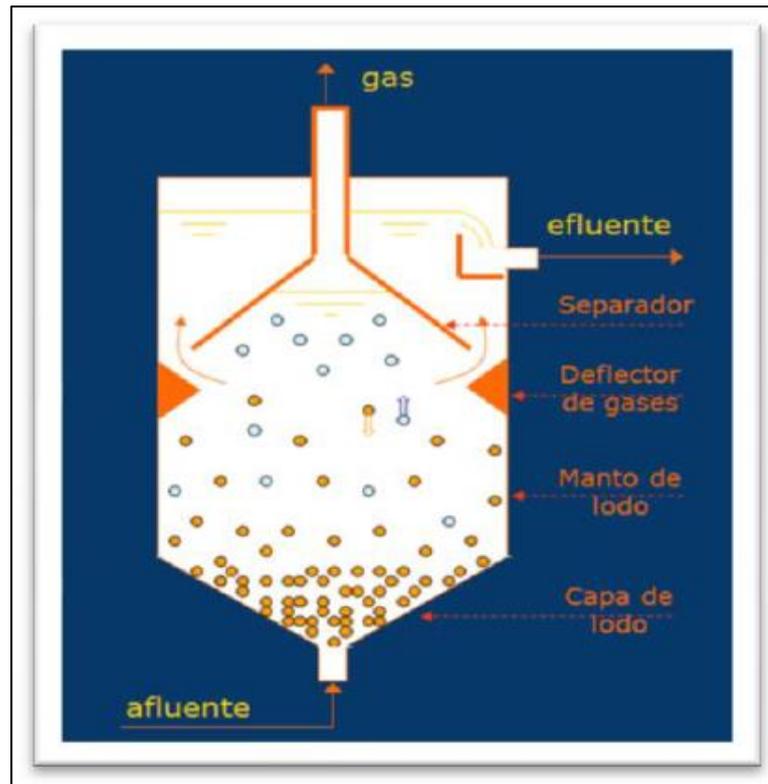


Figura 17. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)
Fuente: Lettinga, 1991

El manto de lodos está constituido por biogránulos o flóculos. Las condiciones que permiten la formación de estos gránulos de microorganismos son fundamentales en este tipo de proceso, tanto en su tamaño como en la concentración de los mismos. El agua es distribuida uniformemente por la parte baja del reactor, dando así un flujo ascendente.

Existen diferentes sistemas de distribución en función del tipo de reactor. En general, estos sistemas se componen de una serie de tubos que bajan desde arriba hasta el fondo del reactor, dejando una distancia entre la boquilla de salida de los tubos y el fondo. El diseño del reactor tiene que conseguir mantener una zona de estabilización del lodo, zona baja del reactor, y otra de tratamiento del agua residual, denominada manto de lodos, zona intermedia del reactor. Los gases que se producen en condiciones anaerobias ayudan a mantener una agitación de este manto de lodos, pero el parámetro clave para este cometido es la velocidad ascensional. Es necesario establecer un tiempo de residencia suficiente para garantizar el tratamiento del agua. Este tiempo está influenciado por la temperatura y las variaciones hidráulicas, por lo que la velocidad ascensional deberá ajustarse a estas condiciones. Generalmente, el reactor dispone en la zona superior de un separador gas-sólido-líquido (separador trifásico), elemento fundamental para el buen funcionamiento de esta tecnología. Este separador tiene por

objetivos: mantener el fango dentro del reactor; realizar la decantación de los sólidos sedimentables, llevándolos al compartimiento de digestión situado en la zona inferior del reactor; y extraer los gases a través de una campana, con la ayuda de un deflector situado debajo del separador.

En comparación con otros sistemas anaerobios, los RAFA precisan menos tiempo de retención que las lagunas anaerobias (3 - 5 días), o los decantadores-digestores (12 - 24 horas), por tanto, ocupan menos espacio. Además, tienen mayores rendimientos que una fosa séptica con menor tiempo retención y en comparación con los filtros anaerobios presentan la ventaja de no tener relleno y, por tanto, no presentan problemas de colmatación. Inclusive permiten mayores cargas orgánicas, no precisan aporte de aireación y producen biogás, lo que se traduce en ahorro de espacio y energía. Además, la producción de lodo es bastante menor.

4.2. Tecnologías para tratamientos aeróbicos. Los procesos biológicos permiten eliminar de las aguas residuales las sustancias biodegradables disueltas (substrato). El substrato suministra la fuente de alimento a los microorganismos y se transforma en condiciones aerobias en biomasa, dióxido de carbono y agua.

Los microorganismos aerobios necesitan oxígeno para respirar. Además del substrato, generalmente también se tienen que eliminar de las aguas residuales los compuestos de nitrógeno como el amonio y los nitratos. Un grupo de microorganismos convierten primero el amonio en nitrato (nitrificación). Otro grupo de microorganismos reduce luego el nitrato a nitrógeno elemental (desnitrificación). El nitrógeno producido escapa entonces como gas a la atmósfera (Gunt, 2012).

Entre los tratamientos aeróbicos, se encuentran las lagunas de estabilización y lodos activados.

4.2.1. Lagunas de estabilización. En las lagunas de estabilización, la remoción de la materia orgánica (expresada como DBO_5) se realiza a través de procesos biológicos aerobios y anaerobios. Dependiendo del proceso predominante, las lagunas son aerobias (de maduración o de pulimento), anaerobias o facultativas (Rolim Mendonca, 2000).

En las lagunas anaerobias, la quiebra o biodegradación de la materia orgánica la realizan las bacterias acetogénicas y metanogénicas. Las primeras convierten los

compuestos orgánicos complejos de las aguas residuales en moléculas orgánicas, aldehídos y alcoholes; los lípidos (grasas y aceites), en glicerol y ácidos grasos que más adelante serán convertidos en alcoholes, aldehídos y ácidos; las proteínas son degradadas hasta aminoácidos y éstos son transformados en ácidos orgánicos más simples, mercaptanos y dióxido de carbono. Los productos de la degradación ácida son el ácido acético (en mayor proporción), los ácidos propiónico y butírico, además de metanol, entre otros. El ácido acético es el sustrato para la acción de las bacterias metanogénicas que lo convierten en metano y dióxido de carbono. Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a los cambios de pH, así como al oxígeno molecular, pues son microorganismos estrictamente anaerobios. El éxito de las lagunas anaerobias depende del equilibrio entre las poblaciones bacterianas (las formadoras de ácidos orgánicos y las formadoras de metano). Para lograrlo, la temperatura debe ser superior a 15 °C y el pH debe variar apenas entre 6,8 y 7,4 (Rolim Mendonca, 2000).

Las lagunas facultativas (Figura 18) son llamadas así porque tienen una capa aerobia superficial, una zona facultativa intermedia y una capa anaerobia en el fondo. En este tipo de laguna los procesos de oxidación bacteriana convierten el material orgánico en dióxido de carbono, amonio y fosfatos. Las bacterias predominantes responsables de los procesos oxidativos son *Pseudomonas* spp., *Flavobacterium* spp., y *Alcaligenes* spp. La existencia de nutrientes (NH_4^+ y PO_4^{3-}) proporciona un ambiente favorable para que se desarrollen las poblaciones de algas, y a través de la fotosíntesis generan gran cantidad de oxígeno disuelto. Este oxígeno está disponible para que las bacterias aerobias continúen con la oxidación de la materia orgánica. En las lagunas facultativas existe una relación mutualista entre las algas y las bacterias. Sin embargo, algunos géneros de algas son capaces de metabolizar directamente materia orgánica y, también, hacer fotosíntesis; este tipo de metabolismo restringido a algunos pocos microorganismos se denomina mixotrofia.

El oxígeno disuelto producido en las capas superiores de la laguna facultativa depende de la fotosíntesis y de la reaireación superficial a través de la interfase aire/agua, debido a la agitación mecánica de los vientos. La concentración de oxígeno disuelto varía con la actividad de las algas y está asociada con las condiciones climáticas locales. Concentraciones más elevadas se registran por la tarde, entre las 12 y 16 horas.

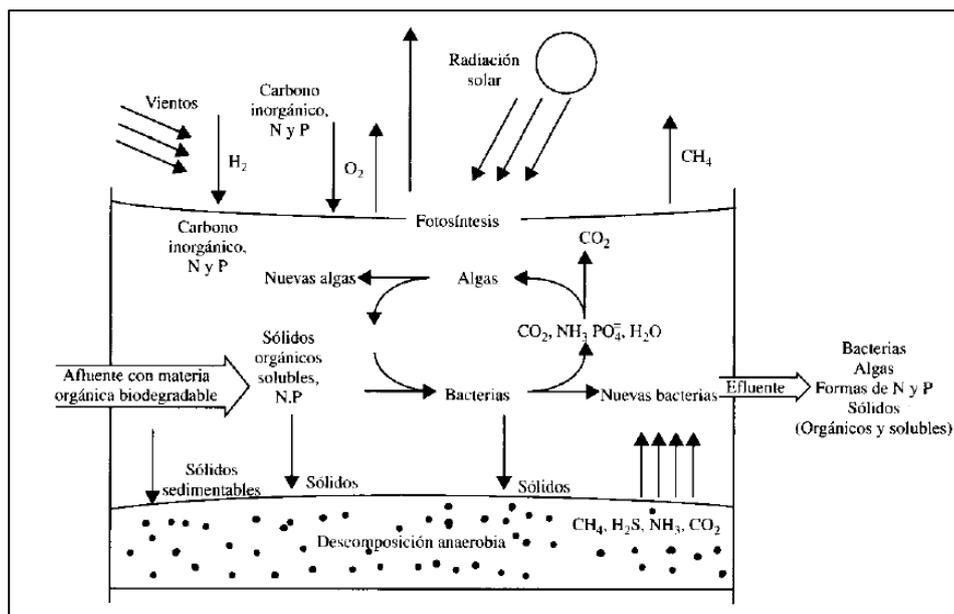


Figura 18. Esquema del funcionamiento de una laguna facultativa.
Fuente: Rolim Mendonca, 2000.

Las lagunas aerobias, de maduración o de pulimento son empleadas como el último paso de una serie de lagunas anaerobias-facultativa-aerobia o como lagunas de pulimento del efluente de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales (tratamiento terciario). La principal función es la destrucción de microorganismos patógenos (virus, bacterias, quistes de protozoos y huevos de helmintos intestinales).

4.2.2. Lodos activados. El proceso de lodos activados (Figura 19) es un proceso aerobio, dándose un crecimiento en suspensión (*flocs* biológicos); con una retención de biomasa (retorno de lodo a partir de los decantadores secundarios). Su nombre (lodos activados) proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio. Este método está provisto de un sistema de recirculación y eliminación de lodos. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa.

Para que la operación del proceso de lodos activados sea adecuada, los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación presentes en el efluente del reactor deben separarse inmediatamente en el sedimentador secundario. Cuando el lodo es liviano y blando, su sedimentación se torna difícil. El término que define este fenómeno se llama entumecimiento del lodo. Los flóculos del lodo entumecido pasan por los

vertederos y salen con el efluente del sedimentador secundario. Como la concentración del sustrato en el efluente es pequeña, no hay suficiente alimento para sostener el crecimiento de los microorganismos que forman el lodo. Los microorganismos entran en fase de respiración endógena, donde su energía se utiliza sólo para el mantenimiento celular. El oxígeno cedido para la respiración endógena produce en el efluente una DBO relativamente alta que es indeseable.

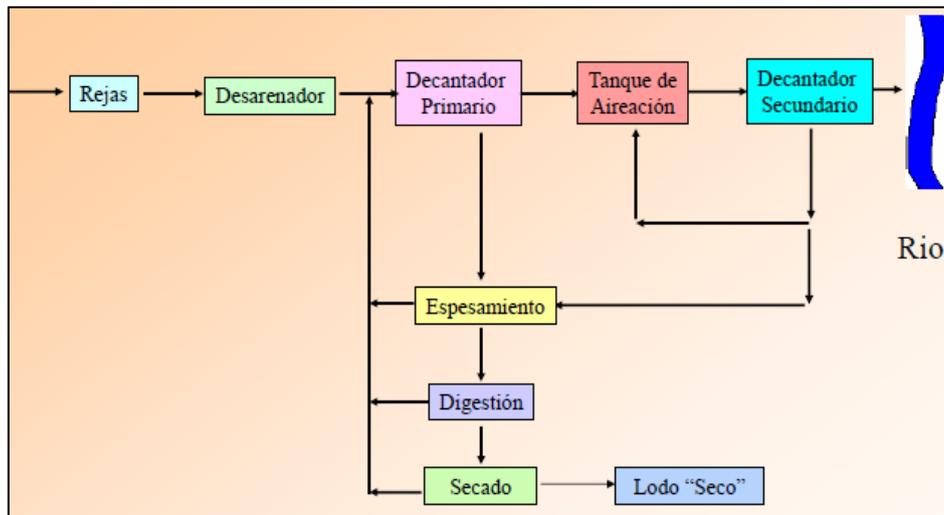


Figura 19. Proceso convencional de lodos activados
Fuente: Arteaga Nuñez, Francisco , 2016.

5. Tecnología seleccionada para tratamiento de aguas residuales

En Paíta, existe una variedad de empresas pesqueras; muchas de ellas carecen de conocimiento e información acerca del tratamiento de aguas residuales, proporcionando falsos conceptos acerca de los tratamientos empleados, en el peor de los casos algunas no tratan sus aguas, derivándolas directamente al mar de manera clandestina.

La empresa Congelados R cuenta actualmente con la tecnología DAF; sin embargo, se tiene una idea equivocada acerca del funcionamiento de ésta comparándola con la tecnología de lodos activados. En el Anexo A se incluyen fotografías de la situación actual de la empresa Congelados R.

Como consecuencia, al crear la falsa idea de un sistema de lodos activados, no logra cumplir con las características finales que debe presentar el agua residual al ser tratada de manera correcta. Por tanto, no es apta para el riego de cultivos. por la alta carga orgánica que aún posee.

Las aguas tratadas con este sistema (DAF) se estima una eficiencia del 30 %, a diferencia de la alternativa del uso de RAFA, seguido de lodos activados que eleva el porcentaje de eficiencia en la reducción de carga orgánica a un 95%, (según las fuentes de información consultadas). Nace así la propuesta de un sistema anaeróbico que comprende la tecnología RAFA, seguida de lodos activados.

Se considera necesario detallar la tecnología que esta implementada actualmente, de esta forma se describe la situación de la empresa en referencia a sus aguas residuales (Figura 20).



Figura 20. Sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Congelados R
Fuente: Congelados R, 2018.

Comúnmente el sistema DAF (Figura 21) es empleado en empresas pesqueras para el tratamiento de aguas residuales industriales, esta alternativa consiste en un sistema que se encarga de separar las partículas en suspensión mediante microburbujas de aire en una solución sobresaturada. Los sólidos se adhieren a las microburbujas en su recorrido ascendente flotando hacia el sistema de separación superior. Removiendo eficazmente el total de sólidos en suspensión (SST), los aceites y grasas (FOG), y otros contaminantes de las aguas residuales. Conceptualmente, el proceso de flotación por aire disuelto (DAF) es simple, pequeñas burbujas se adhieren a los contaminantes sólidos haciéndolos flotar y luego el lodo se recolecta de la superficie del agua (FRC system international, 2017).

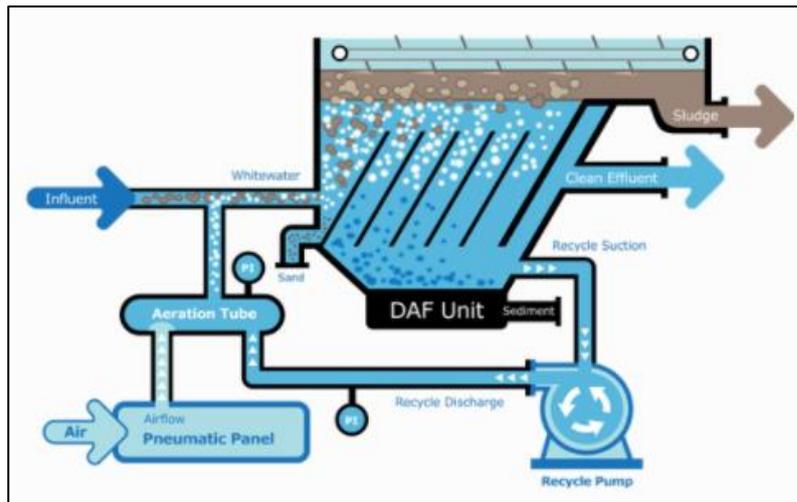


Figura 21. Sistema DAF
Fuente: FRC system international, 2017.

El agua residual entra al sistema DAF donde se inyecta una corriente de “agua blanca”, esta es agua clarificada que se vuelve a circular dentro del DAF y está sobresaturada con aire disuelto. A medida que estas dos mezclas se combinan, burbujas microscópicas se adhieren a las partículas sólidas y así se les da una capacidad de flotación suficiente (Figura 22) para ascender a la superficie del DAF.

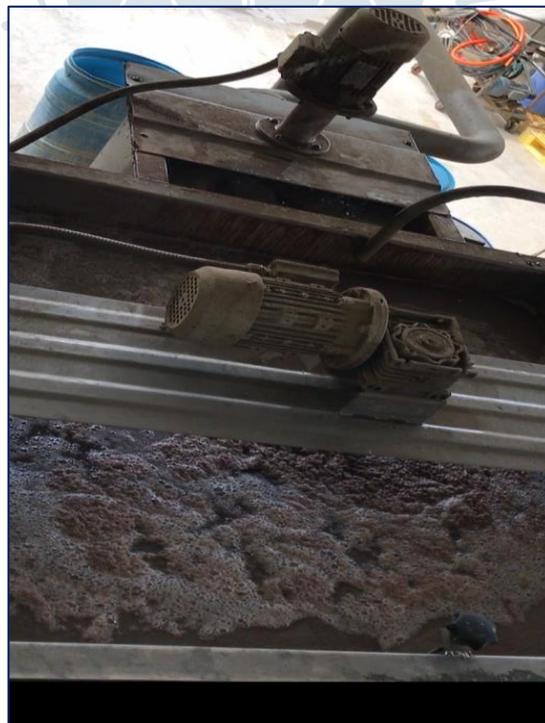


Figura 22. Partículas sólidas con capacidad de flotación.
Fuente: Congelados R, 2018.

A medida que los sólidos flotan se van acopiando, formando una capa de lodo sobre la superficie del DAF, un recolector conduce cuidadosamente el lodo hacia la tolva de descarga (Figura 23). Todos los sólidos que no floten, decantarán en el fondo del DAF en forma de V. Los sólidos decantados se concentran y se eliminan a través de una válvula de drenaje neumática controlada en forma automática.



Figura 23. Recolector de lodos.
Fuente: Congelados R, 2018.

El agua clarificada fluye fuera del tanque mediante un vertedero a cada lado de la unidad DAF (Figura 24). Parte de esta agua se utiliza para el sistema de recirculación mientras que el resto fluye fuera del sistema DAF.



Agua residual
obtenida al
final del
sistema DAF

Figura 24. Agua obtenida al final del sistema DAF.
Fuente: Congelados R, 2018.

En referencia a la información recopilada, se considera que esta tecnología comparada con la de lodos activados tiene un rendimiento más bajo, porque el tiempo de retención hidráulica para lodos activados es en días a diferencia del sistema actual (DAF) que posee un tiempo de retención hidráulica en horas. Por consiguiente, para un mejor tratamiento de aguas residuales industriales para el sector pesca, es necesario emplear una alternativa más completa, colocando al sistema de lodos activados como el más adecuado después del uso de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA).

5.1. Reactor anaerobio. El reactor de flujo ascendente (RAFA) (Figura 25), permite la transformación de un efluente con alta carga orgánica en un biogás y en un fertilizante estabilizado Sin embargo los elevados costos de operación y funcionamiento intrínsecos de los tratamientos convencionales, la implementación de sistemas de tratamiento de agua residual son problemas significativos en los países en vías de desarrollo. A partir de ello surge la necesidad de la adaptación de tecnología de tratamientos modernos capaces de remover los principales contaminantes de las aguas residuales, con bajos costos de construcción, económicamente factibles y autosostenibles, evitando los riesgos sanitarios de utilizar el agua residual cruda indiscriminadamente, por ejemplo, en riego directo de cultivos. Los sistemas de tratamiento anaerobios se constituyen en una alternativa atractiva, siendo sus costos de implementación bajos y su eficiencia con respecto a la remoción de contaminantes elevada; por esto se considera conveniente adoptar esta tecnología para el beneficio de países en desarrollo como el nuestro (Lettinga G. et al, 1999).

Según Lettinga y otros (1999), el tratamiento anaerobio es una tecnología relativamente nueva, que ofrece muchas posibilidades; entre ellas: lograr una protección efectiva del medio ambiente a bajo costo. Para países en desarrollo se hace accesible (importación no costosa de equipos). Para recuperar/preservar recursos y estimular la producción agrícola.

El manto de lodos está constituido por biogránulos o flóculos. Las condiciones que permiten la formación de estos gránulos de microorganismos son fundamentales en este tipo de proceso, tanto en su tamaño como en la concentración de los mismos. El agua es distribuida uniformemente por la parte baja del reactor, dando así un flujo ascendente. Existen diferentes sistemas de distribución en función del tipo de reactor. En general, estos sistemas se componen de una serie de tubos que bajan desde arriba hasta el fondo

del reactor; dejando una distancia entre la boquilla de salida de los tubos y el fondo. Normalmente, se dispone una salida por cada 4m^2 de área del fondo (Van Haandel-Lettinga, 2003).

El diseño del reactor tiene que conseguir mantener una zona de estabilización del lodo, zona baja del reactor; y otra de tratamiento del agua residual, denominada manto de lodos, zona intermedia del reactor. Los gases que se producen en condiciones anaerobias ayudan a mantener una agitación de este manto de lodos, pero el parámetro clave para este; es la velocidad ascensional. Hay que establecer un tiempo de residencia suficiente para garantizar el tratamiento del agua. Este tiempo está influenciado por la temperatura y las variaciones hidráulicas, por lo que la velocidad ascensional deberá ajustarse a estas condiciones. Generalmente, el reactor dispone en la zona superior de un separador gas-sólido-líquido (separador trifásico), elemento fundamental para el buen funcionamiento de esta tecnología. Este separador tiene por objetivos: mantener el fango dentro del reactor; realizar la decantación de los sólidos sedimentables, llevándolos al compartimiento de digestión situado en la zona inferior del reactor; y extraer los gases a través de una campana, con la ayuda de un deflector situado debajo del separador.

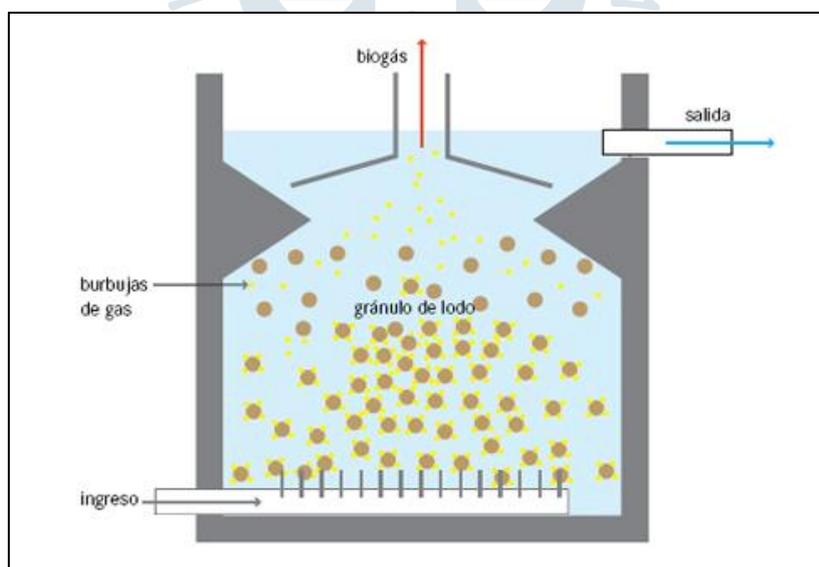


Figura 25. Reactor anaeróbico de flujo ascendente
Fuente: Alianza por el agua, 2014.

Con estas condiciones, en la parte inferior se forma una capa de lodo con concentraciones del 4 % al 10 %, con gránulos de diámetro comprendido entre 1 mm a 5 mm. Por encima de esta capa se forma el manto de lodo, menos denso, con concentraciones del 1,5 % al 3 %, que presenta velocidades de sedimentación más bajas. El tiempo de retención de sólidos suele estar entre 30 días y 60 días, por lo que el lodo que se vaya retirando del sistema puede considerarse estabilizado. En comparación con otros sistemas anaerobios, los RAFA precisan menos tiempo de retención que las lagunas anaerobias (3 días - 5 días), o los decantadores-digestores (12 horas-24 horas), por tanto, ocupan menos espacio. Además, tienen mayores rendimientos que una fosa séptica con menor tiempo de retención y en comparación con los filtros anaerobios presentan la ventaja de no tener relleno y, por tanto, no presentan problemas de colmatación. En comparación con los tratamientos aerobios, los anaerobios permiten mayores cargas orgánicas, no precisan aporte de aireación y producen biogás, lo que se traduce en ahorro de espacio y energía. Además, la producción de lodos es bastante menor. La purga de lodos se hace de forma periódica a través de unos tubos que se colocan en el fondo de reactor. Para poder chequear el nivel del manto de lodos es conveniente tener distintas tomas a diferentes alturas. La producción de gas está directamente relacionada con la cantidad de DQO eliminada. Esta relación está influenciada por la temperatura y la presión atmosférica, por lo que variará en función de la altitud donde se encuentre la planta.

5.2. Ventajas y desventajas. En la Tabla 10 se nombran las principales ventajas y desventajas de algunas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de describirlas. Planteadas como alternativas, previas a la evaluación final, como propuesta para la empresa Congelados R.

Tabla 10. Ventajas y desventajas de alternativas tecnológicas

Alternativa tecnológica	Ventajas	Desventajas
DAF (sistema de flotación por aire disuelto).	<p>Altas eficiencias de remoción de aceites y grasas, de hasta un 95 %.</p> <p>Dependiendo de la calidad del agua de ingreso, puede remover entre el 10 % al 50 % de la DBO₅.</p> <p>Todas las grasas, sólidos livianos y sólidos pesados se remueven en una sola unidad, eliminando la necesidad de instalar procesos unitarios para removerlos individualmente.</p>	<p>Operador intensivo.</p> <p>Energía intensiva.</p> <p>Inversión superior sobre productos químicos y mantenimiento.</p> <p>Remueven menos DBO (menos del 85 %, en comparación con 90 % de los lodos activados).</p>
DAF (sistema de flotación por aire disuelto).	<p>Los períodos de retención relativamente cortos permiten construir tanques pequeños, optimizando el espacio.</p> <p>Se reduce la presencia de malos olores, debido a los tiempos de retención cortos y a la presencia de aireación (Romero Rojas, 2002).</p> <p>Se tienen lodos más espesos que los obtenidos en sedimentadores primarios. Al combinarse con procesos de coagulación, se requiere menor cantidad de coagulante, ya que la flotación no exige que el floc sea pesado.</p>	<p>Presenta algunos problemas con sistemas de decantación.</p> <p>Requiere un operador calificado e inspección y mantenimiento.</p> <p>En muchas ocasiones, el sistema no es efectivo en la disminución de sólidos suspendidos como las unidades de sedimentación por gravedad.</p> <p>La operación del sistema puede ser complicada.</p>
Lodos Activados	<p>Buena resistencia a las cargas por impacto.</p> <p>Puede tolerar cargas orgánicas altas, comparados con otros procesos de tratamiento biológico.</p> <p>Se puede operar en una variedad de índices de carga orgánica e hidráulica.</p> <p>Alta reducción de DBO y patógenos (hasta un 99 %).</p> <p>Se puede modificar para lograr límites de descarga específico.</p> <p>Se ha originado variaciones al proceso original, lo cual representa alto grado de flexibilidad para tratamiento de diversos tipos de aguas residuales.</p> <p>El régimen de mezcla completa presenta ventaja ya que el tanque de aireación provee un amortiguador, en el que se suavizan hasta cierto punto las oleadas de las descargas.</p>	<p>Propenso a complicados problemas químicos y microbiológicos.</p> <p>El efluente puede necesitar tratamiento/ desinfección adicional antes de su descarga.</p> <p>No todas las piezas y materiales pueden estar disponibles localmente.</p> <p>Requiere diseño y supervisión expertos.</p> <p>Alto costo de capital; alto costo de operación.</p> <p>Se requiere una fuente constante de electricidad.</p> <p>El efluente y los lodos requieren tratamiento secundario y/o una descarga apropiada.</p>

(continuación)

Alternativa tecnológica	Ventajas	Desventajas
RAFA (Reactor anaeróbico de flujo ascendente).	<p>Los reactores del tipo RAFA, presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y mantenimiento).</p> <p>Producción pequeña de lodos excedentes.</p> <p>Consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento.</p> <p>Ellos son económicos, energéticamente y ecológicamente.</p> <p>Bajos costos de inversión y operaciones relativas a la implementación de esta tecnología.</p>	<p>Efluente con aspecto desagradable.</p> <p>Remoción insatisfactoria de N y P.</p> <p>Posibilidad de generación de malos olores.</p> <p>Problemas para la granulación de la biomasa.</p> <p>Puesta en marcha del sistema lento.</p>
RAFA (Reactor anaeróbico de flujo ascendente).	<p>Alternativa para generación de biogás y de los lodos como fertilizante.</p> <p>Consumo energético bajo y la operación no es compleja.</p> <p>Eficiencia satisfactoria en la remoción de DBO.</p> <p>Bajo rendimiento de área.</p> <p>Reinicio rápido después de períodos prolongados de paralización.</p>	<p>Relativamente sensible a las variaciones de carga.</p> <p>Restringido al tratamiento de afluentes con bajas concentraciones de sólidos.</p>

Fuente: Romero Rojas, 2002. FRC system international, 2017. Márquez Vázquez, 2011.

5.3. Productos obtenidos. Se pueden obtener productos, a partir de la propuesta tecnológica para tratamiento de aguas residuales (sector pesca), para la empresa Congelados R. La propuesta parte de un sistema RAFA (reactor anaeróbico de flujo ascendente), de dónde puede obtenerse una producción de biogás y fertilizante.

Para el sector en estudio; exclusivamente sector industrial pesquero; se aportaría una mejor gestión de residuos, dicho de este modo se evitaría recurrir a los botaderos, debido a la acumulación de lodos, que si bien es cierto actualmente se genera mucho lodo, al acumularse, se decide libremente por los botaderos municipales generando contaminación ambiental y malestar público por exceso de moscas. Además, se logra disminuir costos.

5.3.1. Biogás. El biogás es uno de los principales productos, que pueden obtenerse del tratamiento de aguas residuales. Es un producto gaseoso que puede ser empleado como combustible. Según los reportes energéticos 1 m³ de biogás equivale a 0,55 L de gasolina. Este puede sustituir parte del combustible (60 %) que se consume en las calderas de las propias plantas de destilación. (Composición cerca del 70 % en CH₄ y 30 % en CO₂).

Entre más carga orgánica tenga un agua residual mayor cantidad de metano se generará por volumen de líquido tratado para proveer cantidades relativamente altas de energía que eleven la temperatura del líquido.

La cantidad de metano producida por unidad de DQO convertida en condiciones anaerobias es de 0,35 L CH₄/g DQO en condiciones estándar (0 °C a 1 atm). Para determinar la cantidad de metano en otras condiciones estándar se utiliza la ley universal de los gases (para saber el volumen del gas ocupado por un mol de metano a la temperatura en cuestión.) (Márquez Vázquez, 2011).

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Dónde:

V = volumen ocupado de gas, L.

n = moles de gas, moles.

R = constante universal de los gases, 0,082057 atm-L/(mol-K).

T = temperatura en Kelvin, K.

P = presión absoluta, atm.

5.3.2. Bioabono. Estudios realizados han demostrado que su composición guarda riquezas en cuanto al contenido de materia orgánica y mineral, pudiendo emplearse como biofertilizante y mejorador de suelos (Alternativamente el lodo se puede usar como abono para cultivos).

Se define por su aporte de elementos minerales, especialmente nitrógeno. Como subproducto después de la generación de biogás, se obtiene materia orgánica estabilizada rica en elementos minerales. En función a la carga usada y el proceso seguido, esta materia orgánica, también conocida como bioabono (Figura 26) puede

presentarse en forma sólida; proviene de digestores con buen poder fertilizante, que luego de ser secado se puede comercializar sin problemas (FAO, 2017).

La agronomía y la ingeniería agrícola son un complemento a la ingeniería ambiental y sanitaria. La fertilización con material orgánico fresco o descompuesto ya es práctica común en agricultura alrededor del mundo (Biotec, 2017).



Figura 26. Fertilizante bioabono (lodos tratados).
Fuente: Biotec , 2017

Se considera adicionalmente a los productos que pueden obtenerse del sistema RAFA; un producto más; que se discurre, puede adquirirse al finalizar la tecnología planteada, es decir puede darse luego de haber pasado por el sistema RAFA, y el sistema de lodos activados; que ha sido planteada como una alternativa tecnológica, para un correcto tratamiento de las aguas residuales industriales de la empresa Congelados R.

5.3.3. Lodo de recirculación. La composición de un primer lodo (Figura 27) mantendrá su consistencia; diferente a la tratada posteriormente; la cual se puede emplear como fertilizante; a diferencia de esta; el primer lodo obtenido puede recircularse hasta obtener un beneficio máximo; el lodo de recirculación se obtiene del lodo que no ha sido digerido totalmente al atravesar el sistema completo (RAFA y lodos activados), por ello se considera aprovechable.

Adicionalmente cabe resaltar que, para el sistema de lodos activados, existe una recirculación de lodos; para ser tratados nuevamente, en el proceso mismo. En conclusión, esto es también aplicado al sistema de lodos activados, cuyo propósito es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación. Así como en el sistema RAFA; para una situación final en la cual, los lodos pueden ser nuevamente tratados, hasta digerirse completamente o en una considerable proporción.

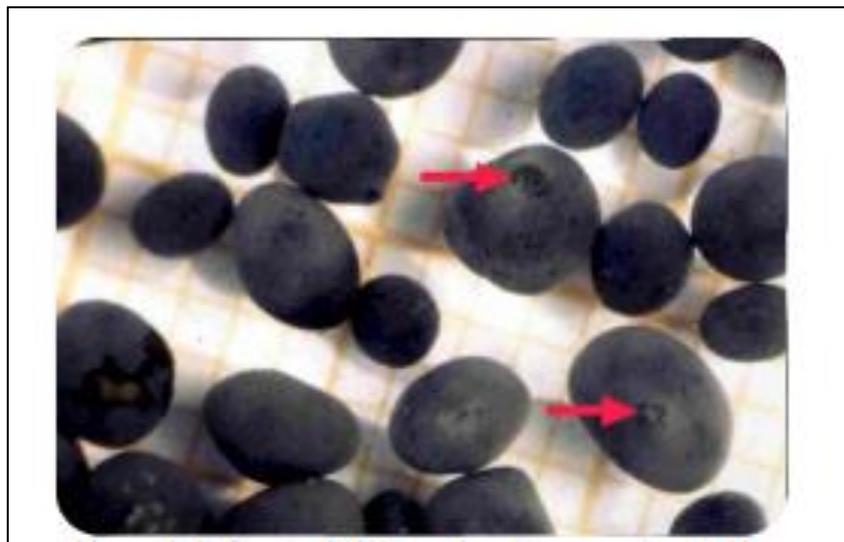


Figura 27. Gránulos de lodo activo de un reactor UASB.
Fuente: Márquez Vázquez, 2011

5.4. Etapas en el proceso global de conversión del tratamiento anaerobio. Para la digestión anaerobia de proteínas, carbohidratos y lípidos, se distinguen cuatro etapas diferentes en el proceso global de conversión (Figura 28 y Figura 29) (Van Haandel y Lettinga, 1994).

Aplicable a la tecnología RAFA; en este punto se explica la conversión de la composición del agua residual de complejo a simple. Sin embargo, estos cambios se pueden ralentizar por la composición de las aguas residuales; es necesario tener en cuenta que, para todo proceso anaerobio principalmente RAFA se originan estos cambios por etapa.

5.4.1. Hidrólisis. Esta etapa inicial depende de la composición del agua residual a tratar. En la hidrólisis (primera etapa), la materia particulada (proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos) es convertida a compuestos solubles que pueden ser

hidrolizados a simples monómeros (monosacáridos, aminoácidos, purinas y pirimidinas y ácidos grasos) (CONAGUA, 2015).

Es decir, consiste; en que la materia orgánica compleja como proteínas, carbohidratos, grasas, es transformada por bacterias hidrolíticas y fermentativas hasta compuestos simples. Es por ello que las moléculas de mayor tamaño son hidrolizadas por enzimas para que logren penetrar por la membrana celular, dichos compuestos son hidrolizados desde compuestos polímeros hasta monómeros.

El proceso requiere la participación de las llamadas exoenzimas que son excretadas por las bacterias fermentativas y permiten el desdoblamiento de la MO (materia orgánica).

5.4.2. Acidogénesis. En la fermentación (segunda etapa), o acidogénesis, los compuestos solubles (sirven de aceptores y donadores de electrones) son degradados a acetato, hidrógeno, dióxido de carbono, propionato y butirato; éstos dos últimos son fermentados para producir hidrógeno, dióxido de carbono y acetato (CONAGUA, 2015).

Los compuestos disueltos, generados en el proceso de hidrólisis, son absorbidos en las células de las bacterias fermentativas y después por las acidogénicas, excretados como sustancias orgánicas simples como ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácido láctico y compuestos minerales como CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S , etc.

Las bacterias fermentativas, fermentan dentro de los monómeros como azúcares, aminoácidos, alcoholes y ésteres; la mayoría de las veces sólo una pequeña parte de la energía potencial en la materia orgánica es destinada para la fermentación. Alrededor del 80 % es excretada fuera de las células, a su vez el resultado final de la conversión es sustratos neutros en ácidos con tendencia fuerte.

5.4.3. Acetogénesis. En esta etapa, dependiendo del estado de oxidación del material orgánico a ser digerido, la formación del ácido acético puede ser acompañada por el surgimiento de CO_2 o H_2 .

Aparecen las bacterias acetogénicas que toman las sustancias como ácidos propiónicos, butírico y lo introducen a sus células oxidándolos convirtiéndolo en ácido

acético y gas hidrógenos excretados por la célula. En conclusión, una parte proviene de la acetogénesis y la otra de la acidogénesis.

5.4.4. Metanogénesis. El último paso corresponde la metanogénesis, en la que intervienen un grupo de microorganismos conocidos como metanogénicos, los cuáles a su vez se subdividen en dos grupos; uno denominado metanogénicos acetoclásticos, los que llevan a cabo la conversión del acetato en metano y dióxido de carbono. El segundo grupo de bacterias llamadas metanogénicas hidrogenófilas; usando el hidrógeno como donador de electrón y el dióxido de carbono como aceptador de electrón. Dentro del proceso anaerobio bacterias como las acetogénicas también oxidan el nitrógeno y forman ácido acético, el cual será convertido a metano en una menor proporción (CONAGUA., 2015).

En general es el paso que limita la velocidad del proceso de digestión. El metano es producido por las bacterias acetotróficas a partir de la reducción del ácido acético o por las bacterias hidrogenotróficas a partir de la reducción del CO_2 .

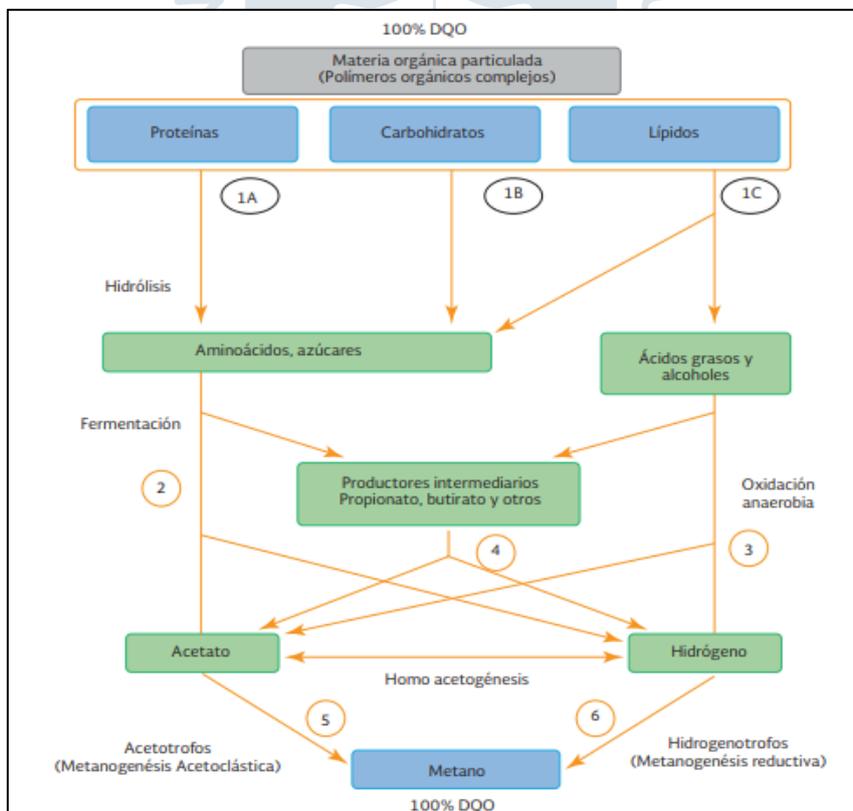


Figura 28. Procesos de conversión en la digestión anaerobia

Fuente: CONAGUA, 2015

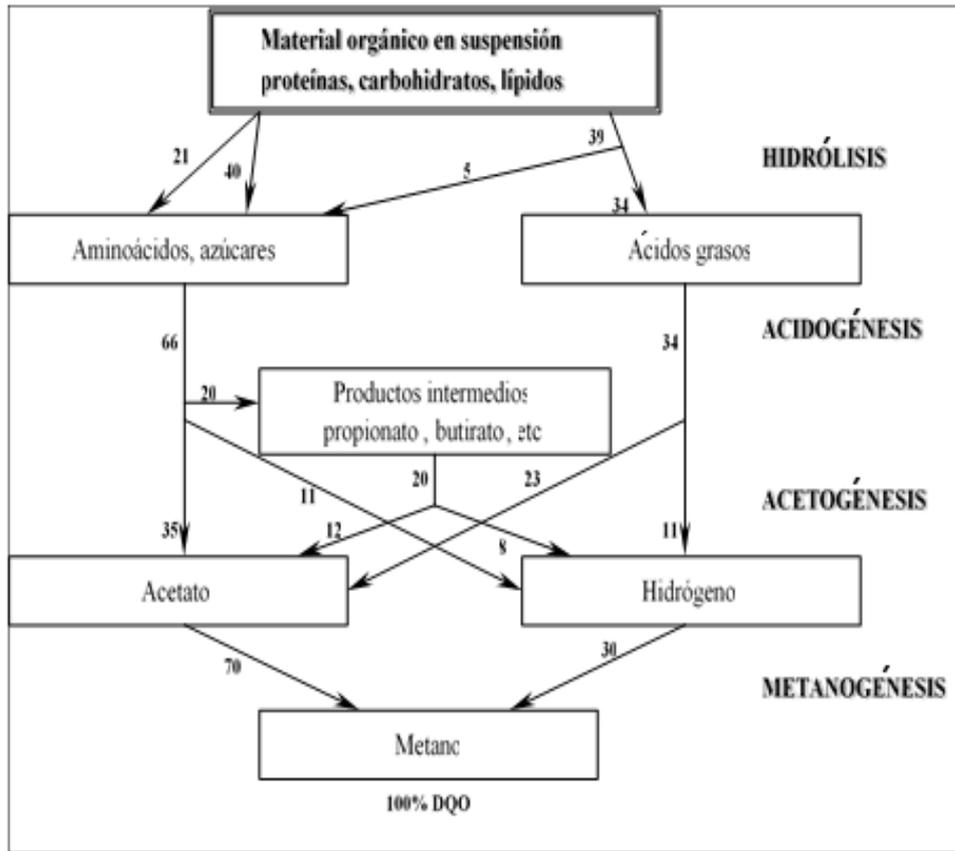


Figura 29. Procesos de conversión en la digestión anaerobia. (Los números se refieren a porcentajes, expresados como DQO).
Fuente: Van Haandel y Lettinga, 1994.

5.5. Factores que influyen en el tratamiento anaerobio. El curso del proceso de digestión anaerobia es afectado fuertemente por un número de factores ambientales. Para la aplicación óptima del proceso de tratamiento anaerobio de las aguas residuales, es de mucha importancia tener conocimiento suficiente sobre el efecto de estos factores (Lettinga G. et al, 1999).

5.5.1. Temperatura. Según a que temperatura se desarrolle el proceso anaeróbico, se dice que se trabaja en un ambiente mesofílico (33 °C - 42 °C), ambiente termofílico (55 °C – 60 °C) o ambiente psicofílico (debajo de 5 °C), dando lugar al crecimiento de microorganismos con diferentes características (Sistemas Anaerobios, 2017).

Un importante aspecto de la temperatura en los sistemas anaerobios es que el decaimiento de la bacteria anaerobia a temperaturas menores a 15 °C es muy bajo. Esto

significa que el lodo anaerobio puede ser preservado por largos períodos de tiempo, sin que pierda mucho su actividad, haciendo que el tratamiento anaerobio sea muy atractivo para aguas residuales que se descargan discontinuamente.

5.5.2. pH. El pH es otro de los factores que influye en el desarrollo de la metanogénesis. La producción de metano presenta una importante dependencia con el pH. Asimismo, los microorganismos metanogénicos presentan un rango estrecho de pH óptimo. Por lo tanto, el control del pH es muy importante.

La producción de metano se desarrolla óptimamente a un valor de pH entre 6,5 a 7,5. Valores exactos para el rango de pH no pueden ser dados ya que en algunos casos la digestión del metano se desarrollará más allá de este rango.

5.5.3. Capacidad buffer. El contenido del reactor debe tener suficiente capacidad buffer para neutralizar una eventual acumulación de ácidos grasos volátiles y por supuesto la mezcla debe ser adecuada para evitar zonas ácidas dentro del reactor.

5.5.4. Nutrientes. Los nutrientes (nitrógeno y fósforo), también llamados bioestimulantes, son esenciales para el crecimiento biológico; también son necesarias cantidades traza de otros elementos, como el hierro. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa, tanto en forma de ion amonio como en forma de amoniaco, dependiendo del pH de la solución.

El tratamiento biológico anaerobio de las aguas residuales es desarrollado por bacterias, las cuales deben crecer durante el tratamiento, de otra forma serían lavados fuera del sistema. Por esta razón, el agua residual debe contener un número de compuestos a partir de los cuales la bacteria pueda sintetizar sus constituyentes celulares.

Para el crecimiento de los microorganismos, el agua residual deberá contener o ser provista de suficiente cantidad de macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (nutrientes traza), para la síntesis de nueva biomasa. Los requerimientos de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para el crecimiento de microorganismos en el proceso anaerobio son bajos, ya que se generan menos lodos.

La recomendación del contenido de C, N y P en un agua residual durante el arranque del proceso es la relación DQO: N: P 300:5:1, y para una operación en estado estable, de 600:5:1 (Metcalf & Eddy, 2003).

5.5.5. Toxicidad en la digestión anaerobia. Por encima de una cierta concentración cualquier componente puede ser inhibitorio; aún los ingredientes (substratos) para los organismos. Sin embargo, en un rango de concentración baja muchos de estos compuestos naturales pueden estimular el metabolismo de las bacterias.

Es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Los niveles de concentraciones de sustancias tóxicas (mg/L) comúnmente aceptados, no pueden considerarse en valor absoluto.
- Empleando períodos de arranque largos, las bacterias, pueden acomodarse a la presencia de sustancias tóxicas. En función de este período de aclimatación, puede conseguirse que el reactor sea activo para concentraciones de tóxicos, muy superiores a los normalmente admitidos.

5.5.6. Factor Ambiental. Para obtener un funcionamiento correcto de los sistemas anaerobios es indispensable generar las condiciones ambientales favorables para el desarrollo y crecimiento de la biomasa y de esta manera lograr las eficiencias remocionales esperadas en el tratamiento (Figura 30).

Es necesario recalcar que la eficiencia de esta tecnología (RAFA), está determinada por una serie de factores ambientales, entre los cuales el pH y la alcalinidad son de gran importancia. Seguido del desempeño de la digestión anaerobia dependiente del control riguroso de otros factores ambientales; como temperatura, nutrientes, agentes inhibitorios y ácidos grasos volátiles (AGV), (mencionados anteriormente); los cuales afectan principalmente a las bacterias metanogénicas por ser la más sensibles.

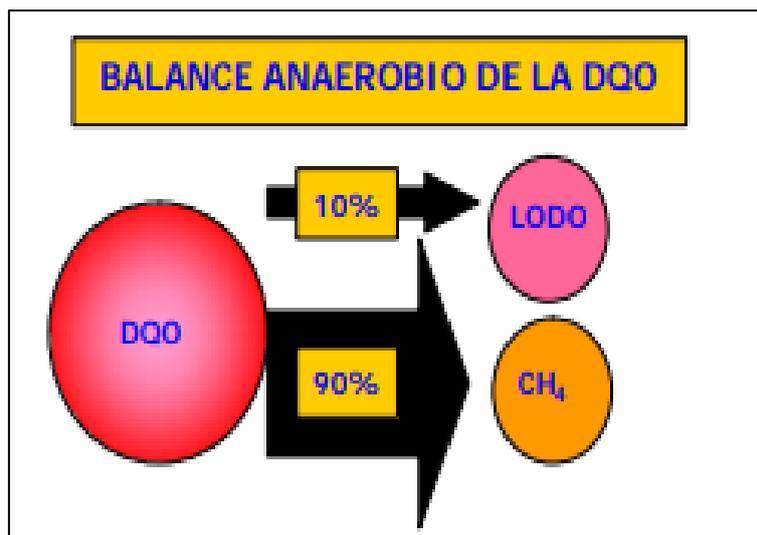


Figura 30. Balance anaerobio de la DQO
Fuente: Rodríguez V, Jenny, 2014.

5.6. Rangos de temperatura definidos en el tratamiento anaerobio. La temperatura es un parámetro de operación trascendental, pues está implicado en los balances energéticos, que en último término pueden posibilitar o impedir la utilización práctica de las técnicas anaeróbicas. Atendiendo al intervalo de temperatura (Figura 31), la operación de los reactores se clasifica en:

- Psicrófilo: $-5\text{ °C} < T < 20\text{ °C}$
- Mesófilo: $8\text{ °C} < T < 45\text{ °C}$
- Termófilo: $40\text{ °C} < T < 70\text{ °C}$
- Hipertermófilo: $65\text{ °C} < T < 110\text{ °C}$
- Una digestión fría (psicrofílica), entre los 0 °C y 20 °C .
- Una digestión mesófilica, entre 20 °C y 42 °C .
- Una termofílica, por encima de los 42 °C hasta los 75 °C .

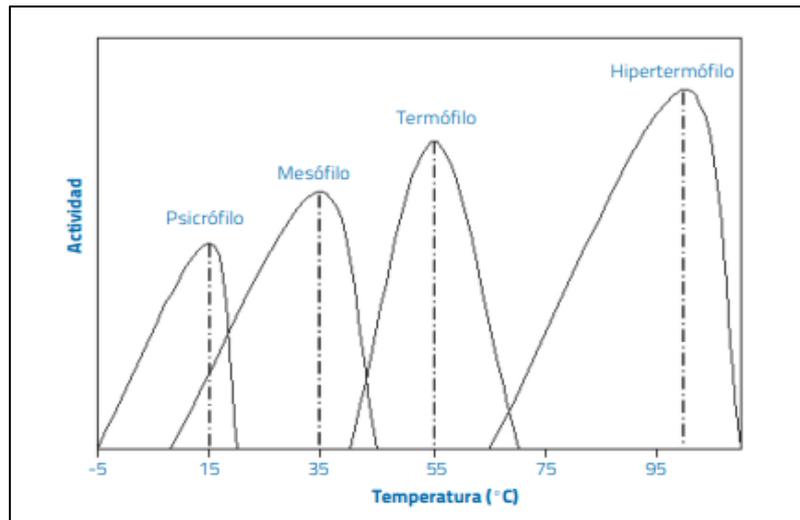


Figura 31. Efecto de la temperatura de operación sobre la actividad de microorganismos anaeróbicos.

Fuente: Fernández Polanco, F, 2015

5.6.1. Psicrófila. En condiciones psicrófilas la velocidad de hidrólisis es más lenta y por lo tanto la presencia de material complejo o particulado puede constituir un inconveniente en el proceso global de degradación, provocando el deterioro de la biomasa por la acumulación de sólidos.

Los organismos propiamente psicrófilos no serían capaces de sobrevivir a temperaturas mayores a 20 °C, pues a pesar de que el incremento de temperatura disminuye el tiempo de duplicación, también induce stress celular lo que lleva a tener cultivos con baja densidad y pobre producción enzimática.

5.6.2. Mesófila. En el rango mesofílico, la digestión anaeróbica se desenvuelve bien a temperaturas desde 28 °C hasta 36 °C, siendo la temperatura óptima de operación entre 30 °C y 33 °C; mucho más importante que operar sin variaciones significativas.

La velocidad de digestión es mayor a temperaturas termofílicas con relación a las mesofílicas, y existe una mayor remoción de patógenos operando a este rango. Sin embargo, debido a que en el rango termofílico las variaciones afectan más el proceso, las bacterias que se desarrollan a esas temperaturas son más susceptibles a los cambios bruscos de alimentación, y los costos relativos al acondicionamiento y operación, no compensan en general la utilización de temperaturas termofílicas, por lo cual, es preferible operar el proceso en el rango mesofílico. Por otra parte, las bacterias

mesofílicas se reproducen más fácilmente y permanecen activas, si no se dan cambios bruscos en la temperatura.

5.6.3. Termofílica. La digestión termofílica se produce a una temperatura cercana o dentro del rango termofílico, generalmente entre 43 °C y 60 °C.

El término termófilo se aplica a organismos vivos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura relativamente altas, por encima de los 45 °C. Es un subtipo de vida extremófila. Muchos termófilos pertenecen al dominio *Archaea*.

Las bacterias termófilas fueron posiblemente las primeras células simples. Se caracterizan, por tener una membrana celular rica en lípidos saturados ya que contienen enzimas que les permiten trabajar en condiciones extremas. Las termófilas sobreviven en temperaturas con un mínimo de 20 °C y un máximo de 75 °C, mientras que las hipertermófilas soportan temperaturas superiores a 75 °C, llegando incluso a superar a veces los 100 °C, siempre que exista agua en estado líquido.

5.7. Puesta en marcha de un reactor RAFA. La puesta en marcha de un reactor RAFA depende directamente del tipo de agua residual, de la temperatura y de la disponibilidad de un inóculo adecuado. Frecuentemente se considera una de las principales desventajas del tratamiento anaerobio. Debido a la lenta velocidad de crecimiento de los organismos metanogénicos y la formación de lodo granular.

El arranque de cualquier reactor anaerobio es lento, debido a la baja producción de biomasa con relación al sustrato consumido, ($Y = 0,18 \text{ kg SSV/ kg DQO removida}$) por lo que es conveniente la inoculación. Desde que se inicia el arranque hasta que se considera se ha alcanzado la estabilidad del proceso, lo más importante es la retención de biomasa viable dentro del reactor y su posterior acumulación, aspecto que tiene mucho que ver con la formación de gránulos o “pellets” con tamaños ideales entre 1 mm y 3 mm de diámetro. La formación de estos gránulos es una característica que distingue a los sistemas de fermentación metanogénica de flujo ascendente, de los otros sistemas anaerobios. Este lodo que se desarrolla es muy denso y puede ser de naturaleza granular, con una alta velocidad de sedimentación.

La eliminación del DQO ocurre a lo largo de toda la zona de reacción del lecho y manta de lodo donde el sistema se auto mezcla creando burbujas de gas. Las burbujas,

que se producen en el reactor, se eliminan mediante un colector de gas. Todas las superficies en la zona de sedimentación se construyen con pendientes empinadas para permitir que los sólidos asentados se deslicen de vuelta a la región de manta de lodo (Figura 32).

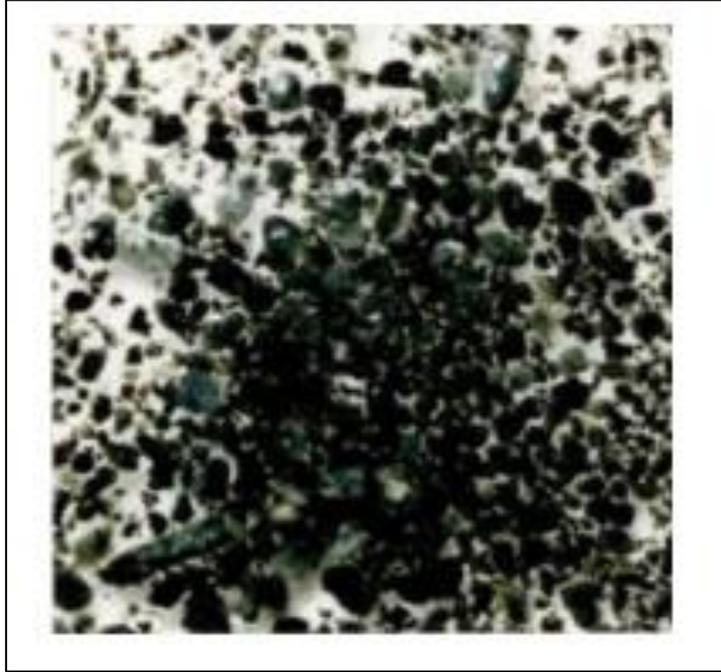


Figura 32. Morfología y tamaño de gránulos formados en un reactor anaerobio
Fuente: Márquez Vasquez , 2011

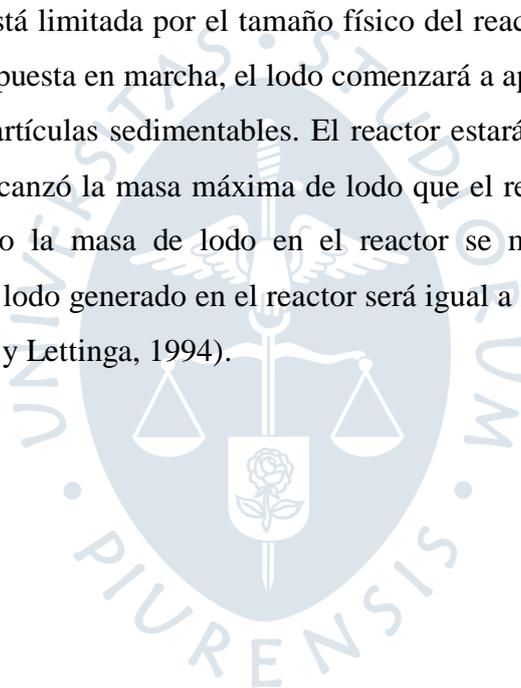
En el proceso de puesta en marcha de un reactor UASB se distinguen cuatro etapas:

1. La más ligera, poco o mucha de la fracción coloidal del lodo digerido es lavado del reactor. La producción de gas incrementa rápidamente de cero al nivel correspondiente a la actividad específica del lodo residual, cuando se aplica una carga orgánica suficiente.
2. Un ligero lavado del lodo continúa debido a la erosión de la cama de lodo, primero como resultado del incremento de la producción de gas y segundo por el incremento en la carga hidráulica, la cama de lodo eventualmente se expandirá hasta llenar el volumen del reactor. Como resultado del efecto combinado del crecimiento bacteriano y del lavado del lodo, la actividad específica del lodo retenido incrementa.
3. Un rápido incremento en la producción de gas (y un menor aumento en la carga hidráulica), causa que la cama de lodo sea impulsada hacia fuera del reactor

permitiendo un lavado del lodo flocculento pesado. Lo que se perdió era una mezcla de lodo activo e inactivo, mientras que solamente crece lodo activo (SSV). Esta etapa de la puesta en marcha acaba cuando el lodo retenido creciente es igual al lodo que se lava.

4. El lodo crece mucho más y las partículas pesadas están más concentradas en la cama de lodos y exceden más el lavado de lodo. Como resultado la cantidad total de lodo activo en el reactor comienza a incrementar nuevamente, permitiendo cada vez mayor incremento en la carga orgánica, que es acompañada con una alta producción de gas.

La acumulación está limitada por el tamaño físico del reactor y en algún momento después de iniciada la puesta en marcha, el lodo comenzará a aparecer en el efluente del reactor en forma de partículas sedimentables. El reactor estará entonces lleno de lodo, en el sentido que se alcanzó la masa máxima de lodo que el reactor puede contener. A partir de ese momento la masa de lodo en el reactor se mantendrá esencialmente constante y la masa de lodo generado en el reactor será igual a la masa descargada en el afluente (Van Haandel y Lettinga, 1994).



Capítulo 3

Diseño de la planta de tratamiento para la empresa pesquera Congelados R

El objetivo del presente capítulo es proponer un diseño tecnológico para el tratamiento de las aguas residuales industriales, aprovechando sus características, caudal y carga orgánica; mejorando así la planta de tratamiento existente y con ello las condiciones del efluente. Los datos presentados son propios de la empresa en estudio.

1. Características de las aguas residuales crudas

La composición de las aguas residuales y el caudal son parámetros esenciales para un diseño adecuado. La temperatura de las aguas residuales, la composición y la biodegradabilidad anaeróbica son variables que pueden cambiar mucho según el lugar. Muchas características de las aguas residuales son importantes para el diseño de procesos de tratamiento anaeróbico. No solamente la concentración de la materia orgánica (DBO, DQO), sino también el tipo de materia orgánica (azúcares, proteínas, lípidos, ácidos grasos volátiles, etc.), los sólidos suspendidos, la temperatura, el pH, la alcalinidad, la presencia de compuestos tóxicos, las variaciones del caudal, los inhibidores de la digestión anaeróbica, los macro y micronutrientes, etc. (Fernández F, 2015).

Es indispensable que los valores utilizados para el diseño sean correctos y reflejen la realidad del sector lo mejor posible. A continuación, en la Tabla 11, se indican las características de las aguas residuales industriales (ARI), las que se emplearán para el diseño de la planta de tratamiento con el objetivo de mejorar la calidad del agua residual (efluente).

Tabla 11. Características del agua residual cruda/ datos de ensayo (Congelados R).

Parámetro	Resultados de análisis
pH	6,78
DBO (mg/L)	2350,3
DQO (mg/L (O ₂))	2486,7
Sólidos totales suspendidos (mg/L)	194
Aceites y grasas (FOG) (mg/L)	<1,0
Sólidos sedimentables (mL/L/h)	0,3
Aluminio (mg/L)	0,4095
Coliformes Totales (*)	1,6 x 10 ⁵
Coliformes fecales o termotolerantes	1,6 x 10 ⁵
Temperatura (°C)	28,7

Fuente: Elaboración propia adaptada de documentos técnicos de la empresa Congelados R

(*) Este dato refleja la necesidad de clorar las aguas residuales (se justifica con la desinfección.).

El informe de ensayo se adjunta en el Anexo C. Por confidencialidad de la empresa solo se detallan algunos parámetros importantes, los mostrados en el informe de ensayo reflejan valores en un momento determinado, específicamente a la salida del efluente previo ingreso al sistema DAF. En el informe de ensayo también se aprecian los valores DAF que no se toman en cuenta.

En los procesos biológicos se recomienda que la relación de DBO a DQO sea mayor o igual a 0,5 lo que indica que el efluente industrial es de fácil biodegradabilidad, por tanto, el proceso biológico es aplicable;

$$\frac{DBO}{DQO} \geq 0,5$$

$$\frac{2350,3}{2486,7} = 0,945$$

Con esto demostramos que el efluente es de fácil biodegradabilidad.

2. Caudales

El consumo de agua es un parámetro altamente variable y depende de muchos factores como clima, temperatura, disponibilidad de agua, debido a que existen períodos (meses) en los cuáles la materia prima (*Dosidicus gigas*, entre otros) abunda notablemente y otros en los que disminuye. Para el diseño de la tecnología propuesta son necesarios los caudales que se generan en el proceso de acuerdo a las condiciones del momento de producción.

El caudal de la empresa Congelados R que se tomará en cuenta proviene del proceso de producción de su materia prima (*Dosidicus gigas* - pota).

En el proceso de transformación existen pérdidas de agua, debido a que en las líneas de precocido y cocido el agua se lleva a elevadas temperaturas por tanto hay una mayor evaporación. El caudal varía de acuerdo a la producción, sin embargo, en el procesamiento de pota este se mantiene. En muchos de los casos cuando la especie se ausenta se opta por reprocessar productos congelados de pota previo descongelamiento.

La producción más alta para la empresa Congelados R, 180 toneladas ha necesitado el ingreso en promedio de 10 cisternas de 30 m³ en cada turno, de esto se asume que el 80 % se constituye en agua residual, debido a las pérdidas por evaporación antes indicadas. Es por ello que se estima un factor de retorno (f_r) óptimo de 0,80 (Figura 33).

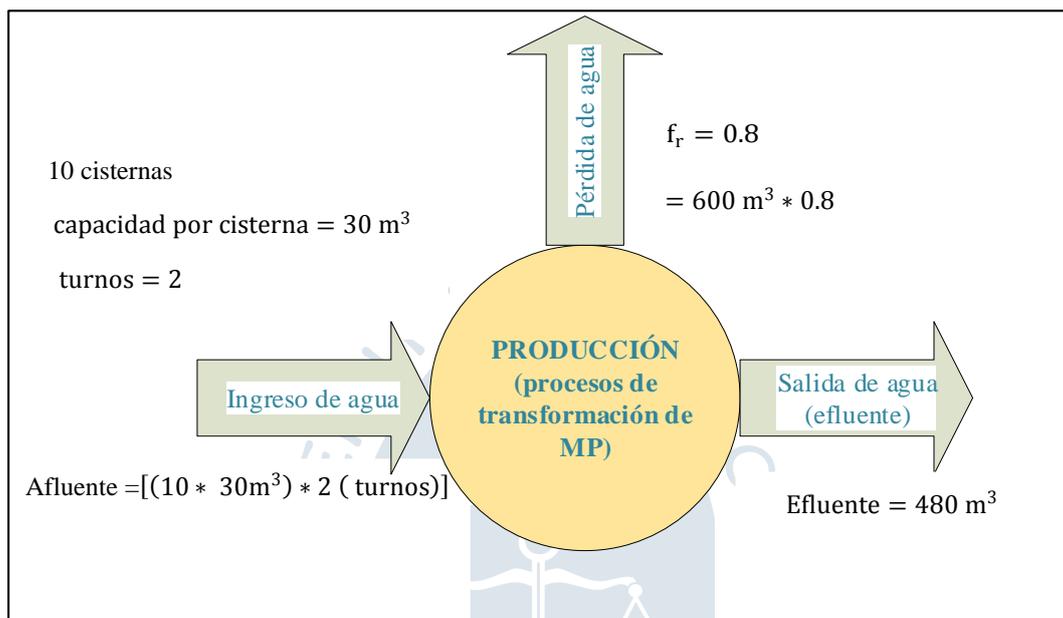


Figura 33. Diagrama de ingreso y salida de aguas residuales
Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto hay días que la producción es baja, la planta se va a diseñar para la situación más crítica. Teniendo en cuenta que se trabajará el mismo proceso durante 24 horas en turnos rotativos (día – noche; de 12 horas cada uno); es decir se diseñará para la capacidad total de producción declarada teniendo en cuenta que puede existir baja producción en algunos turnos, tal como se muestra en la tabla del anexo B - 1.

En la Figura 34, se puede observar el proceso productivo para la transformación de la materia prima (pota). En esta figura se indican las operaciones que necesitan abundante flujo de agua, aunque existe una red de agua que abarca todos los puntos de proceso.

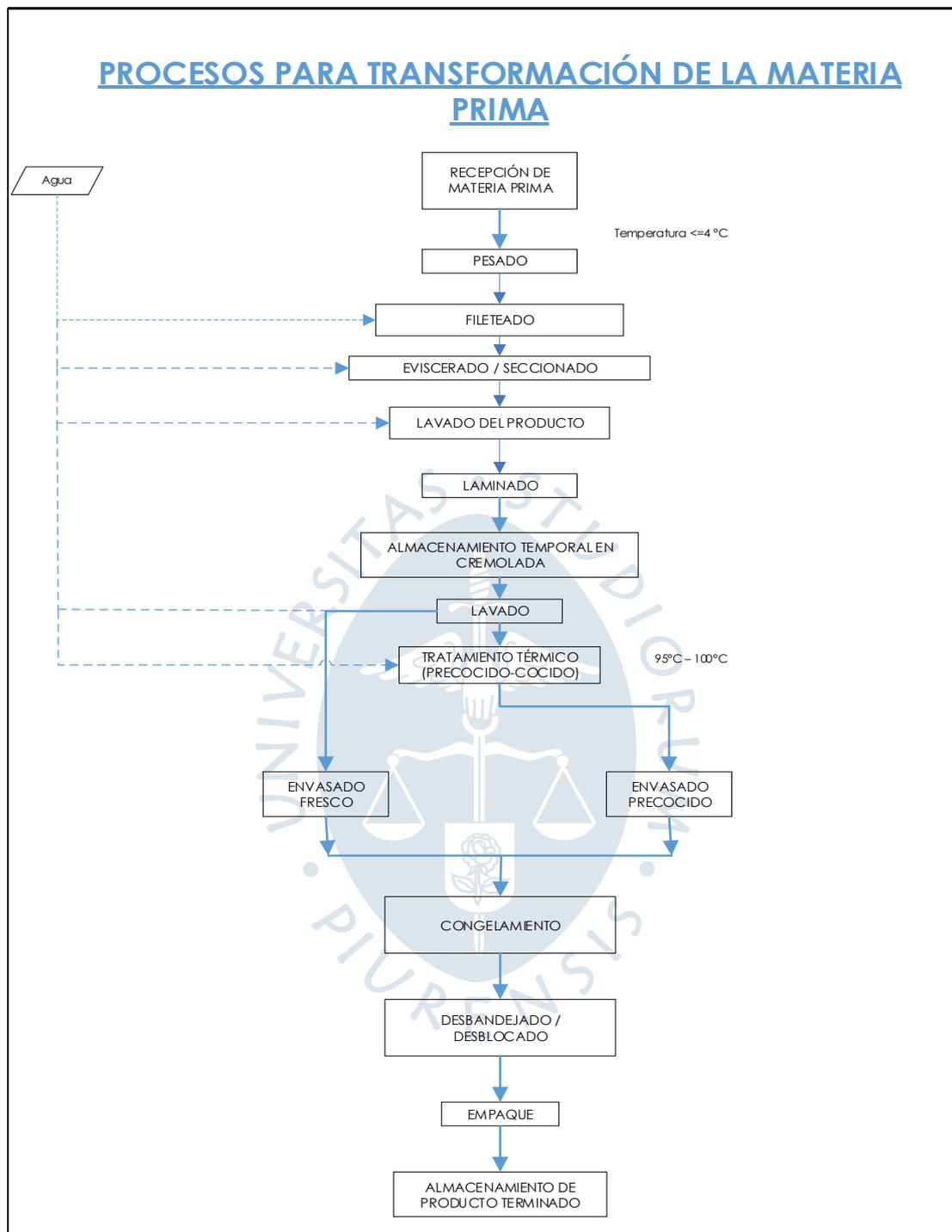


Figura 34. Flujograma de proceso de pota.
Fuente: Congelados R, 2018.

El valor del parámetro caudal con el que se trabajará se muestra en la Tabla 12, así como el caudal promedio.

Tabla 12. Caudal promedio de la empresa pesquera

Parámetro	Valores
Caudal promedio (Q_{prom})	$480 \frac{m^3}{día}$
$\frac{\text{Caudal promedio } (Q_{prom})}{2} (*)$	$240 \frac{m^3}{día}$

(*) Se utilizan 2 unidades RAFA.

Fuente: Elaboración propia adaptada de documentos técnicos de la empresa Congelados R

3. Dimensiones del RAFA

Para el diseño y dimensionamiento del reactor RAFA, es indispensable evaluar una serie de consideraciones y suposiciones independientemente del nivel de exactitud y detalle de los datos de partida.

Partimos con dos opciones de diseño: cúbico (prisma rectangular) o cilíndrico. La opción de la forma depende de factores como costo, tamaño, disponibilidad local de inóculo y de materiales, espacio físico disponible, etc. Los reactores pequeños, de hasta aproximadamente 300 m^3 , se recomienda sean cilíndricos (Fernández F, 2015).

Para volúmenes que exceden este valor, los reactores cilíndricos son menos atractivos económicamente. Los reactores más grandes son generalmente rectangulares por razones de facilidad de construcción. Los colectores de gas son también más simples y más fáciles de estandarizar para reactores rectangulares (Fernández F, 2015).

Según algunos autores existen tres variables para el dimensionamiento de reactores RAFA (Lettinga G. et al, 1999):

- Carga volumétrica aplicada
- Velocidad superficial
- Altura del reactor

• Parámetros primarios de diseño

Se detallarán los parámetros básicos de diseño, principalmente caudal y concentración de parámetros orgánicos usados para dimensionar un reactor RAFA.

En la Tabla 13 se detalla el caudal con el cual se desarrollará el diseño, la concentración de parámetros orgánicos, la temperatura de salida y otros parámetros. Es

necesario tener en cuenta que en las aguas residuales industriales (ARI) se evalúa necesariamente la concentración de parámetros orgánicos, que depende del caudal.

Tabla 13. Parámetros primarios de diseño

Parámetro	Valores		
Caudal promedio	$Q_{\text{prom}} \text{ (m}^3/\text{día)} = 480 \text{ m}^3/\text{día}$ $\frac{Q_{\text{prom}}}{2} = \frac{480}{2} = 240 \text{ m}^3/\text{día}$ $Q_{\text{prom}} \text{ (L/s)} = 480 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{10^3 \text{ L}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{día}}{24 \text{ h}} * 1 \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} * 1 \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 5,55 \text{ L/s}$		
Concentración de parámetros orgánicos		DBO	DQO
	C (mg/L) =	2350,3	2486,7
	C (kg/m ³) =	2,350	2,487
Temperatura (a la salida de procesos)	$T \text{ (}^\circ\text{C)} = 28,7 \text{ (*)}$ <p>(*) El dato de temperatura proviene del muestreo (informe) de las ARI a la salida de procesos.</p>		
Otros parámetros	$\text{pH} = 6,78$ $\text{SST (mg/L)} = 194$ $\text{SST (kg/m}^3\text{)} = 0,194$		

Fuente: Elaboración propia adaptada de documentos técnicos de la empresa Congelados R (2018).

- **Parámetros que afectan el diseño y la operación**

Suposiciones básicas: TRH (tiempo de retención hidráulica) y C_v (carga volumétrica). El punto más delicado de todo el proceso de diseño es la selección del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y la carga orgánica (DQO) apropiada (ver Tabla 14). Estos valores se obtienen generalmente de una revisión cuidadosa de bibliografía especializada. Una selección incorrecta de estos parámetros comprometerá la confiabilidad de todo el proceso de diseño.

El parámetro de temperatura está dado en los datos (informe) brindados por la empresa.

Tabla 14. Parámetros que afectan el diseño y la operación

Parámetro	Fórmulas
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	$TRH = \frac{Q}{V}$ <p>Donde: TRH = tiempo de retención hidráulica (h) V = volumen (m³) Q = caudal (m³/h)</p>
Carga volumétrica (C _v)	$C_v(*) = \frac{Q \cdot C}{V}$ <p>C_v = carga orgánica volumétrica (kg DQO/(m³.d)) C = concentración (kg DQO/m³) (*) Para la C_v se requiere: C_v ≤ 15 kg DQO/ (m³.d)</p>

Fuente: Lettinga G. et al, 1999.

Criterios de diseño

El TRH (h), depende principalmente de la temperatura. Como se indica en la Tabla 15.

Tabla 15. TRH en función de la temperatura

Temperatura del agua °C	TRH Q _{med} (h)	TRH Q _{max} (h)
15 – 20	10 – 14	7 – 9
20 – 25	6 – 9	4 – 6
> 25	6	4

Fuente: Lettinga, 1991.

Por tanto, para una temperatura de 28,7 °C y caudal medio le corresponderá según la Tabla 15 un TRH (h) de 6 horas.

En la Tabla 16 se muestra la cantidad de reactores propuestos y la justificación de esta cantidad, además de los parámetros para el diseño respectivo del RAFA.

Tabla 16. Parámetros de diseño para dos unidades RAFA propuestas para la planta.

Parámetro	Valores
Volumen	$V = TRH \cdot Q$ $V = 6 \text{ h} \cdot \left(480 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 1 \frac{\text{día}}{24 \text{ h}} \right) = 120 \text{ m}^3$ $\frac{V}{2} = 60 \text{ m}^3$ <p>Por cuestiones de diseño y operatividad se tendrán dos unidades.</p>
Limitación orgánica (carga volumétrica) C_v	$C_v = \frac{480 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 2,4867 \text{ kg DQO/m}^3}{120 \text{ m}^3} = 9,9468 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{d}$
Número de reactores	<p>El número de reactores depende del caudal y de las condiciones de operación (operatividad del sistema). Para caudales pequeños (alrededor de $500 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$) generalmente se recomienda una sola unidad, sin embargo, en el presente caso por cuestión de operatividad respecto al mantenimiento que sea necesario hacerle a una de las unidades de los RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) diseñados, se ha optado por hacer mínimo dos unidades</p> <p>Número de reactores = 2</p>

Fuente: Elaboración propia adaptada de Lettinga G. et al, 1999.

- **Otros parámetros importantes de diseño.**

Para el cálculo de altura del reactor, se asume como suposición que el reactor RAFA tendrá una altura de 4 m. La altura es un valor estándar dependiente del caudal para aguas residuales industriales que para el tema en desarrollo el caudal está por debajo de 500 m^3 ; en algunos casos la altura puede ser hasta 20 m (Fernández F, 2015).

$$h_r \text{ (altura del reactor) (m)} = 4 \text{ m}$$

Es posible establecer el volumen del reactor por la carga hidráulica o por la carga orgánica (Fernández F, 2015). En la Tabla 17 se detallan las dimensiones del reactor; aplicables al diseño.

Tabla 17. Dimensiones del reactor

Dimensiones	Fórmulas
Área del reactor	$A = \frac{V}{h}$
Velocidad ascensional	$V_{asc} = \frac{Q}{A} = \frac{h}{TRH}$
Lados del reactor	$L_1 = \sqrt{A}$
Diámetro del reactor	$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$
Ancho del reactor	$W_1 = L_1$

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

Existen intervalos para la velocidad de flujo ascendente, dependiente del gasto del afluente. Estos valores se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Velocidad de flujo ascendente.

Tipo de flujo del afluente	Velocidad de flujo ascendente (m/h)
Flujo promedio	0,5 – 0,7
Flujo máximo	< 0,9 – 1,1
Flujos picos temporales (*)	< 1,5

Fuente: Fernández F, 2015

(*) Flujos picos de 2 h a 4 h.

Los valores de los parámetros de diseño y los intervalos de aceptación para cada parámetro del sistema RAFA mencionado líneas arriba se expresan en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros de diseño de un reactor anaeróbico de flujo ascendente

Reactor RAFA	
Parámetros	Valores
TRH (h)	6,00
Volumen/2 (m ³) (*)	60,00
A(m ²)	15,00
h _r (m)	4,00
V _{asc} (m/h)	0,667
L ₁ (largo)(m)	3,87
W ₁ (ancho)(m)	3,87
d (m)	4,37
C _v (kg DQO/m ³ . d)	9,95

(*) Para 2 unidades RAFA.

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

3.1. Diseño del separador GLS (gas líquido sólido). Los separadores trifásicos o separadores gas-líquido-sólido (GLS), son los dispositivos más característicos y más importantes del reactor RAFA. Cumplen muchas funciones (Fernández F, 2015):

1. Colectan el biogás que se produce en la fase líquida
2. Retienen los sólidos suspendidos que flotan en la parte superior del reactor
3. Ayudan a mantener baja la concentración de sólidos suspendidos del efluente
4. Crean un espacio para ampliar el manto de lodos si aumenta el caudal
5. Permiten un cierto espesamiento del lodo del reactor (Fernández F, 2015).

En la Tabla 20 se exponen las principales dimensiones de diseño para el separador GLS las que se usarán en el posterior desarrollo de las dimensiones.

Tabla 20. Dimensiones generales de diseño para el separador GLS.

Dimensiones de diseño	Fórmulas
Carga Hidráulica	$C_H = \frac{Q}{A_R}$
Velocidad de flujo en la campana	$V_F = 4(C_H)$
Área de apertura	$A_{\text{apertura}} = \frac{Q}{V_{\text{asc GLS}}}$ <p>Dónde: A_{apertura} = área de pasaje de líquido en la base del separador trifásico Q = caudal de líquido (m³/h) $V_{\text{asc GLS}}$ = máxima velocidad ascensional permisible de líquido a la altura de la base del separador trifásico (m/h)</p>
Área basal total del separador GLS	$A_{\text{GLST}} = A_{\text{reactor}} - A_{\text{apertura}}$
L_{GLS} (largo GLS) (m)	$L_{\text{GLS}} = L_1$
Ancho teórico total W_{GLST} (m)	$W_{\text{GLST}} = \frac{A_{\text{GLS}}}{L_{\text{GLS}}}$
Ancho del GLS W_{GLS} (m)	$W_{\text{GLS}} = \frac{W_{\text{GLST}}}{\text{Unidades GLS}}$
A de cada GLS (m ²)	$A_{\text{GLS}} = \frac{A_{\text{GLST}}}{\text{Unidades GLS}}$
Unidades GLS	Para cada reactor necesitamos una unidad de separador GLS (gas – líquido – sólido).

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015

En la Tabla 21, se presentan los valores de las dimensiones generales para el separador GLS del reactor RAFA, rescatando la importancia de la velocidad ascensional del líquido, el área de apertura y el área total del separador.

Tabla 21. Dimensiones generales del separador GLS

Separador GLS (dimensiones generales)	Valores de diseño
V_{asc} del líquido en el GLS(m/h) (*)	2,667
$A_{apertura}$ (m ²)	3,75
A_{GLST} (m ²)	11,25
L_{GLS} (largo GLS) (m)	3,87
Ancho teórico total W_{GLST} (m)	2,91
Separador GLS (dimensiones generales)	Valores de diseño
Unidades GLS (**)	1
W_{GLS} (ancho GLS) (m)	2,91
A_{GLS} (m ²)	11,25

(*) Se acepta que la V_{asc} GLS no debe ser superior de 3 m/h a 4 m/h y que, siempre que sea posible debe mantenerse alrededor de un valor máximo de 2 m/h, porque un valor demasiado alto para la V_{asc} GLS impide la sedimentación de los sólidos suspendidos que pudieran alcanzar esta altura dentro del reactor. Si los sólidos superan este punto, algunos se sedimentarán en las paredes de los separadores y otros serán eliminados con el efluente. (CONAGUA, 2015).

(**) Al ser dos unidades separadas, se considera una unidad GLS por reactor (por cuestiones de operatividad y mantenimiento se sugiere dos unidades RAFA).

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

En la Figura 35, se muestra de manera seccional y tridimensional el diseño de un sistema RAFA, además se observa la ubicación del sector trifásico (separador gas-líquido-sólido).

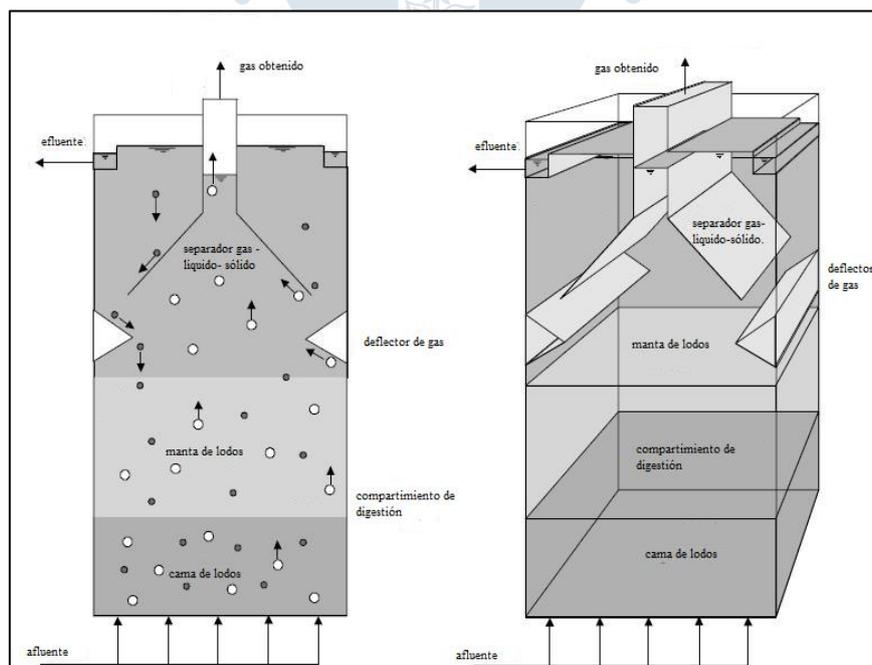


Figura 35. Diseño de un separador trifásico.

Fuente: Marín, Viviana; 2012.

- **Altura del separador GLS**

Para calcular la altura del separador GLS (h_{GLS}), se supone una cierta relación entre la altura del separador y la altura total del reactor; esta relación está denominada como “relación de alturas” (H). El valor de h sugerido en bibliografía está entre 0,15 y 0,30 (Fernández F, 2015). Eso significa que el separador GLS debe ocupar entre el 15 % y el 30 % de la altura total del reactor. Si $H = 0,30$ la altura del reactor será 4 m y la altura del separador GLS será de 1,20 m (Fernández F, 2015).

En la Tabla 22 se expresa la dimensión de altura, relación de altura y sus respectivos valores.

Tabla 22. Relación de alturas

Dimensiones	Valores
H (relación de alturas)	0,30
h_{GLS} (altura GLS) (m)	1,20

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

- **Ángulo de las paredes del separador**

$$\tan \alpha = \frac{h_{GLS}}{a}$$

Se recomienda generalmente que este ángulo esté entre 45° y 60° para que actúe como un buen dispositivo de sedimentación de lodos (Fernández F, 2015). Sin embargo, por cuestiones de diseño puede ser variable.

En la Figura 36 se muestra la relación existente entre la altura y el ángulo.

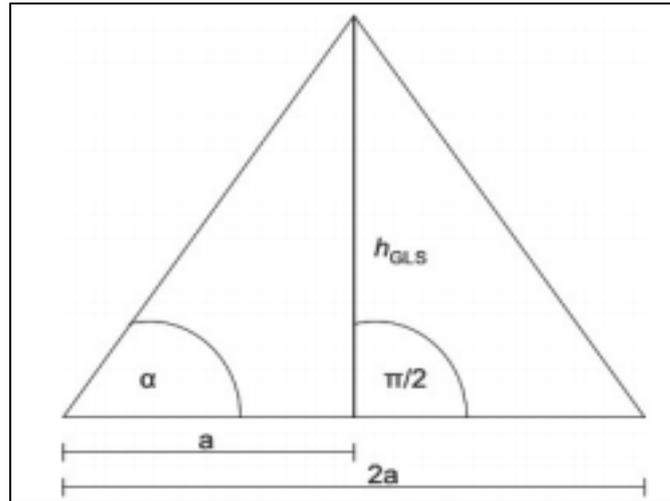


Figura 36. Representación del ángulo entre las paredes del separador trifásico.
Fuente: Fernández F, 2015.

En la Tabla 23 se presenta en resumen los parámetros hallados para el separador trifásico en relación a la altura y el ángulo de las paredes del separador.

Tabla 23. Parámetros en relación al separador trifásico

Parámetros	Fórmulas
Ancho mitad de GLS (a) (m)	$a = \frac{W_{GLST}}{2}$
α (ángulo GLS)	$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{h_{GLS}}{a}\right)$
TAN	$\tan \alpha = \frac{h_{GLS}}{a}$

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

En la Tabla 24 se presentan los valores de los parámetros hallados para el separador trifásico mencionado líneas arriba.

Tabla 24. Resumen de parámetros hallados en relación al separador trifásico.

Parámetros	Resultados
α (ángulo GLS)	39,51 ~ 40,00
ATAN (rad)	0,68
TAN	0,82
Número de GLS	1 por unidad de reactor
Pi (en radianes)	3,14
Pi (en grados)	180
Ancho mitad de GLS (a) (m)	1,46

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

Entre otras dimensiones importantes para el diseño del reactor se encuentra la distancia entre la pared del reactor y el separador.

Para obtener un resultado de distancia entre la pared del reactor y el separador GLS, usamos:

$$p = \frac{W_r - n_{GLS} \times W_{GLS}}{2 \times n_{GLS}}$$

Dónde:

p = distancia entre la pared del reactor y el separador (m)

W_r = ancho del reactor (m)

W_{GLS} = ancho del GLS (m)

n_{GLS} = número de GLS

Es importante tener presente que las distancias se calcularon en función de la V_{asc} máxima permitida en las aperturas. Por esta razón, tenemos que cerciorarnos también que los deflectores de biogás estén situados a una distancia por lo menos igual al valor de p del separador GLS. En la Tabla 25 a modo de resumen se especifican las dimensiones (Fernández F, 2015).

Tabla 25. Otras dimensiones en relación al reactor y separador.

Parámetros	Fórmulas	Resultados
p (distancia Reactor – GLS) (m)	$p = \frac{W_r - n_{GLS} \times W_{GLS}}{2 \times n_{GLS}}$	0,48
$2p$ (distancia entre GLS) (m) (*)	$2p$	0,96
q (distancia mínima GLS-deflector) (m) (**)	$q = p$	0,48
o (superposición GLS-deflector) (m) (***)		0,20

(*) La distancia entre dos separadores GLS será entonces dos veces esta dimensión ($2p$), en caso de tener dos unidades por reactor.

(**) Mínimo, no debe ser factor limitante.

(***) Recomendado.

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

- **Área de liberación de gas**

En general se recomienda un área de liberación tal que permita el paso de entre 1 m³ y 5 m³ de biogás por m² de área de liberación y por hora (Fernández F, 2015).

A manera de resumen en la Tabla 26 se exponen los parámetros finales para el diseño del reactor.

Tabla 26. Parámetros de diseño finales para el reactor anaeróbico.

Parámetros de diseño	Fórmulas	Resultados
Carga de gas (m ³ /m ² .h)		1(*)
A (total para liberación de gas) (m ²)	$A_{TL} = \frac{Q_g}{\text{carga de gas}}$ Dónde: $Q_g = \text{producción teórica de gas (*)}$	Por unidad de reactor: 7,78 Por ambas unidades: 15,56
A (para liberación del gas en cada unidad GLS) (m ²)	$A_{LGLS} = \frac{A_{TL}}{n_{GLS}}$	Por unidad de reactor: 7,78 Por ambas unidades: 15,56
W _d (ancho del domo) (m)	$W_d = \frac{A_{LGLS}}{L_{GLS} \times n_{GLS}}$	2,01 (por unidad de reactor)
d (entre el cono y la base del domo) (m)	$d_d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{TL}}{\pi}}$	3,15 (por unidad de reactor)
h _d (altura del domo bajo agua) (m)	$\tan \alpha = \frac{h_d}{a}$	0,83 (por unidad de reactor)
h (cilindro bajo agua) (m)	Respecto la carga de gas	0,50
a (altura del domo sobre el agua) (m)		0,50
h (extensión opcional del GLS (máxima))	Opcional	0,30
h (desde la base del GLS a la base del domo) (m)	$h_{bd} = h_{GLS} - h_d$	0,37

(*) Recomendado. CONAGUA, 2015.

Fuente: Elaboración propia adaptada de CONAGUA, 2015.

3.1.1. Dispositivos de distribución del afluente. El sistema de distribución de la alimentación constituye una parte crucial del reactor UASB. Para usar la capacidad del lodo retenido en el reactor, es importante realizar un contacto óptimo entre lodo y agua residual, previniendo la canalización a través del manto de lodos o evitando la formación de zonas muertas en el reactor (Lettinga G. et al, 1999).

En el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), el afluente se distribuye en el fondo del reactor para tener un mayor tiempo de contacto del mismo con el lecho del lodo que contiene los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica. El agua residual debe estar distribuida de manera uniforme, cerca el fondo del reactor, mediante una serie de tubos y donde cada uno cubre un área de 1 m^2 a 2 m^2 del fondo del tanque (Chernicharo de Lemos., 2007).

La distribución de las aguas residuales a la entrada del reactor es fundamental para garantizar un funcionamiento integral de la zona de manto de lodo, sin escurrimientos preferenciales o cortocircuitos que pueden reducir el tiempo de retención y el contacto de las aguas residuales con el lodo activo. Se recomienda por lo menos dos a tres entradas por m^2 de fondo de reactor. Los extremos de los tubos de alimentación deberán distar cerca de 30 cm del fondo del reactor (Lettinga, 1991).

Es importante garantizar una distribución uniforme con un control en cada punto (tubo) de distribución del agua. El agua residual es dirigida desde la parte superior del reactor por medio de tubos hacia el fondo del reactor (Chernicharo de Lemos., 2007).

El número de tubos de distribución está determinado por el área de la sección transversal del reactor y por el área de influencia de cada distribuidor. Para calcularlos se utiliza la siguiente ecuación:

$$N_d = \frac{A}{A_d}$$

$$N_d = 5$$

Dónde:

N_d = número de tubos de distribución

A = área de la sección transversal del reactor (m^2)

A_d = área de influencia de cada distribuidor (m^2)

3.1.2. Otros dispositivos. Dispositivo para medir el exceso de lodo: En función de las características de las aguas residuales y suponiendo valores razonables de conversión biológica de la materia orgánica en el reactor, se produce un exceso de lodo en el sistema anaeróbico (RAFA) (Fernández F, 2015).

Este exceso puede ser medido a través de puntos de muestreo de lodo, estos pueden ser instalados a diferentes profundidades para la obtención de perfiles de concentración de lodos y calidad de lodo, son importantes para conocer el desempeño del reactor y decidir sobre la descarga de lodo de exceso (Van Haandel y Lettinga, 1994). Los tubos de descarga también permiten la toma de muestras para evaluar la actividad del lodo a distintas alturas. El primer tubo (empezando desde abajo) se debe colocar alrededor de 0,20 m sobre el sistema de inyección de afluente y el último a unos 0,05 m por debajo de los deflectores de gases. El resto de tubos (al menos uno más), se deberá distribuir uniformemente entre dos puntos (Fernández F, 2015).

Los puntos adicionales del muestreo son opcionales y pueden servir para supervisar más de cerca la evolución del manto de lodo. Los tubos de descarga deben penetrar por lo menos 1 m dentro del reactor para tomar el lodo del centro del manto de lodo y evitar los efectos de borde que pueden afectar la toma de muestras representativas (Fernández F, 2015).

En el extremo de los tubos de descarga dentro del reactor, es conveniente instalar un resguardo en forma de T para facilitar el muestreo del lodo y evitar obstrucciones. Los tubos de descarga deben ser equipados con válvulas y el lodo se debe descargar lentamente por gravedad para prevenir la formación de vórtices. Las instalaciones de descarga de lodo deben también permitir el muestreo del contenido del reactor. Para una purga completa del reactor, también puede ser de utilidad la instalación de tubería de descarga en el mismo fondo (Fernández F, 2015).

Existen dispositivos especiales que pueden ser incluidos en el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante reactores RAFA. Entre ellos se mencionan:

- Dispositivo para descarga de lodo: Se debe prever en el diseño la remoción de lodo de exceso del reactor, generalmente una buena altura para la descarga del lodo es la mitad de la altura del reactor, aunque es recomendable equipar otros puntos (Lettinga G. et al, 1999).

- Dispositivo de recolección de gas: Este dispositivo debe remover el biogás producido en el reactor y mantener un nivel constante de la interface líquido-gas. Pese a que la producción de gas no es mucha en el tratamiento de ARD el diámetro de la tubería no debe ser muy pequeño, porque las partículas de sólidos (espuma) con gas pueden producir taponamientos (Van Haandel y Lettinga, 1994). Teniendo en cuenta que el diseño se está aplicando al tratamiento de ARI, la producción del gas dependiente del caudal variará considerablemente, por tanto, un dispositivo de recolección de gas debe tener el diámetro perfecto para la recolección de este.

Los reactores UASB no eliminan totalmente los agentes contaminantes de las aguas residuales. Por lo tanto, dependiendo de las exigencias legales, puede ser necesario incorporar algunos procesos de postratamiento con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos, y reducir la concentración de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Fernández F, 2015).

Como recomendación para el postratamiento de diseño de aguas residuales industriales, se ha considerado conveniente la implementación de lodos activados.

3.2. Característica del efluente obtenido del RAFA (teórico). El principal objetivo del reactor es mejorar la calidad del agua residual de la planta Congelados R. Asimismo, se pueden obtener subproductos como el biogás y el lodo, el primero puede dejar el reactor a través de tuberías de escape que se instalan en la parte superior de los colectores trifásicos.

El efluente según las consideraciones establecidas para las unidades, normalmente tiene un rango de eficiencia entre 60 % - 85 % (CONAGUA, 2015). Se ha empleado fórmulas que son aplicables al estudio de aguas residuales industriales, cabe resaltar que las consideraciones tomadas son establecidas para el sistema.

A partir de ello en la Tabla 27 se determinan las estimaciones de eficiencia de remoción y concentraciones, usando las expresiones mencionadas en la tabla, estas me permiten saber la eficiencia del reactor en base a los datos obtenidos donde t (tiempo) se considera de 24 horas haciendo referencia a nuestro tiempo de trabajo para la empresa Congelados R, es necesario recalcar que como límites se ha tomado las recomendaciones escritas líneas arriba y referenciadas, por tanto al desarrollar los valores notamos que se cumplen los límites propuestos respecto eficiencias.

Tabla 27. Estimación de eficiencia y concentraciones.

	Expresiones (fórmulas)	Resultados
Estimación de la eficiencia de remoción de la DQO	$E_{DQO} = 100*(1 - 0,68(t)^{-0,35})$	$E_{DQO} = 77,64 \%$
Estimación de la eficiencia de remoción de la DBO	$E_{DBO} = 100*(1 - 0,70(t)^{-0,50})$	$E_{DBO} = 85,71 \%$
Estimación de las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final	$C_{efl} = S_0 - \frac{(E*S_0)}{100}$	$C_{efl} = 0,556 \text{ kg DQO/m}^3$ o 556 mg DQO/L; $C_{efl} = 0,335 \text{ kg DBO/m}^3$ o 335,85 DBO/L

Fuente: Elaboración propia adaptada de CONAGUA, 2015.

- **Biogás:** En algunas situaciones el valor calorífico del gas es suficiente debido al alto contenido en CO_2 . Se puede afirmar de manera general que la composición proximal del biogás es 70 % en CH_4 y en 30 % CO_2 , con trazas de H_2S , nitrógeno, hidrógeno y oxígeno (FAO, 2017).
- **Lodo:** El lodo proveniente de un reactor UASB puede tener un valor económico como es el caso del lodo granular. Alternativamente el lodo se puede usar como abono para cultivos siempre y cuando no tenga contenido de metales pesados (FAO, 2017).

3.2.1. Estimación teórica de los subproductos: En la Tabla 28 se estima la producción de metano, producción de biogás y producción de lodo, por unidades de reactor (por diseño de operatividad y mantenimiento).

Tabla 28. Producción de subproductos (explicación).

	Expresiones	Resultado
Estimación de la producción del metano /Producción teórica del metano	$DQO_{CH_4} = Q * [(S_0 - C_{efl}) - Y_{obs} * S_0]$ <p>DQO_{CH_4} = carga de DQO convertida a metano. (kg DQO_{CH_4}/d)</p> <p>Y_{obs} = coeficiente de producción de sólidos en el sistema, en términos de DQO (0,11 a 0,23 kg DQO_{lodo}/kg $DQO_{aplicada}$), como recomendación se toma, por tanto, 0,21 (CONAGUA, 2015).</p> $K(t) = \frac{P + K_{DQO}}{[R * (273 + T)]}$ <p>P = 1 atm K_{DQO} = 64 g DQO/mol R = 0,08206 atm L/mol K</p> $Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$	<p>Por unidad de reactor: $DQO_{CH_4} = 338,038$ kg DQO_{CH_4}/d</p> <p>Por ambas unidades: $DQO_{CH_4} = 676,076$ kg DQO_{CH_4}/d</p> <p>$K(t) = 2,585$</p> <p>Por unidad de reactor: $Q_{CH_4} = 130,769$ m³/d</p> <p>Por ambas unidades: $Q_{CH_4} = 261,538$ m³/d</p>
Producción del biogás Se determina estimando el porcentaje de metano en el biogás. Para un contenido de metano de 70 % en el biogás. (Considerando el rendimiento 70 % / 30 %)	$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0,70}$	<p>Por unidad de reactor: $Q_g = 186,812$ m³/d</p> <p>$Q_g = 7,78$ m³/h.</p> <p>Por ambas unidades: $Q_g = 373,625$ m³/d</p> <p>$Q_g = 15,56$ m³/h.</p>
Producción de lodo	$P_1 = Y DQO_{aplicada}$ <p>P_1 = Producción de sólidos en el sistema (kg SST/d)</p> <p>Y = Rendimiento o coeficiente de producción de sólidos (kg SST/kg $DQO_{aplicada}$)</p> <p>$DQO_{aplicada}$ = Carga de DQO aplicada al sistema (kg DQO/d)</p>	<p>Por unidad de reactor: $P_1 = 46,56$ kg SST/d</p> <p>Por ambas unidades: $P_1 = 93,12$ kg SST/d</p> <p>Por unidad de reactor: $DQO_{apl} = 596,808$ kg DQO/d</p> <p>Por ambas unidades: $DQO_{apl} = 1193,616$ kg DQO/d Y = 0,078 kg SST/kg DQO Y ~ 0,1 kg SST/kg DQO</p>

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

Los reactores de tipo RAFA presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación

y manutención), producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento (Bermúdez, R. Rodríguez, S. Ramírez y Koetz., 1998).

Los costos de inversión de una planta RAFA dependen de su tamaño, las características del residual a tratar, el equipamiento auxiliar, las facilidades del postratamiento, entre otros aspectos. Teniendo en cuenta que el consumo energético es bajo y que la operación no es compleja, los costos totales de operación son bajos; esto unido a nuestro clima tropical donde la producción de metano se maximiza, hace que la digestión anaerobia con estos reactores se convierta en una alternativa atractiva desde el punto de vista técnico-económico-social (Bermúdez, R. Rodríguez, S. Ramírez y Koetz., 1998).

4. Lodos activados

Las bacterias cumplen un papel imprescindible en el tratamiento biológico; son células “*procaryotes*” (sin núcleo con un límite definido).

En un tratamiento biológico aeróbico, su funcionamiento parece similar al de todo ser vivo puesto que transforman la materia orgánica en presencia de oxígeno para desarrollarse y reproducirse. Su tamaño (entre 1 μm y 10 μm .) y su número permite absorber y transformar los contaminantes disueltos de muy pequeño tamaño (1/1000 μm .) en CO_2 y sólidos en suspensión (Charpentier, 2014).

Tienen también la propiedad de aglomerarse entre ellas y adherirse a las partículas inertes del medio, creando así flóculos cercanos a 1 mm. Es la fase “aglomeración”. Esta última propiedad permite la separación física de las aguas claras purificadas de los lodos formados por los flóculos (Charpentier, 2014).

Un tratamiento biológico implica 2 etapas (ver Figura 37): una etapa que consiste en formar los flóculos (etapa aireación) y la etapa separación (etapa decantación) (Charpentier, 2014).

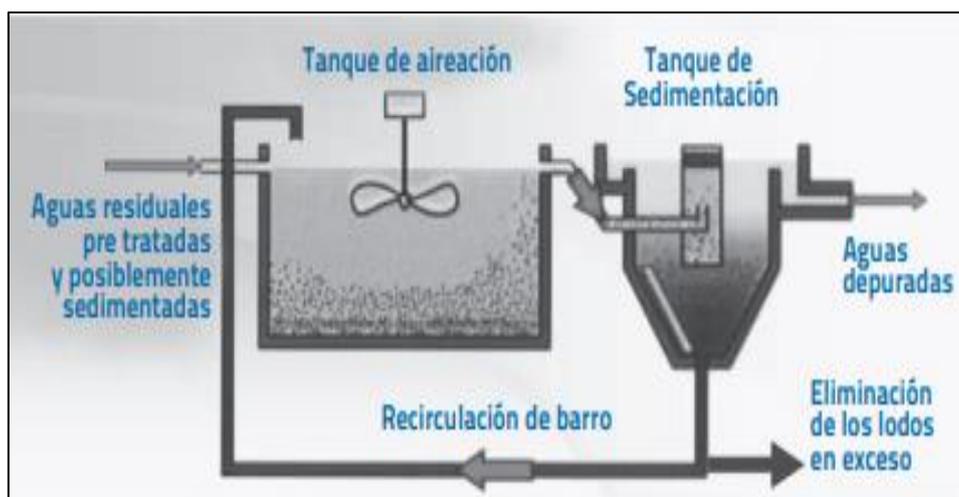


Figura 37. Sistema de lodos activados – tanque de aireación y de sedimentación.
Fuente: Charpentier, 2014.

Para el diseño completo del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Congelados R, se considera como postratamiento el sistema de lodos activados partiendo de los datos del RAFA como afluente para el sistema.

4.1. Dimensionamiento y diseño del sistema “Lodos Activados”. Para el dimensionamiento del sistema de lodos activados, se tomarán como datos iniciales los valores finales obtenidos en el sistema RAFA; en especial la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), estos se detallan en la Tabla 29.

Tabla 29. Parámetros iniciales para el tratamiento de lodos activados.

Datos	Valores
Caudal promedio (Q_{prom}) (del sistema RAFA)	480 m ³ /día
Estimación de las concentraciones de DBO en el efluente final	$C_{efl} = 0,335 \text{ kg DBO/m}^3$ o 335,85 DBO/L
Caudal de ingreso Eficiencia: $E_{DBO} = 100 * (1 - 0,70(t)^{-0,50})$	$0,335 \text{ kg DBO/m}^3 * 480 \text{ m}^3/\text{d} = 160,8 \text{ kg DBO/d}$ $E_{DBO} = 85,71 \%$
Carga DBO (afluente)	Carga DBO = 14,29 % x 160,8 = 22,97 kg DBO/d

Fuente: Elaboración propia adaptada de Fernández F, 2015.

Para el desarrollo, como primera instancia no se consideran los incrementos de caudales y cargas provenientes de recirculaciones de la línea de tratamiento de lodos.

4.2. Etapa aireación. Un tanque de aireación está equipado de aireadores para suministrar el oxígeno a las bacterias que colonizan la biomasa. Los dos procesos más extendidos para suministrar el aire son por una parte los aireadores de superficie y por otra parte los difusores de aire dispuestos sobre el fondo del tanque (Fernández F, 2015).

La aireación de las aguas residuales que residen en el tanque de aireación genera la formación de flóculos debido a las propiedades de las bacterias. Para acelerar la formación de estos flóculos, que constituyen la biomasa, la puesta en marcha de una estación de depuración puede ser acelerada por el aporte de lodos de una u otra instalación (Charpentier, 2014).

El buen funcionamiento de la etapa aireación consiste en un equilibrio entre 3 elementos:

1. La cantidad de materia orgánica que constituyen la contaminación,
2. La cantidad de bacterias que son la base de la biomasa
3. La cantidad de oxígeno necesaria para las bacterias con el fin de asimilar las materias orgánicas (Fernández F, 2015).

4.2.1. Volumen necesario de tanques de aireación. Depende del ingreso de afluente con una eficiencia estimada del 85,71 % en la remoción de la carga de DBO para el sistema de lodos activados.

El factor de carga (f) estimado se recomienda que se encuentre en un intervalo [0,16 a 0,40] con unidades kg DBO / kg SS día (como recomendación se tomará un valor intermedio). Para el desarrollo del diseño se empleará $f = 0,2$ kg DBO / kg SS. Día, correspondiente a una relación alimento microorganismos (A/M) que se encuentra en un intervalo de [0,2 a 0,5] kg DBO/kg SSV.día; $A/M = 0,28$ kg DBO / kg SSV.día. Y una concentración de 2 kg SS /m³ en el tanque de aireación, correspondiente a una concentración de SSV de 1,6 kg SS /m³, con ello se tiene el volumen necesario en el tanque de aireación.

En la Tabla 30 se presenta a modo de resumen los parámetros mencionados con sus respectivos resultados.

Tabla 30. Parámetros importantes para el sistema de tratamiento de lodos activados

Datos	Resultados
<p>Factor de carga (f)</p> $f = \frac{QS_0}{X_t \cdot V_{TA}}$ <p>[X_t; concentración de SS (sólidos solubles); V_{TA} ; Volumen del tanque de aireación.]</p>	<p>f = 0,2 kg DBO/kg SS. día.</p> $0,2 = \frac{22,97}{2 \cdot V_{TA}}$ $V_{TA} = 57,425$
<p>Relación alimentación/microorganismos (A/M)</p> $A/M = \frac{QS_0}{X \cdot V_{TA}}$ <p>[X; concentración de SSV (sólidos solubles volátiles); V_{TA} ; volumen del tanque de aireación.]</p> <p>Los sólidos solubles volátiles (SSV), equivalen al 80 % de los sólidos solubles (SS) (totales SST).</p>	$\frac{A}{M} = \frac{22,7}{1,6 \times 57,425}$ $\frac{A}{M} = 0,25$
<p>Volumen del tanque de aireación, V_{TA}</p> <p>Se recomiendan dos unidades, por cuestión de operatividad y mantenimiento a una de las unidades de aireación (tanque de aireación) que tengamos que hacer.</p> <p>Número de tanques de aireación = 2</p>	$V_{TA} = 57,425$ $V_{TA1} = 28,712 \text{ m}^3$ $V_{TA2} = 28,712 \text{ m}^3$

Fuente: Elaboración propia adaptado de Charpentier, 2014.

4.2.2. Dimensiones de los tanques de aireación. Como recomendación para el dimensionamiento del tanque de aireación (ver Tabla 31), se considera que la dimensión de longitud (L) irá en relación de 1 a 4 respecto el ancho (W).

Y para la altura; se recomienda el valor de 4 m; según el diseño, y las condiciones de éste.

Tabla 31. Dimensionamiento de medidas para el tanque de aireación.

Datos	Resultados
Largo (m) $\frac{L}{W} = 4 ; L = 4 W$	5,36 m
Ancho (m)	1,34 m
Altura (m)	4 m

Fuente: Elaboración propia adaptada de Charpentier, 2014.

4.2.3. Sistema de aireación. Considerando una demanda de oxígeno igual a $2,0 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_{\text{ap1}}$, la necesidad de oxígeno será:

$$\text{NEC}_{\text{O}_2} = \frac{(2,0 * 22,97)}{24} = 191 \text{ kg O}_2 / \text{hora}$$

$$\text{NEC}_{\text{O}_2} = 45,84 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

Los aireadores más utilizados son (Charpentier, 2014):

- Aireadores de superficie (turbinas rápidas o lentas, aireadores tipo cepillas)
- Compresores o sopladores con difusores dispuestos en el fondo del tanque.

La eficiencia de los aireadores es caracterizada por el AEB (Aporte Específico Bruto de oxígeno) medido en kg de O_2 disuelto en agua/kWh consumido. La eficacia de difusión del oxígeno puede también ser evaluada por el porcentaje de oxígeno efectivamente disuelto en agua con relación al oxígeno inyectado. AEB y rendimiento de difusión de O_2 son valores que debe dar el proveedor de material (aireadores o difusores de aire) (Fernández F, 2015).

Para la utilización de aireadores superficiales de baja rotación: se considera una capacidad de transferencia de $0,9 \text{ kgO}_2 / \text{Cv x hora}$ (potencia máxima por hora).

Potencia necesaria:

$$P_{\text{NEC}} = 1,91 / 0,9 = 2,12 \text{ Cv o } 2,12/2 = 1,06 \text{ Cv (potencia máxima) por tanque.}$$

La puesta en suspensión de la biomasa debe ser correctamente asegurada ($> 30 \text{ W} / \text{m}^3$ en caso de aireadores de superficie) (Charpentier, 2014).

4.2.4. Tiempo de retención hidráulico resultante (T_d). Su valor depende de la concentración del afluente. Es cercano a 1 día en caso de baja carga para un efluente del cual la concentración en DBO $\cong 400 \text{ mg DBO} / \text{l}$ (Charpentier, 2014).

$$T_d = \frac{\text{volumen del tanque de aireación (m}^3\text{)}}{\text{volumen cotidiano del afluente (} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{)}}$$

$$T_d = \frac{57,425}{480} = 0,11 \text{ días}$$

$$T_d = \frac{57,425}{\left(\frac{480}{24}\right)} = 2,8 \sim 3 \text{ horas.}$$

En la Tabla 32, a modo de resumen se presentan los datos del sistema de aireación, potencia necesaria y tiempo de retención hidráulica resultante.

Tabla 32. Tabla de resumen de datos

Datos	Resultados
Necesidad de oxígeno (NEC_{O_2})	$NEC_{O_2} = 45,84 \text{ kg O}_2/\text{día}$
Potencia necesaria (P_{NEC})	$P_{NEC} = 1,91 / 0,9 = 2,12 \text{ Cv}$ O $2,12/2 = 1,06 \text{ Cv}$ por tanque.
Tiempo de retención hidráulico resultante (T_d)	$T_d = \frac{57,425}{480} = 0,11 \text{ días}$ $T_d = \frac{57,425}{\left(\frac{480}{24}\right)} = 2,8 \sim 3 \text{ horas.}$

Fuente: Elaboración propia adaptada de Charpentier, 2014.

4.2.5. Alternativa para el sistema de aireación. En caso se utilice sistema de aireación difusa, considerando la masa específica de aire igual a $1,2 \text{ kg/m}^3$, un porcentaje de O_2 en el aire de $23,2 \%$ y un rendimiento del soplador de 8% , el caudal necesario de aire será (Lodos Convencionales, 2016):

$$Q_{\text{AR}} = \frac{1,91}{(1,2 \cdot 0,232 \cdot 0,08 \cdot 60)} = 1,429 \text{ m}^3 \text{ aire / minuto}$$

4.2.6. Caudal del lodo de retorno. El caudal de retorno del lodo (ver Figura 38) se estima considerando que el lodo estará sedimentado en el fondo del decantador secundario con una concentración de $8,0 \text{ kg/m}^3$ (dato típico). Haciendo un balance de masa de sólidos en suspensión en el decantador secundario y despreciando la pérdida en el efluente final se tiene (Lodos Convencionales, 2016):

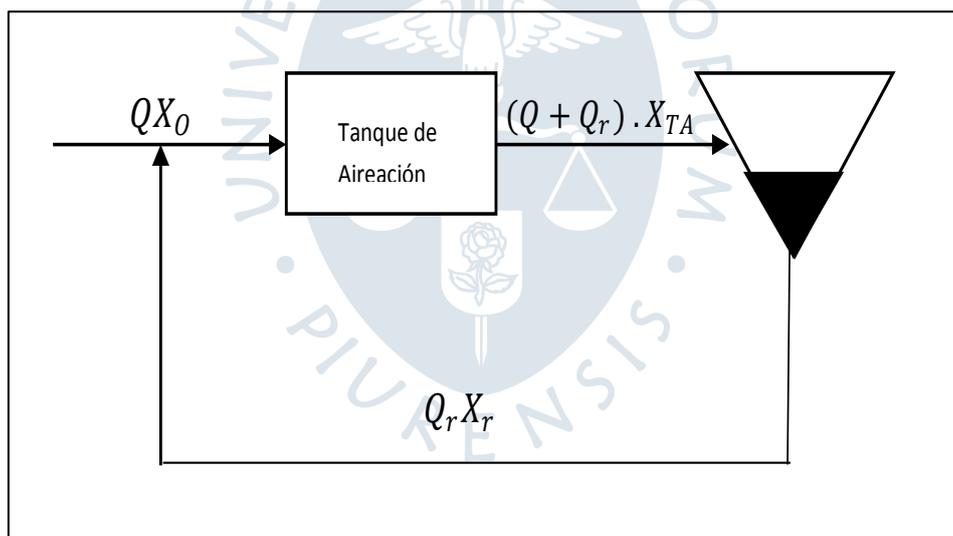


Figura 38. Recirculación de lodos-balance de masa.
Fuente: Elaboración propia

~~$$QX_0 + Q_r X_r = (Q + Q_r) \cdot X_{TA}$$~~

$$Q_r X_r = (Q + Q_r) \cdot X_{TA}$$

Dividiendo entre Q y obteniendo: $r = Q_r / Q$, se tiene:

$$r \cdot X_r = (1+r) \cdot X_{TA}$$

$$r \cdot 8 = (1+r) \cdot 2$$

$$r = 0,33$$

Para $X_{TA} = 2 \text{ kg/m}^3$ y $X_r = 8 \text{ kg/m}^3$ (dato típico); obtenemos $r = 0,33$ y $Q_r = 0,33 \times 5,55 = 1,83 \text{ L/s}$ o $0,92 \text{ L/s}$ por módulo en la segunda etapa.

4.2.7. Producción de exceso de lodo biológico

$$\Delta X = 0,65 \text{ kg SS / kg DBO [dato típico]}$$

$$\Delta X = 0,65 \times 22,97 = 14,93 \text{ kg SS/día}$$

Para un lodo con $8,0 \text{ kg SS/m}^3$ y masa específica 1010 kg/m^3 , el caudal de exceso de lodo será (Lodos Convencionales, 2016):

$$Q_{\text{lodo}} = \frac{14,93}{0,008 \times 1010} = 1,85 \text{ m}^3/\text{d}$$

4.2.8. Edad de lodos (θ_c). El criterio de la edad de los lodos es importante ya que el tiempo de replicación de las bacterias nitrificantes es más largo que el de las bacterias que participan en la degradación de la contaminación carbonosa (Fernández F, 2015).

Una edad de lodos suficiente es necesaria para el desarrollo de las bacterias de la nitrificación (*Nitrobacter*) (Fernández F, 2015).

$$\text{Edad de lodos (días)} = \frac{V_{\text{tanque(m}^3)} \times \text{SS}_{\left(\frac{\text{kg SS}}{\text{día}}\right)}}{\text{SS}_{\text{de lodos en exceso (kg SS/día)}}$$

$$\theta_c \text{ (días)} = \frac{57,425 \times 2}{14,93}$$

$$\theta_c = 7,69 \text{ días}$$

4.2.9. Tanque de sedimentación. Decantadores secundarios. Adoptando una tasa de aplicación de sólidos $G_A=4,0 \text{ kg SS} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$, se obtendrá un área superficial necesaria para los decantadores secundarios:

$$G_A = \frac{(Q + Q_r) \cdot X}{A_s}$$

$$A_s = \frac{(Q + Q_r) \cdot X}{G_A}$$

$$A_s = \frac{(480 + 158,4) \cdot 2}{4,0 \times 24}$$

$$A_s = 13,3 \text{ m}^2 \text{ o } \frac{13,3}{2} = 6,65 \text{ m}^2 \text{ por decantador.}$$

4.2.10. Tasa de flujo superficial resultante

$$q_A = \frac{Q}{A_s}$$

$$q_A = \frac{480}{13,3} = 36,09 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$$

4.2.11. Volumen útil de decantadores secundarios/sedimentador

Para la profundidad útil se recomienda: $H_u = 3,5$ m.

$$V_u = 3,5 \times 6,65 = 23,275 \text{ m}^3 \text{ por decantador (volumen total de } 46,55 \text{ m}^3 \text{)}$$

Tiempo de retención hidráulico resultante:

$$t_d = \frac{46,55 \times 24}{480}$$

$$t_d = 2,3 \text{ horas}$$

5. Cloración

Es necesario implementar un sistema de cloración para la obtención de agua apta para el riego de áreas verdes, cuyo objetivo fundamental perseguido con la cloración del agua es la desinfección (Peña, 1984).

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización. Considerado, por tanto, como el proceso que conduce a la destrucción de la totalidad de los organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades (las bacterias, los virus y los quistes amebianos). Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son: el tífus, el cólera, el paratífus y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por los virus incluyen entre otras, la poliomielitis y la hepatitis infecciosa (Metcalf&Eddy, 1998).

La mayor parte de aguas aún en el caso de que sean totalmente claras o hayan sido sometidas a un tratamiento especial se encuentran generalmente contaminadas por microbios nocivos para el organismo humano. Por ello se precisa una desinfección eficaz del agua. La desinfección es extraordinariamente importante, tanto desde el punto de vista higiénico como desde el punto de vista estético. Su primer objetivo consiste en

evitar la transmisión de enfermedades, el segundo consiste en evitar el desarrollo de algas microscópicas que enturbian el agua comunicándole un color verdoso (Peña, 1984).

5.1. Demanda de cloro. El cloro en el agua es un agente químico muy activo. Si una pequeña cantidad de cloro se agrega al agua, reaccionará con la gran cantidad de sustancias disueltas o suspendidas en ella y entonces su poder como agente desinfectante quedará anulado. Así el cloro reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico lo cual da como resultado que no habrá desinfección. El manganeso, el hierro y los nitritos reaccionan de forma similar con el cloro, y por ello no se lleva a término ninguna desinfección.

Si se agrega la cantidad suficiente de cloro para que reaccione con los anteriores tipos de compuestos (compuestos reductores) y luego se continúa añadiendo, el exceso de cloro que se adicione reaccionará con cualquier materia orgánica presente para producir compuestos orgánicos de cloro. Los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante y puede causar sabores y olores. Si a partir de aquí se continúa agregando cloro en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco, un poco más de cloro que se añada quedará como cloro residual libre disponible (ver Figura 39), el cual es un agente desinfectante muy activo (Peña, 1984).



Figura 39. Curva de demanda de cloro.
Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

5.2. Reacciones con el agua. Cuando se añade cloro al agua químicamente pura se forma una mezcla de ácido hipocloroso (HClO) y ácido clorhídrico (HCl):



Esta reacción tiene lugar en pocos segundos y a temperatura normal.

En función de la temperatura y del pH de la disolución, el ácido hipocloroso se ioniza o disocia en hidrógeno e ión hipoclorito. Esta reacción es prácticamente instantánea y reversible.



Los compuestos que contienen cloro como, por ejemplo, el hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ y el hipoclorito de sodio NaClO se ionizan en el agua y dan lugar a iones hipoclorito (Peña, 1984):



Hipoclorito de Calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: Hace referencia al cloro como producto sólido, su apariencia es granulosa. Para su empleo debe disolverse en agua dónde es muy soluble y así es posible agregar la solución resultante empleando una bomba peristáltica, de manera similar a como se hace el hipoclorito de sodio.

También es posible agregar este reactivo por medio de un clorador o dosificador de pastillas. En este tipo de dosificadores una fracción del volumen de agua a desinfectar pasa por el clorador y entra en contacto con las pastillas. Se forma una solución de hipoclorito de calcio que se inyecta a la corriente de agua que fluye y el control de dosificación de cloro se efectúa por medio de válvulas del clorador de pastillas (Peña, 1984).

Este tipo de cloradores son útiles ya que no requieren de bomba para control de la dosis de cloro para desinfección del agua. No sólo se puede emplear hipoclorito de calcio como agente sólido de cloro activo. Otro producto muy empleado es el ácido tricloroisocianúrico o cloro 90 que tiene como ventajas el ser más fácil el control de su dosificación por ser menos soluble que el hipoclorito de calcio y la mayor aportación de cloro activo ya que contiene en porcentajes en peso un 90 % de cloro activo, mientras que el hipoclorito de calcio contiene un 65 % aproximadamente (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Agua, 2010).

5.3. Desinfección con hipoclorito de calcio – Preparación de Soluciones.

5.3.1. Preparación de solución clorada (solución líquida)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

C_1 = Concentración de cloro en envase original (ppm)

C_2 = Concentración de cloro en el preparado (ppm)

V_1 = Volumen de producto en envase original (ml)

V_2 = Volumen de producto preparado (ml)

$$V_1 = 1,05 \left(\frac{C_2 V_2}{C_1} \right)$$

5 % adicional para compensar la evaporación del cloro en forma de gas, que se forma en la reacción.

5.3.2. Preparación de solución clorada (sustancia sólida- granulada)

$$P = \frac{D \times V}{(\% \times 10)}; \quad P = \frac{D \times V}{\text{porcentaje del cloro según ficha técnica}}$$

Dónde:

P = peso del producto (Hipoclorito de calcio) en gramos a disolver en el tanque.

D = dosis de cloro libre en mg/l de solución a prepararse (mg/l) o (ppm)

V = volumen de agua de la estructura a desinfectar en litros

% = porcentaje de cloro libre del compuesto clorado (65 %, 75 %) (Ficha técnica)

10 = factor para que el resultado sea expresado en gramos del producto.

5.4. Características de los microorganismos en el proceso de cloración. Una variable importante en el proceso de cloración es la edad de los microorganismos. Para un cultivo bacteriano joven (1 día o menos) con una dosificación de 2 mg/L, se estima que sólo fue preciso un minuto para que se pueda alcanzar un número reducido de bacterias aproximadamente. Cuando el cultivo bacteriano se estima tenía 10 días o más, fueron precisos alrededor de 30 minutos aproximadamente para lograr una reducción comparable para la misma dosificación de cloro. Es probable que la causa del fenómeno observado sea la resistencia ofrecida por la envoltura de polisacárido que desarrolla el microorganismo conforme va envejeciendo. En el proceso de fangos activados, el tiempo medio de retención celular en el sistema afectará, por lo tanto, al proceso de cloración (Metcalf&Eddy, 1998).

A la vista del renovado interés existente en la reutilización del agua residual, la eficacia de eliminación de los virus en el proceso de cloración es de gran importancia. Desafortunadamente en la actualidad no se dispone todavía de datos definidos sobre ese tema (Metcalf&Eddy, 1998).

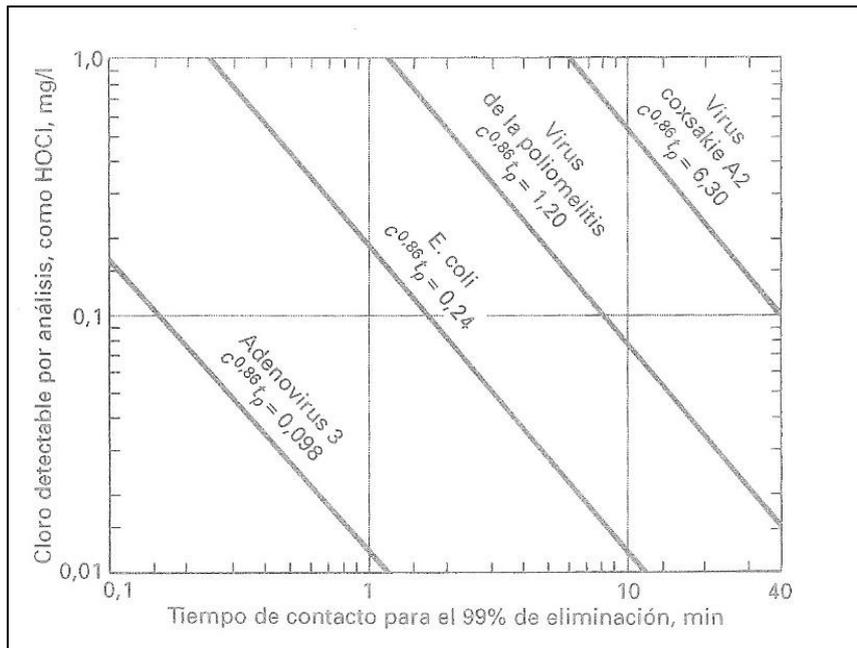


Figura 40. Concentración de cloro HClO necesario para la eliminación del 99 por 100 de los *E. Coli* y tres virus intestinales, entre 0 °C y 6°C.
Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

En el gráfico mostrado (Figura 40), se presentan algunos datos representativos sobre la efectividad del cloro en la destrucción de los *E. coli* y de tres virus entéricos. A partir de la evidencia disponible sobre la efectividad en la destrucción de virus en el proceso de cloración, parece que para destruir los virus es necesario clorar más allá del punto de quiebre (breakpoint) para obtener cloro libre. Cuando se utilice la cloración al punto de quiebre será necesario efectuar una decloración del agua residual tratada antes de su reutilización con el fin de reducir cualquier toxicidad residual que pueda quedar después de la cloración (Metcalf&Eddy, 1998).

5.5. Diseño de la unidad de desinfección. Se toma como referencia lo expuesto anteriormente. Según los estudios realizados y mencionados en el libro de Metcalf & Eddy, se estima que cuando el cultivo bacteriano tenía aproximadamente 10 días o más se necesita alrededor de 30 minutos para lograr una reducción comparable para la misma dosificación de cloro de 2 mg/L.

En la Tabla 33 se presentan los datos para el diseño de la unidad de desinfección, así mismo en la Figura 41 se observa de manera gráfica el diseño de esta unidad.

Tabla 33. Parámetros para diseño de la unidad de cloración.

Datos	Resultados
Tiempo de retención hidráulica $TRH = \frac{V}{Q}$	$TRH = \frac{V}{Q}$ $30 \text{ min} = \frac{V}{0,333 \text{ m}^3/\text{min}}$ $V = 9,9 \sim 10 \text{ m}^3$
Volumen $V = ALH = SH$ Dónde: V = volumen de la cámara de contacto (m ³) A = ancho de la cámara de contacto (m ³) L = largo de la cámara de contacto (m), generalmente entre 4 m y 7 m. S = área de la cámara de contacto que resulta del producto del ancho y largo (m ²).	$V = ALH = SH$ En relación: $2A = L$ Tomando como referencia $H = 4 \text{ m}^3$ $10 \text{ m}^3 = A * 2A * 4$ $A = 1,118 \sim 1,12 \text{ m}$ $L = 2,236 \sim 2,24 \text{ m}$

Fuente: Elaboración propia adaptada de Metcalf&Eddy, 1998.

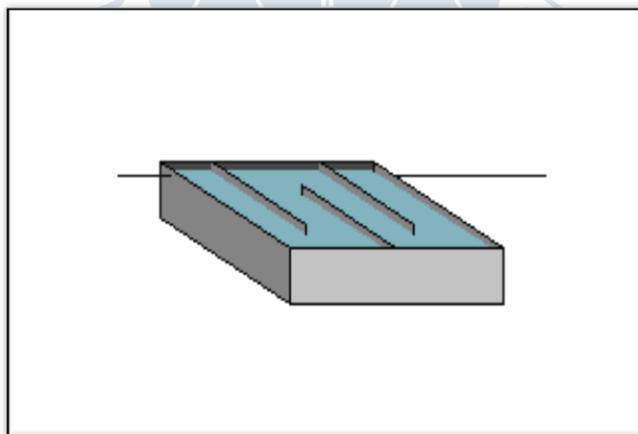


Figura 41. Unidad de desinfección
Fuente: Software GPS-X, 2018.

El diseño completo del sistema propuesto en la presente tesis, se ostenta en el Anexo D, abarcando desde rejillas hasta la unidad de desinfección.

Conclusiones

1. De los sistemas existentes para el tratamiento de las aguas residuales, se eligió la propuesta de un sistema anaeróbico (RAFA) seguido de un sistema aeróbico (Lodos activados) para el postratamiento, con el fin de lograr el objetivo planteado en la tesis de obtener resultados satisfactorios. Teniendo en cuenta según estudios realizados la eficiencia que poseen ambos sistemas, se logran buenos resultados numéricos acorde las exigencias establecidas para el sector pesquero, partiendo de los datos reales entregados por la empresa pesquera Congelados R.
2. El diseño propuesto cumple además con los objetivos planteados, principalmente con la reducción de la problemática de las aguas residuales, mejorar el diseño actual y evita el impacto ambiental. En conclusión, el diseño planteado ayudaría a reducir la contaminación ambiental.
3. Es necesario mencionar que el sistema planteado debe contar principalmente con un pretratamiento, rejas y desarenador, de tal forma que se evite el paso de partículas sólidas de gran tamaño que afecten al sistema anaeróbico, obstruyendo el ingreso de efluentes de aguas residuales de la empresa o alterando su operatividad. Por tanto, se incluye el pre tratamiento en el sistema. Además, es importante mencionar que la empresa Congelados R cuenta con canaletas para atrapar los residuos sólidos durante el proceso y para cubrir las canaletas existen también rejillas a fin de evitar que ingresen residuos de gran tamaño provenientes de la materia prima.
4. Con el sistema planteado se propone mejorar la administración y tratamiento de aguas residuales para un sector industrial pesquero, teniendo en cuenta que actualmente en la provincia de Paita son pocas las empresas que cuentan con un sistema de tratamiento para sus aguas residuales, derivando muchas de ellas a través de tubos clandestinos con desemboque al mar. Con esto se busca reducir la contaminación y evitar sanciones a futuro para plantas pesqueras que no cuentan con un sistema de tratamiento.
5. El desarrollo de la presente se enfoca esencialmente en el tratamiento de aguas residuales a partir de dos sistemas principales, RAFA y lodos activados, sin embargo, pueden existir otros sistemas que aporten y brinden resultados eficientes dentro de los límites establecidos para el sector evaluado, por tanto, amerita seguir investigando en el tema.

6. El tema económico es una limitación que todas las empresas pesqueras evalúan, por tanto, la tesis se enfoca en buscar soluciones prácticas y reducir costos, aparece así la idea del sistema RAFA (sistema anaeróbico) para el sector industrial pesquero porque su infraestructura y mantenimiento es ligeramente costoso a diferencia de otros sistemas que necesitan de energía eléctrica para su funcionamiento.
7. La falta de información y concientización evita que se preste la debida importancia al tratamiento de aguas residuales, enfocándose únicamente en la productividad y en los ingresos económicos, inclusive se tienen conocimientos equivocados sobre los sistemas existentes y los que utilizan actualmente, esto genera una falta de atención y preocupación para con el ambiente.



Recomendaciones

- Se sugiere que el Ministerio del Medio Ambiente en colaboración con la ANA deberían exigir mayor cuidado con el ambiente, tanto para empresas pesqueras privadas y públicas, instando el cumplimiento de la normativa establecida, evitando a fin que las aguas residuales terminen en el mar para que ya no se dé lo que actualmente está pasando, la contaminación de la bahía de Paita.
- Se recomienda a las empresas pesqueras concientizar al personal obrero y sus proveedores de materia prima, con la finalidad de inculcar la cultura del cuidado del agua, evitando la malversación de agua.
- En el sistema planteado para el punto de desinfección por cloración, se recomienda el uso de cloro líquido que el granulado además una de las mejores opciones es el dióxido de cloro que es una sustancia bactericida cuyo poder de desinfección es igual o superior al del cloro y que se ha comprobado que resulta más efectivo que el cloro en la inhibición e inactivación de virus. El dióxido de cloro no reacciona con el agua ni se disocia en ella, como ocurre con el cloro. Se ha podido comprobar que su influencia no es tan nociva para el medio ambiente acuático. Sin embargo, esto no quiere decir que debido a que no es nocivo sea arrojado al mar, sino que sería apto para el riego de áreas verdes.
- Es difícil establecer con cierta precisión el caudal más alto de efluentes para el sector pesquero, por ser un sector variable y dependiente de la temporada de la materia prima, sin embargo, para las temporadas de baja producción existen reprocesamientos, los que permiten que preexista un caudal para funcionamiento del sistema. Por motivos de la investigación se estimó a partir de los datos proporcionados por el encargado del sistema de tratamiento de la empresa en estudio considerando como caudal más elevado de la temporada y dependiente de la capacidad de procesamiento de planta, sin embargo, se debe tener en cuenta este parámetro porque influye directamente en el diseño del sistema. Cabe resaltar que para corroborar datos se evaluó el ingreso y consumo de caudales de agua para el proceso y durante el proceso; en un periodo de tiempo considerable y referencial. Se recomienda para una precisión de datos estudiar cuidadosamente el sector en relación a la producción.
- Concientizar a la población en general para el cuidado de la bahía de Paita, porque la mayor parte de las personas laboran en empresas pesqueras o tienen familiares que

trabajan en este sector, de tal forma que se evite el derroche de aguas y más aún cuando la empresa no tiene un sistema de tratamiento y deriva el agua a través de tuberías clandestinas con desemboque al mar. Esto incluye a los pescadores y el arrojado de desperdicios al mar.



Referencias bibliográficas

- Acosta, L. (2014). *Cálculos técnicos en el diseño de una planta de biogás. Caso de estudio "Tratamiento de vinazas de destilería en reactores UASB"*. Cuba. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/html/2231/223131465004/>
- Agurto Troncos, S. (2015); *La responsabilidad social de las empresas procesadoras de productos hidrobiológicos de la ciudad de Sullana*. Tesis de título de Licenciada en Ciencias Administrativas. Universidad nacional de Piura, Piura, Perú.
- Ali express (sf). Aparato de filtración al vacío de 100 ml, filtro de membrana, equipo de filtro de núcleo de arena de la tapa, química del matraz. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://es.aliexpress.com/item/32782497258.html>
- Alianza por el agua (2014). *Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos (UASB)*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t9.html>
- Ampudia, Miguel (2015). *La lenta agonía de la bahía de Paita y la muerte anunciada de su ecosistema*. Proactivo. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://proactivo.com.pe/la-lenta-agonia-de-la-bahia-de-paita-y-la-muerte-anunciada-de-su-ecosistema/>
- Arteaga Nuñez , Francisco (2016). Apuntes de clase del curso "Impacto y Gestión Ambiental".2016.
- Behling, E.; Rincón, N., (2008). *Tratamiento biológico de aguas residuales industriales: efluente camaronero en reactores RBC*. Venezuela. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/308609920_Tratamiento_biologico_de_aguas_residuales_industriales_efluente_camaronero_en_reactores_RBC
- Benites Acha, Jaime (2014). Contaminación de la bahía de Paita es un acta criminal. *El Correo*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://diariocorreo.pe/peru/contaminacion-de-la-bahia-de-paita-es-un-act-9048/>
- Bermúdez, R. Rodríguez, S. Ramírez y Koetz.(1998) *Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogas*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/267241848_Ventajas_del_empleo_de_reactores_UASB_en_el_tratamiento_de_residuales_liquidos_para_la_obtencion_de_biogas

- Biotec (2017). *Gestión integral de la materia orgánica*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://www.bio-tec.net/es/productos.html>
- Burbano Cendales, A. (2006). *Utilización del metano generado en un reactor anaerobio como fuente de energía en una industria de gaseosas*. Tesis de Grado para optar el título Ambiental y Sanitario. Universidad de la Salle, Bogotá.
- Caicedo Messa, F. (2006). *Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados*. Colombia. Curso de especialización en Ingeniería Ambiental.
- Caldera, M., Yaxcelys A., Madueno, M., (2003). *Efecto del tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes cárnicos*. Venezuela. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/904/90430105.pdf>
- Calle Calle, Carlos. (2013). Diagnóstico Socio Económico y Ambiental de la Zona Marino Costera de la Provincia de Paita. *Gobierno Regional Piura*. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <http://siar.regionpiura.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=195>
- Carranza Torres, M. (18 de noviembre, 2009). *Reporte sectorial: Sector Pesca*. Universidad Católica del Perú. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://centrum.pucp.edu.pe/adjunto/upload/publicacion/archivo/informepesca.pdf>
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos. Primera edición.
- Charpentier, J. (2014). *Tratamiento de aguas residuales con lodos activados*. España: Inti. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://inti.gob.ar/ue/pdf/publicaciones/cuadernillo6.pdf>
- Chirinos, O., Adachi, L., De la Torre, C., Ortega, A., Ramírez, P. (2009). *Industrialización y exportación de derivados de la pota*. ESAN Ediciones. Perú. Primera edición.
- Chuquitarqui de la Cruz, M. (2017); *Diseño y construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A.) para el tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno*. Tesis de título de Ingeniero Químico. Universidad nacional de Altiplano, Puno, Perú.

- Cidta (sf). *Características del agua residual*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/CURSO/UNI_02/u2c2s5.htm
- Colina Marquez, J. (2012). *Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal*. . Tesis de título de Ingeniero Químico. Universidad de Cartagena, Cartagena.
- Comisión Nacional del Agua (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente*. México. Recuperado el 06 de noviembre de 2018,de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.Lodos activados*.México. Recuperado el 06 de noviembre de 2018,de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro51.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.Introducción al tratamiento de aguas Residuales Municipales*. .México. Recuperado el 06 de noviembre de 2018,de <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- CONAGUA; Comisión Nacional del Agua (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.Sistemas Alternativos de Alcantarillado Sanitario*.México. Recuperado el 06 de noviembre de 2018,de <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro21.pdf>
- CONAGUA; Comisión Nacional del Agua (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.Tratamiento y disposición de lodos*. .México. Recuperado el 06 de noviembre de 2018,de <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro32.pdf>
- Davalos Navarro, A. (2011); *Determinación de la eficiencia para diferentes tiempos de retención hidráulica en un reactor UASB y su post-tratamiento con plantas acuáticas (Jacinto de agua) tratando agua residual doméstica a escala de laboratorio*. Tesis de título de Ingeniero Sanitario. Universidad nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- De Lemos Chernicharo, A. (2007). *Biological Wastewater Treatment Series*. Brazil. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402116.pdf>

- Dirección general de calidad Ambiental (2014). *Resolución Ministerial N° 178-2014-MINAM*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de http://www.minam.gob.pe/consultas_publicas/wpcontent/uploads/sites/52/2014/06/RM-N%C2%B0-178-2014-MINAM.pdf
- Dirección Regional de Salud, (2018). *Boletín epidemiológico regional*. Piura. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <https://www.diresapiura.gob.pe/documentos/Boletines%20Epidemiologicos/Boletin%20Regional%202005-2018.pdf>
- Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. (edUTeNe). (2010). *Energía a partir de las aguas residuales*. (Reporte informativo). Argentina. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de, http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia_aguas_residuales/energia_aguas_residuales.pdf
- Espinoza, Marco A. (30 de junio de 2016). *Aguas residuales en la industria pesquera*. Recuperada el 06 de noviembre del 2018, de <https://es.linkedin.com/pulse/aguas-residuales-en-la-industria-pesquera-marco-antonio-espinoza>
- Fernández Polanco, F. (2015). *Diseño de reactores. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://www.inti.gob.ar/ue/pdf/publicaciones/cuadernillo15.pdf>
- FRC system international (2017). *Sistemas de flotación por aire disuelto serie PCL*. Trusted wastewater solutions. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://frcsystems.com/compact-daf-system/>
- Gandarillas, V. Saavedra, O. (16 de junio de 2017). *Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa*. Bolivia. Recuperado el 06 de noviembre de 2018; http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S251844312017000100008&script=sci_arttext
- García Sifuentes, O. et al (2009) *Impacto del agua de cola de la industria pesquera*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3172739>
- Gunt Hamburg. (2012). *Tratamiento de aguas*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://www.gunt.de/es/productos/ingenieria-de-procesos/tratamiento-de-aguas/glct-1:pa-150:ca-252>

- Hess, M.L. (1980). *Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización*. En: Curso para ingenieros sobre operación y mantenimiento de lagunas para estabilización de aguas residuales. CEPIS. Lima, Perú.
- Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas (2010). *Desinfección y métodos de desinfección del agua*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, https://www.academia.edu/8844036/Ingenier%C3%ADa_de_Tratamiento_y_Acondicionamiento_de_Aguas
- Instituto del Mar del Perú, IMARPE (2008). *Variaciones de los SST en la bahía de Paita*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, <http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/include/busqueda.php>
- Instituto del Mar del Perú, IMARPE (2009). *Situación de la pesca artesanal en las regiones Piura- Tumbes*. Agosto, 2009. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I017102000000000000000000
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE). (2017). *Reporte de la Actividad Pesquera*. Perú. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=reportes
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Sector pesca creció 9.5% en 2017*. Agosto, 2017. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <https://www.inei.gob.pe/>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Boletín informativo. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf
- Lettinga, G & Hulshoff P. (1991). *Water science and technology*. Michigan: Editorial IWA.
- Lettinga, G et al. (1999). *Anaerobic wastewater treatment*. Michigan: Editorial Office Guidelines.
- Lozana Vinalay, N. (2010). *Cuadernillo de nuevas tecnologías para el tratamiento biológico de efluentes industriales*. La Paz. Recuperado 06 de noviembre de 2018, de <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2010.023.pdf>
- Marín Leal, J. (2014). *Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos*. Ecuador. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/3007>

- Marín V, Viviana (2012). *Propuesta y ampliación de alcantarillado sanitario*. Costa Rica. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, https://docplayer.es/60478989-Universidad-de-costa-rica-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-civil.html#download_tab_content
- Márquez Vázquez, M. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología*. centro tecnologico. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://aula.aguapedia.org/mod/resource/view.php?id=3953>
- Metcalf & Eddy. (Ed. 1). (1998). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y reutilización*. McGraw Hill: México.
- Metcalf & Eddy, I. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. McGraw Hill: México.
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2014). *Anuario estadístico pesquero y acuícola*; Perú. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <http://www.produce.gob.pe/documentos/estadisticas/anuarios/anuario-estadistico-pesca-2014.pdf>
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2015). *Anuario estadístico pesquero y acuícola*, Perú. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <http://www.produce.gob.pe/documentos/estadisticas/anuarios/anuario-estadistico-pesca-2015.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). *Delitos Ambientales. Código Penal título XIII*. Perú. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <http://www.minam.gob.pe/legislaciones/delitos-ambientales/>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2009). *Política Nacional del Ambiente*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Estudio de desempeño ambiental 2003-2013*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://www.minam.gob.pe/esda/parte-tres/>
- Monterroso Céspedes, J. (2011); *Estudio de los efluentes del procesamiento de papa en Piura y su potencial uso como fertilizante*. Tesis de título de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Morales Aquino, A. (sf). *Efectos, agua de cola*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, https://www.academia.edu/6933374/Efectos_agua_de_cola

- Municipalidad provincial de Paita (2011). *Estudio complementario de las condiciones de riesgos de desastres en la ciudad de Paita*. Paita. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/Documentos/EstudiosyAsistencia/Estudios/MicrozonificacionSismicaNacional/Paita/01_INFORME/Informe_Paita_final.pdf
- Municipalidad de Paita (2016). *Subasta de terrenos*. Paita. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://munipaita.gob.pe/portal/component/jdownloads/category/206-subasta-de-terrenos-2016>
- Nieto Freire, D., (2010). *Diseño de un sistema de aireación de superficie con aplicación de Matlab*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_NIETO%20FREIRE_FIPA.pdf
- Núñez Álvarez, C. (2014); *Recuperación de sólidos del agua de cola por coagulación-floculación y cuantificación de histamina*. Tesis de título de Ingeniero Pesquero. Universidad nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (OEFA). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Lima.
- Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura (FAO), (2017). *Manual de biogás*. Chile. Recuperado del 06 de noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Ortega Mafla, Jose O. & Carbajal Ruiz, Armando E. (2014). *Gestión de lodos producto de la potabilización de agua y recuperación del agua utilizada en el lavado de filtros y sedimentadores en la planta de tratamiento de puengasí de la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento quito*. Tesis de grado previo a la obtención del grado de magister en Ingeniería Ambiental.

- Peña, José L. (1984). *Manual técnico del cloro*. Sección Ibérica del GEST. Madrid.
- Piura Región. (2018). *Boletín Epidemiológico Regional*.
Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de http://www2.saludmoquegua.gob.pe/web/images/Boletin_Epidemiologico_2018/Bolet_04_2018.pdf
- Prieto Durand, Jaqueline. (2013, 30 de julio). Técnicos plantean alternativas para salvar el río Piura y el mar de Paita. *La República*. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <https://larepublica.pe/archivo/728244-tecnicos-plantean-alternativas-para-salvar-el-rio-piura-y-el-mar-de-paita>
- Quiroz Pedraza, P. (2009); *Planta de tratamiento de aguas residuales para regadío en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Tesis de título de Ingeniero Químico. Universidad nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Radio cutivalú (2016). *Detectan pozas de aguas servidas que desembocan en el mar*. Región Piura. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://www.radiocutivalu.org/paita-detectan-pozas-de-aguas-servidas-que-desembocan-en-el-mar/>
- Ramalho, R. (s.f). *Tratamiento secundario: El proceso de lodos activados*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/TRATAMIENTO.pdf>
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). (2000). *Tratamiento de aguas residuales*.
Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Rodríguez Fernández, A. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT_2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- Rodríguez V., Jenny A. (2014). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- Rolim Mendonca, Sergio. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío*. McGraw Hill. Colombia: Edición única.

- Romero Rojas, Jairo A. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales: teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia: 3 era edición.
- Ronzano, E.; Dapena, J. (2015). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Ediciones: Díaz de Santos.
- Sector pesquero de Perú crecería 65% este año por mayor desembarque de anchoveta. (2017, 04 de mayo). *Gestión*. Recuperado el 06 de noviembre, del 2018 de <https://gestion.pe/economia/sector-pesquero-peru-creceria-65-ano-mayor-desembarque-anchoveta-138689>
- Sierra Praeli, Yvette. (2018, 11 de mayo). Perú: El mar de Piura languidece entre desagües y contaminación de industrias. *Mongabay Latam*. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <https://rpp.pe/blog/mongabay/piura-el-mar-de-paita-languidece-entre-desagues-y-contaminacion-de-industrias-noticia-1122962>
- Sistemas Anaerobios (2017). *Sistemas anaerobios para tratamiento biológico de efluentes*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de <https://blog.condorchem.com/tag/sistemas-anaerobios/>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2008). *Diagnóstico situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México. (Mayo, 2013). *Tratamiento de aguas: Manual de laboratorio*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamiento-de-aguas_manualprac.pdf
- Valladares A., Rosa & Garay S., Alina (2016). *Eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas en el tratamiento del efluente del tanque séptico en la localidad de Marian*. Tesis para optar el título de Ingeniero Sanitario.
- Van Haandel, A.; Lettinga, G. (1994). *Tratamiento anaerobio*. Editorial : Epgraf. Brasil.
- Van Haandel, A.; Lettinga, G. (2003). *Ingeniería de aguas residuales*. Editorial: Iwapublishing.

- Zapata, Ralph. (2014, 09 de febrero). Fiscalía investiga a 52 empresas que contaminan Paita. *El Comercio*. Recuperado el 06 de noviembre del 2018, de <https://elcomercio.pe/peru/piura/fiscalia-investiga-52-empresas-contaminan-paita-291927>
- Zapata Gonzales, H. (2016, 17 de febrero). Piura: En Paita encuentran pozas de aguas residuales industriales clandestinas. *Diario Correo*. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/edicion/piura/piura-en-paita-encuentran-pozas-de-aguas-residuales-industriales-clandestinas-654329/>



Anexos

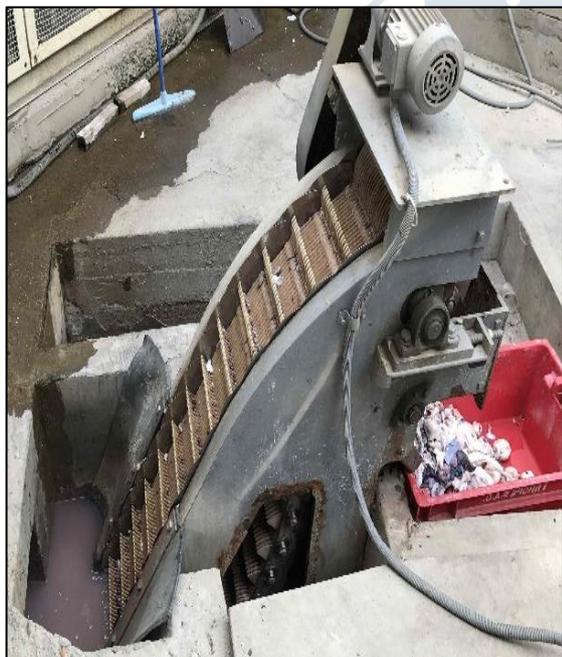


Anexo A. Fotografías del sistema actual de la empresa Congelados R.

Situación actual de la empresa Pesquera Congelados R.



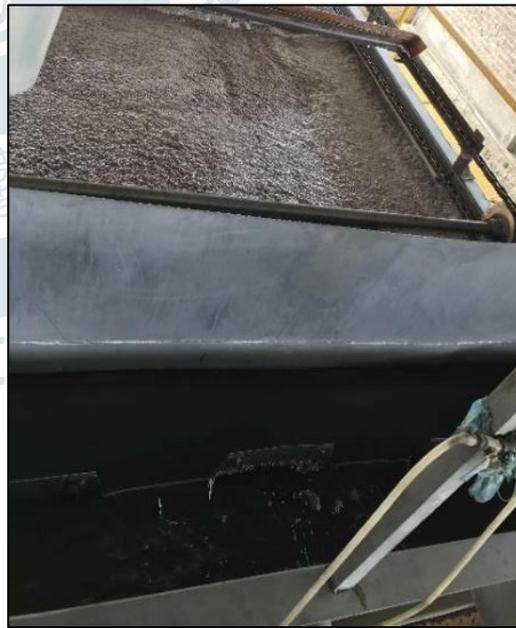
Filtro de residuos sólidos, para sistema de tratamiento DAF.



Filtro estático, separación de sólidos.



Punto inicial del sistema DAF.



Formación y recolección de capa de lodos.



Obtención de aguas tratadas – punto final del sistema DAF



Tanque de lodos, obtenidos en el proceso - punto final del sistema.



Muestra de agua obtenida al final del sistema.



Anexo B-1. Tabla de relación de afluente (ingreso de agua de red / cisternas) vs producción (ingreso de materia prima medida en toneladas).

Ingreso de afluente (agua de red / cisternas) (m ³)	Factor	Efluente (m ³)	Producción (t)
600	0.8	480	180
500	0.8	400	165
431	0.8	345	157
419	0.8	335	152
331	0.8	265	120
281	0.8	225	84
263	0.8	210	79
206	0.8	165	62
156	0.8	125	47
125	0.8	100	45
119	0.8	95	43
113	0.8	90	34
88	0.8	70	26

Fuente: Elaboración propia del estudio de tiempos y producción de la empresa Congelados R, 2018.

Anexo B-2. Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de la Industria pesquera de consumo humano directo

Parámetros / contaminantes	Unidad	Concentración en el efluente a descargar	
		Columna 1 Dentro zona protección ambiente litoral (*)	Columna 2 Fuera de zona protección ambiental litoral
Aceites y grasas (A y G)	(mg/L)	10	200
Sólidos suspendidos totales (SST)	(mg/L)	40	350
pH		6-9	6-9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	(mg/L)	50	500
Demanda química de oxígeno (DQO)	(mg/L)	60	600
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10 000	---

Fuente: Dirección General de Calidad Ambiental, 2014.

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

Anexo C. Informe de ensayo – empresa pesquera Congelados R.

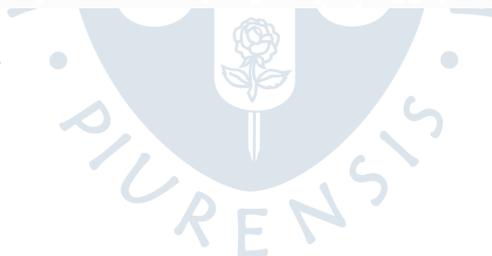
Pág. 1/1

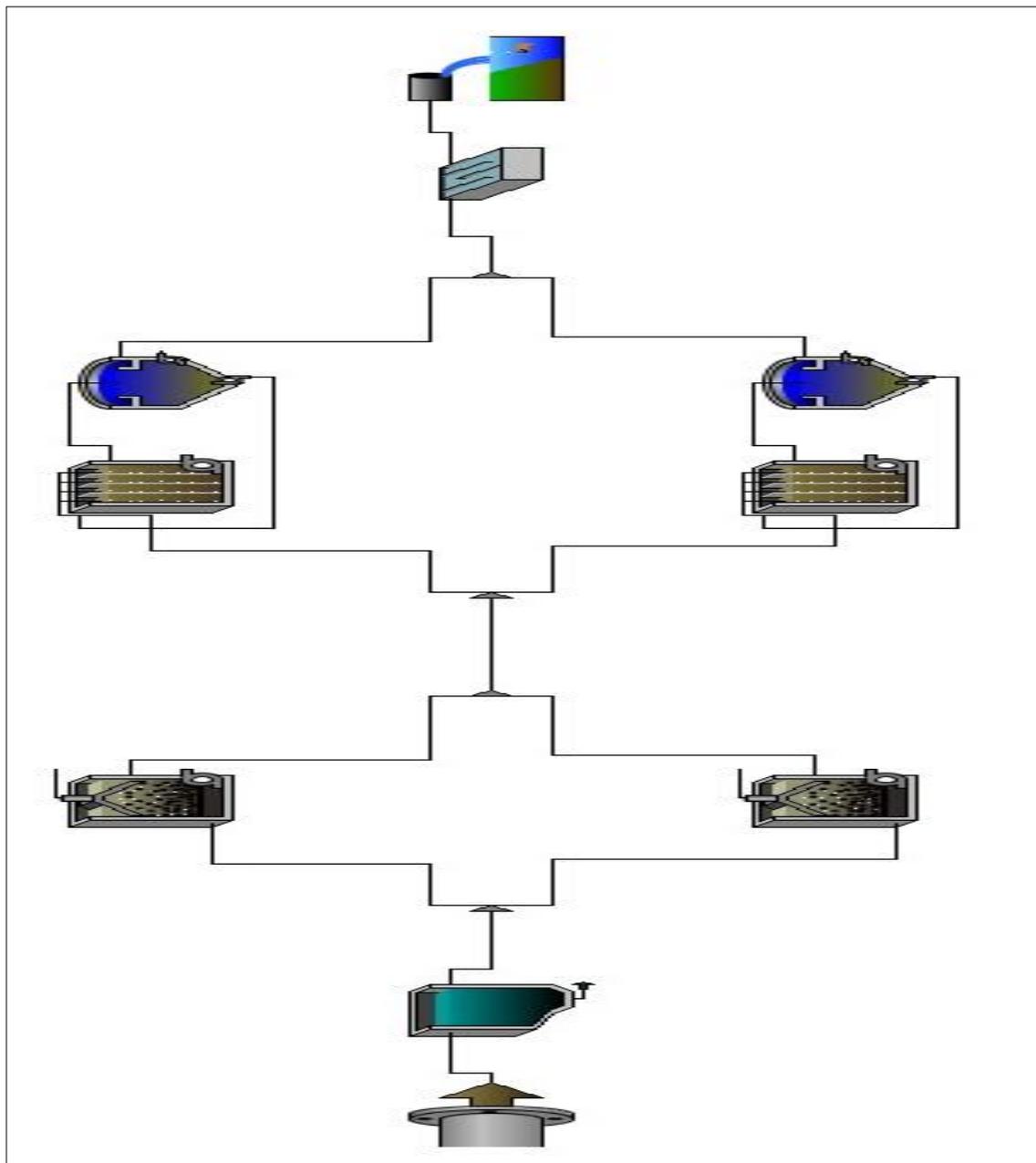
INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33375L/18-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

				AT-A-01	AT-B-01
Estación de Muestreo				2018-03-16	2018-03-16
Fecha de Muestreo				14:45	15:45
Hora de Muestreo				02802	02802
Código de Laboratorio				00001	00002
Matriz				ARI	ARI
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.		
Sulfuro	mg/L S-2	0.002	0.001	<0.002	<0.002
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	2 350.3	2 246.7
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6	<1.0	1.0
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	3.0	1.3	194,0	168,0
Nitrogeno Amoniacal	mg/L	0.015	0.008	117,780	88,030
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	2 486.7	2 493.3
Sólidos Sedimentables	ml/L/Hr	0.2	0.1	0,3	<0.2
Ensayos de Campo					
pH	Unidad de pH	--	--	6,78	6,86
Temperatura	°C	--	--	28,7	28,5

Fuente: Congelados R, 2018.



Anexo D. Diseño completo del sistema

Fuente: Elaboración propia adaptada de Software GPS-X.