

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL  
GENERADA POR LA INDUSTRIA PESQUERA**

**UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL  
RODOLFO SÁNCHEZ, EN GUAYMAS, SONORA, MEXICO.**

**Por**

**MINERVA ELIZABETH ARAUJO MORENO**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DICIEMBRE DE 1998.**

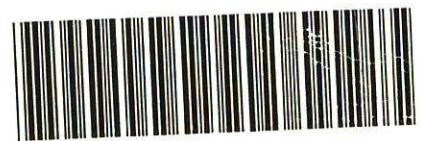
T

**TD899.F5**

**A7**

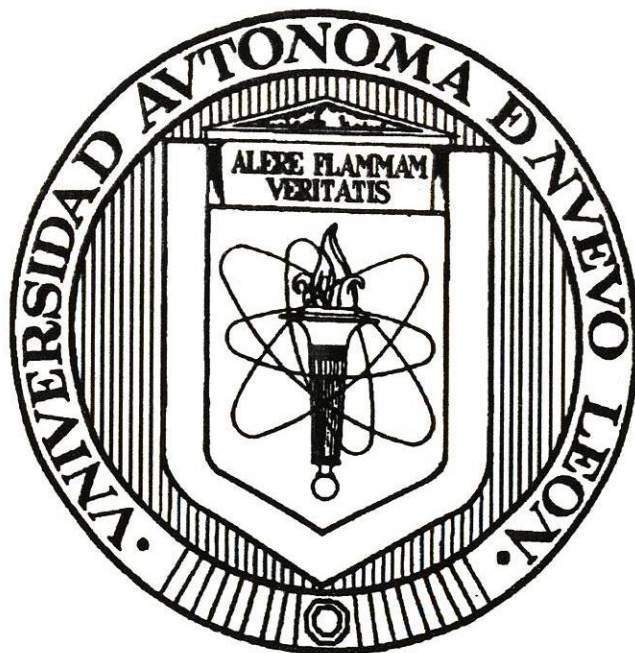
**1998**

**c.1**



1090015344

---



**RECTOR**  
**DR. REYES S. TAMEZ GUERRA**

**SECRETARIO GENERAL**  
**DR. LUIS J. GALÁN WONG**

**SECRETARIO ACADEMICO**  
**ING. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ TREVIÑO**

**DIRECTOR GENERAL DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**DR. ERARDO M. ELIZONDO VILLARREAL**



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



COMPROBANTE DE CORRECCION

Tesista: MINERVA ELIZABETH ARAUJO MORENO

Tema de la tesis: TRATAMIENTO Y DISPOSICION DEL AGUA  
RESIDUAL GENERADA POR LA INDUSTRIA PESQUERA  
UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL "RODOLFO SANCHEZ", EN  
GUAYMAS, SONORA, MEXICO.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA  
 del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográficos, metológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

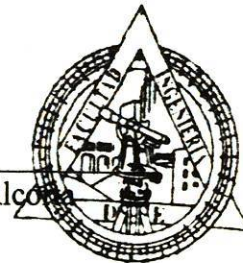
NINGUNA

Nombre y firma de quien corrigió:

*Ramón Longoria*  
 Arq. Ramón Longoria Ramírez

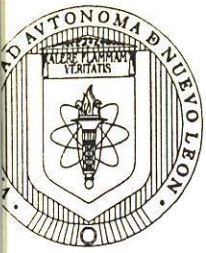
El Secretario de Postgrado:

*Ricardo*  
 Dr. Ricardo González Alcora

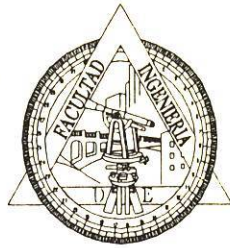


Ciudad Universitaria, a 10 de JULIO  
 de 1998.

SECRETARIA DE ESTUDIOS  
 DE POSTGRADO



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



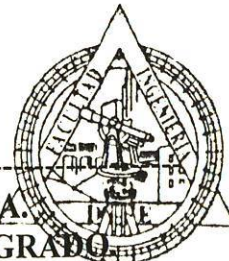
“TRATAMIENTO Y DISPOSICION DEL AGUA RESIDUAL GENERADA POR LA INDUSTRIA PESQUERA UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL RODOLFO SANCHEZ, EN GUAYMAS SONORA MEXICO”

APROBACIÓN DE TESIS

ING. FRANCISCO JAVIER MAYTORENA FONTES  
 ASESOR DE TESIS

M.C. JIMMY L. COAIZA NAVIA.  
 ASESOR DE TESIS

DR. RICARDO GONZALEZ ALCORTA.  
 EL SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Monterrey, N.L. a 14 de Noviembre de 1998.

**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA**  
**SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**P R E S E N T E.**

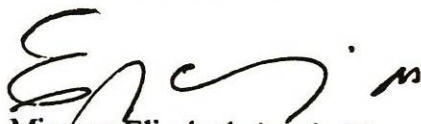
Estimado Dr. González.

Por medio de la presente me dirijo atentamente a Usted, para solicitar ante ese departamento, el Examen para obtener el Grado de Maestría en Ingeniería Ambiental, con la presentación del trabajo de tesis titulado "**TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL GENERADA POR LA INDUSTRIA PESQUERA UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL RODOLFO SÁNCHEZ EN GUAYMAS, SONORA, MÉXICO.**", lo anterior de acuerdo al reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución.

He de agradecerle, pasar las instrucciones necesarias para los tramites correspondientes ante ese departamento a su digno cargo.

Sin mas por el momento, hago propicia la ocasión para enviarle un cordial y atento saludo.

Atentamente



Ing. Minerva Elizabeth Araujo Moreno

C.c.p. M.C. Jimmy Luis Loaiza Navia. - Director de Tesis.

Monterrey, N.L. a 14 de Noviembre de 1998.

**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA**  
**SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**P R E S E N T E.**

Estimado Dr. González.

Por este conducto me permito comunicar a Usted que la Ing. Minerva Elizabeth Araujo Moreno, pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada " **TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL GENERADA POR LA INDUSTRIA PESQUERA UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL RODOLFO SÁNCHEZ EN GUAYMAS, SONORA, MÉXICO** ", por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución.

He de agradecerle, pasar las instrucciones necesarias para que le de el tramite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin mas por el momento, quedo de Usted agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente

M.C. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA



## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Universidad de Sonora, por su apoyo en la realización de mis estudios, así como, en la ejecución de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por proporcionarme los recursos económicos para la culminación de mis estudios.

Al H. Ayuntamiento de Guaymas, por su apoyo e interés en la realización de cada una de las actividades contenidas en este trabajo, especialmente deseo agradecer al Ing. Rodolfo Larios Velarde su amistad y apoyo.

Al Químico Marcial Córdova, gracias por su amistad y consejos que me guiaron para la toma de decisiones en este trabajo.

Mi afecto y sincero agradecimiento a mis asesores M.C. Jimmy Luis Loaiza Navia e Ing. Francisco Javier Maytorena Fontes, por su apoyo y valiosas aportaciones durante el desarrollo de este trabajo.

Deseo agradecer a mis maestros, la oportunidad de recibir sus conocimientos durante mi inolvidable estancia como estudiante en esa institución.

Al Ing. José David Rosas, por su apoyo desde el inicio de este proyecto hasta la conclusión del mismo.

Al Centro Regional de Investigaciones Pesqueras del Estado de Sonora.

A mis Amigos: Martha, Joaquín, Roberto, Griselda y Porfirio, con sincero afecto.

# CONTENIDO

Capítulo	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
FUNDAMENTOS DEL PROYECTO.....	5
Problemática Actual.....	7
Hipótesis de Trabajo.....	8
Objetivos del presente estudio.....	9
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. Aspectos generales del Area de Estudio.....	10
1.1 Localización de la zona.....	10
1.2 Actividades Productivas.....	12
1.3 Capacidad Industrial Instalada.....	13
1.4 Inventario y características de la Industria Pesquera localizado en el Parque Industrial Rodolfo Sánchez T.....	14
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. Descripción de proceso.....	15
2.1 Enlatado de Sardina.....	18
2.1.1 Materia Prima.....	18
2.1.2 Captura.....	18
2.1.3 Industrialización.....	18
2.1.4 Usos del agua y generación de aguas residuales.....	28
2.2 Enlatado de Atún.....	32
2.2.1 Procesamiento Industrial.....	32
2.2.2 Usos del agua y generación de aguas residuales.....	35
2.3 Enlatado de Anchoveta.....	39
2.3.1 Procesamiento.....	39
2.3.2 Usos del agua y generación de aguas residuales.....	39
2.4 Harinas de Pescado.....	42
2.4.1 Procesamiento.....	42
2.4.2 Usos del agua y generación de aguas residuales.....	44
<b>CAPÍTULO 3</b>	
3. Caracterización y aforo.....	50
3.1 Planta harinera.....	51
3.1.1 Recepción de materia prima.....	51
3.1.1.1 Aforo.....	51
3.1.1.2 Muestreo y análisis.....	52
3.1.2 Descarga de prensas.....	54

3.1.2.1	Aforo	54
3.1.3	Descarga de sobrenadante	56
3.1.3.1	Aforo	56
3.1.3.2	Muestreo y análisis	58
3.1.4	Descarga de Centrifuga	62
3.1.4.1	Aforo	62
3.1.4.2	Muestreo y análisis	64
3.2	Planta enlatadora	66
3.2.1	Transporte externo	67
3.2.1.1	Aforo	67
3.2.1.2	Muestreo y análisis	68
3.2.2	Transporte interno	70
3.2.2.1	Aforo	71
3.2.2.2	Muestreo y análisis	72
3.2.3	Drenado de latas	73
3.2.3.1	Aforo	73
3.2.3.2	Muestreo y análisis	75
3.3	Cargas contaminantes de los procesos	77
3.3.1	Industria harinera	77
3.3.2	Industria enlatadora	77

## CAPÍTULO 4

4	Análisis de alternativas y pruebas de tratabilidad	80
4.1	Tratamientos recomendados	80
4.1.1	Cribado	81
4.1.2	Sedimentación primaria	82
4.1.3	Flotación con aire disuelto	82
4.1.5	Tratamiento biológico	84
4.2	Selección de tratamientos a estudiar	85
4.3	Descripción de las pruebas de tratabilidad	88
4.3.1	Sedimentación floculenta	89
4.3.2	Flotación con aire disuelto	94
4.4	Pruebas de jarras	102
4.5	Resultados de las pruebas de tratabilidad	104
4.5.1	Efluente de la industria harinera	104
4.5.1.1	Sedimentación primaria	105
4.5.1.2	Flotación con aire disuelto	109
4.5.1.3	Flotación con aire disuelto y ayuda química	113
4.6	Efluente de la industria enlatadora	116
4.6.1	Sedimentación primaria	116
4.6.2	Flotación con aire disuelto	120
4.6.3	Coagulación química con sedimentación	120

4.6.4 Flotación con aire disuelto y ayuda química. ....	125
---	-----

## CAPÍTULO 5

5 Propuestas de solución. ....	130
5.1 Análisis comparativo de eficiencias. ....	130
5.1.1 Industria harinera. ....	130
5.1.2 Industria enlatadora. ....	131

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	139
--------------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA. ....	143
--------------------	-----

## LISTA DE TABLAS

### TABLAS

Tabla 1	Inventario de empresas procesadoras de productos pesqueros. . . .	14
Tabla 2	Volumen de materia prima procesada. . . . .	17
Tabla 2.1	Usos del agua en planta de enlatado de sardina. . . . .	29
Tabla 2.2	Caudales generados en enlatado de sardina. . . . .	30
Tabla 2.3	Calidad de agua dulce y agua salada utilizadas en la industria pesquera. . . . .	31
Tabla 2.4	Características del agua residual en industria enlatado de sardinas. . . . .	32
Tabla 2.5	Generación de aguas residuales en proceso enlatado de atún. . . . .	37
Tabla 2.6	Características del agua residual generada en diversas etapas del proceso de enlatado de atún. . . . .	38
Tabla 2.7	Generación de agua residual en el proceso de enlatado de anchoveta. . . . .	41
Tabla 2.8	Características del agua residual generada por enlatado de anchoveta. . . . .	41
Tabla 2.9	Generación de aguas residuales en planta productora de harina de pescado. . . . .	47
Tabla 2.10	Características del agua residual generada en industria de harina de pescado que cuenta con recuperación del agua de cola. . . . .	48
Tabla 2.11	Características de agua residual generada en industria de harina de pescado, sin recuperación de agua de color. . . . .	49
Tabla 3	Característica del agua en la etapa de recepción de materia prima en industria de harina de pescado. . . . .	53
Tabla 3.1	Resultado de análisis de grasas y aceites, conformes totales y fecales al inicio y al final de la operación. . . . .	54
Tabla 3.2	Aforo de descarga de prensa en harinera de pescado. . . . .	55
Tabla 3.3	Características del agua residual en etapa de prensado de Industria harinera de pescado. . . . .	57

Tabla 3.4	Aforo de descarga de sobrenadante en industria harinera de pescado .....	59
Tabla 3.5	Características de agua residual del sobrenadante en industria de harina de pescado .....	61
Tabla 3.6	Resultado de grasas y aceites conformes totales y fecales al inicio, intermedio y final de operación de superdecantes .....	62
Tabla 3.7	Afore de descarga en superdecante en industria harinera de pescado .....	63
Tabla 3.8	Características del agua residual de centrifuga en industria harinera del pescado en muestras compuestas .....	65
Tabla 3.9	Características del agua residual de centrifugas en industria harinera de pescado en muestras simples .....	66
Tabla 3.10	Características del agua residual en etapa de transporte externo de materia prima en industria de corte-enlatado de pescado .....	69
Tabla 3.11	Resultados de grasas y aceite conformes totales y fecales .....	70
Tabla 3.12	Características del agua residual en la etapa de corte-desvicerado de pescado .....	74
Tabla 3.13	Característica del agua residual en la etapa de corte desvicerado de pescado, muestras simples .....	75
Tabla 3.14	Características del agua residual generada en la etapa drenado de latas, en industria enlatadora de pescado .....	76
Tabla 3.15	Cargas contaminantes de industria de harina de pescado .....	79
Tabla 4.1	Eficiencias teóricas de remoción en procesos primarios y secundarios .....	87
Tabla 4.2	Concentraciones de sst a diversos tiempos y profundidades en prueba de sedimentación floculenta para descarga de la industria de harina de pescado .....	88
Tabla 4.3	Resultados de prueba de flotación con aire disuelto efluente industria harinera de pescado .....	111
Tabla 4.4	Resultados de prueba de flotación con aire disuelto y ayuda	

	química efluente de industria harinera de pescado. . . . .	115
Tabla 4.5	Concentración de sst obtenidas y diversos tiempos y profundidades en prueba de sedimentación floculenta para descargar industria enlatadora de pescado. . . . .	118
Tabla 4.6	Resultados de prueba de flotación con aire disuelto efluente de industria harinera de pescado. . . . .	122
Tabla 4.7	Resultados de prueba de jarra efluente industria enlatadora de pescado. . . . .	124
Tabla 4.8	Resultados de prueba de jarras de flotación con aire disuelto y ayuda química efluente de industria enlatadora de pescado. . . . .	127
Tabla 5.1	Resumen de eficiencias de remoción en pruebas de tratabilidad efluente industria harinera de pescado. . . . .	132
Tabla 5.2	Cálida esperada en agua residual tratada industria harinera de pescado. . . . .	133
Tabla 5.3	Resumen de eficiencias de remoción en prueba de tratabilidad efluente industria enlatadora de pescado. . . . .	137
Tabla 5.4	Calidad esperada en agua residual tratada de industria enlatadora de pescado. . . . .	138

## LISTA DE FIGURAS

### FIGURA

Fig. 1	Ubicación área de estudio. ....	11
Fig. 2	Diagrama general para enlatada de sardinas. ....	27
Fig. 2.1	Proceso de enlatado de atún. ....	36
Fig. 2.2	Proceso de enlatado de anchoveta. ....	40
Fig. 2.3	Diagrama general para la obtención de harina de pescado. ....	45
Fig. 4.1a	Sedimentación discreta. ....	91
Fig. 4.1b	Sedimentación floculenta. ....	91
Fig. 4.2	Modelo de laboratorio de columna de sedimentación particular floculenta. ....	92
Fig. 4.3a	Gráfica de entre de remoción de sst sobre tiempo de sedimentación para sedimentación floculenta. ....	93
Fig. 4.3b	% de remoción de sst sobre carga superficial para sedimentación floculenta. ....	93
Fig. 4.4	Esquema de flotación con aire disuelto. ....	99
Fig. 4.5	Modelo experimental para el proceso de flotación con aire disuelto. ....	100
Fig. 4.6	Gráfica % de remoción de sst sobre relación als. ....	101
Fig. 4.7	Modelo experimental de pruebas de jarras para obtener dosis optimas de coagulante. ....	103
Fig. 4.8	Sedimentación floculenta, industria harinera de pescado. ....	108
Fig. 4.9	Flotación aire disuelto industria harinera de pescado. ....	112
Fig. 4.10	Flotación de cuagulantes industria harinera de pescado. ....	114
Fig. 4.11	Sedimentación floculenta industria enlatadora de pescado. ....	119
Fig. 4.12	Flotación con aire disuelto industria enlatadora de pescado. ....	121
Fig. 4.13	Prueba de jarras industria enlatadora de pescado. ....	128
Fig. 4.14	Flotación con cuagulantes industria enlatadora de pescado. ....	129
Fig. 5.1	Eficiencia de tratamiento harinera de pescado. ....	134
Fig. 5.2	Eficiencia de tratamiento enlatadora de pescado. ....	136



## NOMENCLATURA

%	Por ciento
M <sup>3</sup> /Ton	Metro cúbico por tonelada
Ton/Hor	Tonelada por hora
Mg/Lt	Miligramo por litro
Temp	Temperatura
Seg.	Segundos
P. H.	Potencial hidrógeno
&.LT	Litros
O.D.	Oxígeno disuelto
C.E.	Conductividad eléctrica
UTJ	Turbidez
D.B.O	Demanda bioquímica de oxígeno
Nit. Org.	Nitrógeno orgánico
Nit. Amon.	Nitrógeno amoniacal
Fosf. Tot.	Fósforo total
GyA	Grasas y aceites
ST	Sólidos totales
STF	Sólidos totales fijos
STV	Sólidos totales volátiles
SST	Sólidos suspendidos totales
SSF	Sólidos suspendidos fijos
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
SDT	Sólidos disueltos totales
SDF	Sólidos disueltos fijos

SDV	Sólidos disueltos volátiles
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno
Colif. Tot.	Coliformes totales
Colif. Fec.	Coliformes fecales

## RESUMEN

La generación del agua residual como producto del procesamiento industrial de especies marinas, a contribuido a la contaminación existente en la bahía de Guaymas, provocando con esta acción, condiciones de desequilibrio ecológico de tan importante cuerpo de agua, cada vez. Que éstos son vertidos a dicho cuerpo, sin previo tratamiento.

Lo anterior, a generado la preocupación de los diversos sectores que conforman a la comunidad, más aún, a nivel de instancias gubernamentales actualmente se están gestionando los recursos necesarios para llevar a cabo acciones tendientes a la solución de la problemática de contaminación que prevalece, desde tiempo atrás, en la bahía.

Con la realización del presente proyecto, se pretende que éstas aguas residuales, sean manejadas, controladas y tratadas mediante el sistema de tratamiento aquí propuesto, en beneficio de nuestro entorno, y de ese patrimonio de la comunidad.

## INTRODUCCIÓN

La producción pesquera en México se desarrolla fundamentalmente en los litorales del país, tanto en los del pacífico, incluyendo el Golfo de California, como en los del Golfo de México y del Caribe.

En el litoral del pacífico se captura y desembarca alrededor del 70% del total de la pesca en el país. Y son los estados de Sonora, Baja California Norte, Sinaloa y Baja California Sur los principales receptores y procesadores de este porcentaje de pesca, en ese orden de importancia.

Por lo que se refiere a las especies capturadas, las principales, en cuanto a volumen de producción, son la sardina y los tunidos, y son estas especies las que principalmente se procesan a través de transformación industrial, en México.

La industria pesquera incluye los procesos de corte y enlatado, reducción a harina de pescado y congelación; como procesos de transformación de materia prima, solamente se tienen los dos primeros.

Estos procesos consumen grandes cantidades de agua, en las diferentes fases del proceso de industrialización; lo cual, aunado tanto a la composición orgánica de las especies transformadas, como a los gastos de agua manejados por las embarcaciones en su proceso de descarga en planta, generan grandes cantidades de aguas residuales, con elevadas cargas orgánicas contaminantes.

Estas aguas residuales se han vertido durante años, sin tratamiento alguno, a los cuerpos receptores, considerando al mar y a las bahías como los vertederos naturales para

## RESUMEN

La generación del agua residual como producto del procesamiento industrial de especies marinas, a contribuido a la contaminación existente en la bahía de Guaymas, provocando con esta acción, condiciones de desequilibrio ecológico de tan importante cuerpo de agua, cada vez. Que éstos son vertidos a dicho cuerpo, sin previo tratamiento.

Lo anterior, a generado la preocupación de los diversos sectores que conforman a la comunidad, más aún, a nivel de instancias gubernamentales actualmente se están gestionando los recursos necesarios para llevar a cabo acciones tendientes a la solución de la problemática de contaminación que prevalece, desde tiempo atrás, en la bahía.

Con la realización del presente proyecto, se pretende que éstas aguas residuales, sean manejadas, controladas y tratadas mediante el sistema de tratamiento aquí propuesto, en beneficio de nuestro entorno, y de ese patrimonio de la comunidad.

estos desechos, sin considerar los aspectos que esto pudiera ocasionar sobre la brota marina y sobre los habitantes de la región.

Lo anterior prevalece en la zona industrial “General Rodolfo Sánchez Taboada”, del Puerto de Guaymas, Sonora, ubicado a 120 Km. del suroeste de Hermosillo, la capital del Estado de Sonora.

La bahía de Guaymas, es un cuerpo de agua protegido, de aproximadamente 22.4 km<sup>2</sup>, que se encuentra ubicado en la parte central de la costa de Sonora. Las empresas procesadoras de productos pesqueros que conforman el Parque Industrial en mención están localizadas en el área de influencia de dicha bahía, y es ésta considerada el corazón del municipio, y el área de mayor cantidad de impactos negativos provenientes de la actividad industrial ha recibido durante la historia del municipio.

Los problemas generados por la industria, que se estudian en el presente trabajo, son del conocimiento público, en todos los niveles: de las autoridades y de los industriales, los productores, los académicos y la ciudadanía. Existe una clara percepción de la situación ambiental del área dañada por estas empresas, lo cual genera evidentemente un deterioro estético y sanitario.

El crecimiento de la actividad industrial en los alrededores de la bahía, ha ocasionado un rápido deterioro de la misma, se han perdido algunas de las características estéticas y funcionales que antes justificaron su desarrollo. Esta situación se refleja en problemas complejos y muntisectoriales que caracterizan a la bahía y ha sus alrededores, diferenciándose del resto del litoral municipal.

Con base en lo anterior, se hace presente la necesidad de considerar e implantar alternativas de solución tendientes en proporcionar un manejo y control adecuado de las aguas residuales provenientes del giro industrial procesador de productos pesqueros.

Para ello se elabora el presente trabajo, integrado por aspectos teóricos, técnicos y experimentales; abordando primeramente una descripción detallada sobre los procesos de enlatado de sardina, atún y anchoveta, así como del proceso de elaboración de harina de pescado.

Así mismo, se identifican aquellos puntos generadores de aguas residuales, el volumen de las mismas, y las condiciones en que se generan, el valor, la caracterización, el aforo y muestreo para cada descarga estudiada, a fin de contar con la información suficiente, la calidad y cantidad del agua residual proveniente de los procesos considerados.

Las técnicas de muestreo y análisis, se realizaron en estricto apego a la normatividad vigente en la materia, y fue el laboratorio del área ambiental de la Universidad de Sonora, donde se analizaron las muestras correspondientes.

Para un buen manejo, control y posible tratamiento del agua residual proveniente del giro estudiado, se llevaron a cabo pruebas de tratabilidad bajo los criterios técnicos que recomienda la diversa bibliografía consultada; considerando los fundamentos teóricos de sedimentación primaria, flotación con aire disuelto y coagulación química, como sistemas de tratamiento.

Por último, se realizó una valoración de las eficiencias que cada uno de los sistemas de tratamiento mencionados ofrecen para cada caso en particular.

Considerando lo anterior, surgió la alternativa de tratamiento más conveniente para la solución de los problemas generados por la ausencia de tratamiento, y el control del agua residual proveniente de la industria pesquera.

Se espera que el presente trabajo, sea de utilidad y de motivación para el sector industrial involucrado, así como, para todos aquellos sectores que de alguna manera han externado su preocupación por el problema de contaminación prevaleciente. Más aún, que sea una real contribución para beneficio de la comunidad y del entorno.



## FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

El puerto de Guaymas, Sonora, es un área que tiene, por sus características geográficas, importancia comercial, industrial y turística; sin embargo, a consecuencia del desarrollo pesquero del puerto, se ha incrementado una serie de actividades relacionadas con esta industria en la franja costera de la bahía; haciendo mención especial del parque industrial Rodolfo Sánchez Taboada, sitio en el cual se encuentran establecidas las empresas procesadoras de productos pesqueros, cuyos residuos constituyen el punto de estudio del presente proyecto.

Debido a lo anterior, en la actualidad resultan insuficientes los servicios de alcantarillado y la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales, con los que cuenta la ciudad; por lo tanto; las empresas procesadoras de productos pesqueros se han visto en la necesidad de verter sus aguas residuales en el interior de la bahía, sin tratamiento previo; situación que ha prevalecido en los últimos años, repercutiendo esto en el deterioro de la bahía, y ocasionando daños tal vez irreversibles, sobre las poblaciones de organismos naturales y las condiciones fisicoquímicas del medio acuático.

Así mismo, el aspecto físico y ambiental que hace tan sólo un poco más de una década era de gran belleza y atractivo turístico, donde se practicaban deportes acuáticos, es ahora sólo un añorado recuerdo.

Resulta imperativo implantar a la brevedad posible medidas que coadyuven a la solución del problema existente, cuya solución repercutirá sin duda en beneficios tanto desde el punto de vista ambiental, económico y sobre todo social, toda vez, que la empresa procesadora de productos pesqueros se ha visto seriamente afectada por

sanciones administrativas a las que ha sido sujeta por parte de las diversas autoridades competentes en la materia. Lo anterior, debido a las frecuentes quejas ciudadanas de los diferentes sectores de la población, mediante manifestaciones públicas, en las cuales han manifestado grupos ecologistas, prensa y otros medios informativos, acciones que hoy ejercen bastante presión social, al grado tal de que algunas empresas estudiadas en el trabajo aquí presentado han sido clausuradas temporalmente, sufriendo en consecuencia pérdidas económicas que, afectan finalmente, la economía de la región.

Por lo anteriormente expuesto, surge la inquietud de elaborar el presente proyecto, con el firme interés y la convicción de contribuir en la solución de los problemas generados por la falta de un manejo, control y tratamiento adecuado de las aguas residuales provenientes de la industria procesadora de productos pesqueros.

## **PROBLEMÁTICA ACTUAL**

La ausencia de un manejo y control adecuado de las aguas residuales generadas por la industria pesquera, localizada en el parque industrial Rodolfo Sánchez, de Guaymas Sonora; es un problema añejo, toda vez, que dichas aguas son vertidas sin tratamiento alguno al área de influencia de la bahía de la localidad; generando en consecuencia, deterioro ambiental y estética , aunado a problemas de carácter social por el reclamo de la población ante esta situación.

Con la finalidad, de evitar el problema anterior, es necesario proporcionar un manejo y control adecuado al agua residual en estudio, asegurándose al mismo tiempo, un desarrollo sostenible. Desarrollo que hará compatible el aspecto productivo con el respeto de nuestro entorno.

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Si se implementan éstos y otras medidas de tratar y disponer las aguas residuales generadas por la industria pesquera ubicada en el Parque Industrial Rodolfo Sánchez en Guaymas, Sonora, México, entonces disminuirán los riesgos de contaminación de epidemias, deterioro ambiental y daños a los ecosistemas naturales.

Se obtendrían beneficios económicos y ambientales con un uso óptimo del agua a utilizar en las diferentes etapas del proceso involucrado en la Industria Pesquera, más aún, la importancia de cumplir cabalmente con la legislación aplicable en esta materia.

## **OBJETIVOS**

- **Encontrar la forma óptima de tratar y disponer las aguas residuales generadas en el Parque Industrial Rodolfo Sánchez T.**
- **Asegurar el desarrollo de las actividades industriales pesqueras, evitando simultáneamente que éstos dañen el ambiente y afecten el lugar.**
- **Concientizar sobre el uso óptimo del agua, y su repercusión en la generación de agua residual.**
- **Contribuir a la continuidad o creación de empleos en la región.**

## CAPÍTULO I

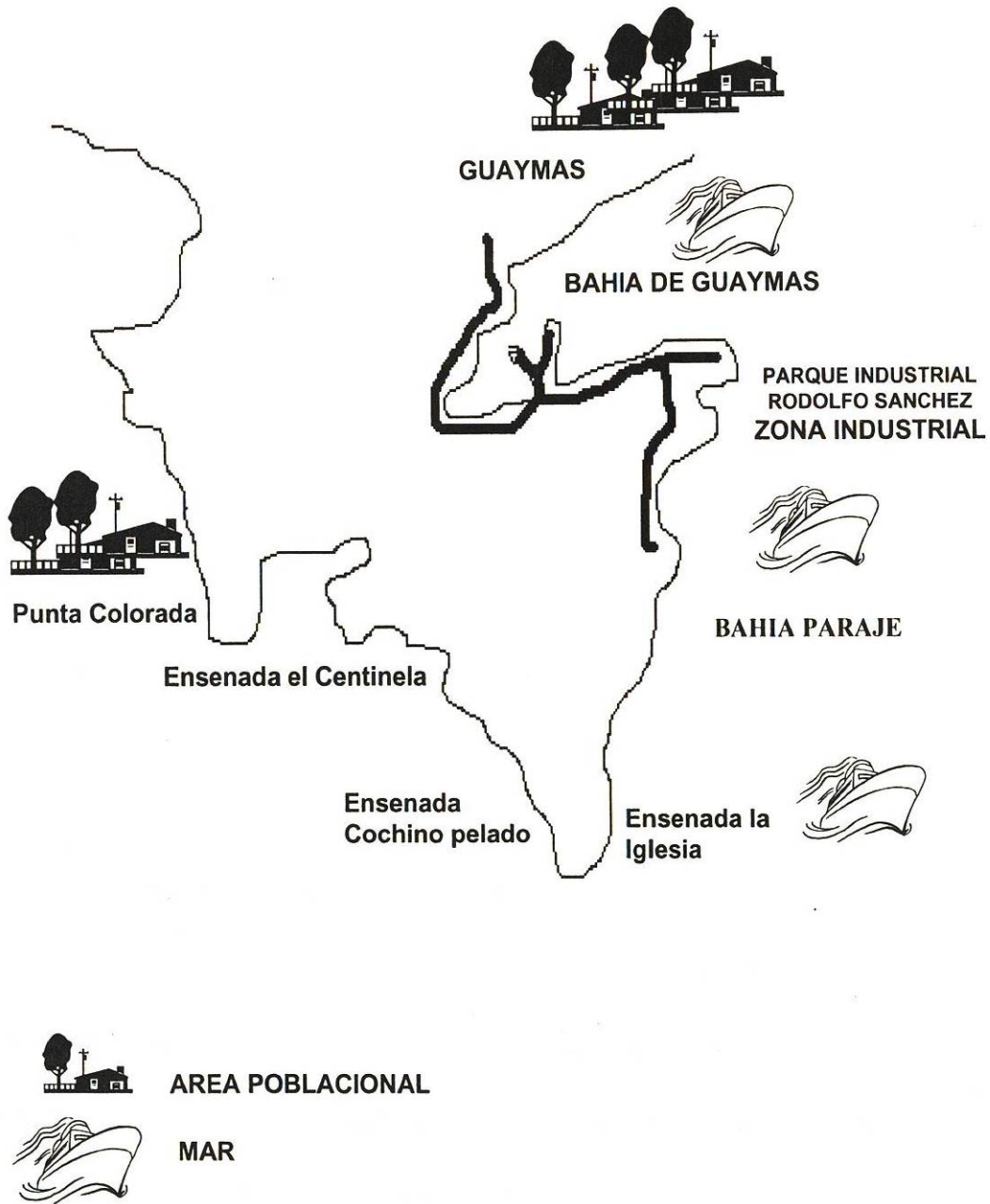
### ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 1.1 Localización de la zona

El puerto de Guaymas, se localiza a 120 Km. al suroeste de la capital del Estado de Sonora, en las coordenadas 27° de latitud norte y 110° 54' de longitud oeste.

El clima, según su clasificación de Koppen, es muy seco, semicálido, extremoso, con régimen de lluvias en verano. La temperatura anual media es de 24.7 °C, y en los meses calurosos (de junio a septiembre) se alcanzan temperaturas mayores que los 40 °C. La precipitación pluvial es escasa y aleatoria, alcanzando como promedio anual un valor de 237 mm. Los vientos dominantes son del noroeste, con una intensidad promedio de 8 nudos (12.8/hora); dentro de la localidad se encuentra instalado el Parque Industrial Rodolfo Sánchez Taboada, albergando a empresas procesadoras de productos marinos, mismas que se ubican al margen de la bahía de Guaymas, cuya longitud aproximada es de 22.4 km<sup>2</sup>, conectada al Golfo de California. Por una boca de 1.2 km. de ancho. A esta área Industrial se le conoce como "El Paraje", que ocupa una superficie de 1,150 km<sup>2</sup>, en la figura 1, se aprecia la ubicación de esta zona.

Fig. N° 1 UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO



## 1.2 Actividades Productivas

En la zona de estudio, la principal actividad productiva es la industria procesadora de productos pesqueros, que consiste en cuatro plantas sardineras, tres plantas procesadoras de harina de pescado, una enlatadora de atún y una enlatadora de anchoveta.

La sardina ha tenido una gran importancia, dentro de la pesca regional y aún cuando no es considerada una pesquería de alta rentabilidad económica, como otras especies tales como la langosta, el abulón y el camarón, se caracteriza por ser un recurso de alto valor nutritivo, de bajo costo y de consumo popular. Es conveniente destacar que en Guaymas, Sonora, se encuentra el centro industrial sardinero más importante de México, donde se procesa la mayor producción de la captura de sardina, en el nivel nacional.

Las plantas procesadoras de atún, forman parte de las plantas integrales, es decir, en sus instalaciones cuentan también con procesadoras de sardina y elaboración de harina de pescado; se considera a este producto un recurso de consumo no tan popular como la sardina, y está su potencial productivo en otras regiones del país, tales como Baja California Norte, Sinaloa y Baja California Sur.

Otra actividad productiva la constituyen las plantas procesadoras de harina de pescado. Están instaladas dos industrias, exclusivamente para la elaboración de este producto y una planta más que integra a este proceso productivo.



Así mismo, la planta enlatadora de anchoveta, alcanza su máximo ejercicio en los meses de Junio a Octubre; de acuerdo a las circunstancias de la captura de este recurso. Por lo cual sólo tiene una planta instalada.

### **1.3 Capacidad Industrial Instalada**

En cuanto a la capacidad de proceso, en la zona industrial en estudio. Se encuentran tres empresas procesadoras de productos pesqueros que actualmente se encuentran fuera de operación. Por inspección ocular, se observó que dos de estas empresas están realizando modificaciones en sus instalaciones, mientras que la otra empresa se encuentra abandonada.

Se investigó, a través del encargado de las plantas en remodelación, que el próximo año, reiniciaría producción, por lo cual es conveniente tomar en consideración por las repercusiones, que desde el punto de vista de generación del agua residual conlleva la puesta en operación de dichas plantas.

Así mismo, en el presente es conveniente considerar lo anterior, para efecto de que la propuesta técnica correspondiente sea en función de condiciones presentes y futuras.

#### 1.4 Inventario y Características de la Industria Pesquera localizada en el Parque Industrial Rodolfo Sánchez T.

De acuerdo a lo expuesto en los dos puntos que anteceden, la capacidad instalada, engloba a doce empresas, de las cuales nueve actualmente están en operación. La tabla N° 1, muestra el inventario de las plantas procesadoras actualmente en operación y sus características.

**TABLA N° 1**

#### **INVENTARIO DE EMPRESAS PROCESADORAS DE PRODUCTOS PESQUEROS Y SUS CARACTERÍSTICAS**

<b>Empresa</b>	<b>Sector</b>	<b>Capacidad instalada Ton/hr</b>	<b>Capacidad de Producción Ton/Hr</b>	<b>Turno de Trabajo En ocho horas</b>
Alimentos concentrados de Guaymas	Privado	10	10	2
Sardinas y Derivados Planta 1	Privado	25	20	3
Productos pesqueros Sonora	Público	15	10	2
Pesca harina de Guaymas	Público	20	20	2
Sardinas y derivados Planta 2	Privado	20	20	3
Industrias Barreras de Guaymas	Privado	10	8	1
Procesadora de Productos Marinos Reyna	Privado	10	8	1
Selecta de Guaymas	Público	20	15	3
Pesquera Sonora	Privado	10	5	1
<b>SUMA</b>		<b>140</b>	<b>116</b>	<b>17</b>

Fuente: Centro Regional de investigaciones Pesqueras, Delegación Sonora.

## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Actualmente, la industria pesquera en México, representa un renglón económico de suma importancia y ha tenido un aumento notable en su desarrollo.

Dentro de esta rama industrial, la producción de pescado enlatado y de harina de pescado logra abastecer gran parte de la demanda existente en México. La harina de pescado se usa en gran escala en dietas de animales domésticos, sobre todo en períodos de crecimiento de pollos y puercos, principalmente por su alto contenido de proteínas, vitaminas y factores de crecimiento que hacen mejorar la conversión de ganancia en el peso de estos animales.

El pescado enlatado se destina al consumo humano en diferentes presentaciones, sean estas con tomate, aceite o mostaza, considerándose un alimento básico, sobre todo la sardina, debido a su alta calidad nutritiva y bajo costo.

La industria enlatadora de productos pesqueros, presenta a la fecha más de cien años de experiencia, durante los cuáles ha demostrado un crecimiento ascendente en el nivel mundial, al grado de lograr cambiar en los hábitos alimenticios de diversas poblaciones, pues de hecho, estos productos pueden hacerse llegar hasta los puntos más alejados desde los puntos de producción, debido a que no requieren de temperaturas o sistemas especiales de almacenaje y transporte, además de que esta industria se optimiza día a día simultáneamente con los avances tecnológicos de la investigación.

El proceso de enlatado en México es extensivo a especies marinas, tales como la sardina, la anchoveta, el atún y el pescado de escama, constituyéndose este proceso conjuntamente con el proceso de producción de harina de pescado, como los más importantes dentro de la industria pesquera de nuestro país.

En estos procesos de industrialización de productos del mar en México, y de acuerdo a la información vertida en la tabla N° 2, si eliminamos el proceso de congelado que en sí no presenta un sistema de industrialización, se observa que la sardina representa el 80.23% del total de los productos sujetos a transformación por medio de procesos potencialmente contaminantes.

Asimismo, la reducción de la sardina a harina de pescado representa el 64.6% del total de los procesos efectuados en el país.

Por otro lado, el enlatado de la sardina representa aproximadamente el 10% por ciento del total procesado, mientras que del total transformado representa el 12%.

En relación específicamente al proceso de enlatado, la sardina representa el 64% del mismo.

En lo que se refiere al atún, éste se procesa a través del enlatado, que representa el 4.12% del total procesado, y 27% del total enlatado.

De esta forma, es claro que la sardina constituye la materia prima representativa de la industria pesquera de transformación de productos marinos. Por esta razón este estudio se describe en base a la industria sardinera básicamente como industria tipo, aunque se describen brevemente otros procesos para atún y anchoveta.

**TABLA N° 2**

**VOLUMEN DE LA MATERIA PRIMA PROCESADA Y PRODUCCIÓN OBTENIDA  
EN LA INDUSTRIA PESQUERA, SEGÚN PROCESOS Y ESPECIES**

**1997  
(TONELADAS)**

PROCESOS Y ESPECIES	VOLUMENES				
	1995		1996		1997
	M.P.	P.T.	M.P.	P.T.	M.P.
TOTAL	717,475	257,943	754,846	265,009	707,655
CAMARÓN	40,215	37,794	4,876	45,663	43,865
TIBURÓN Y CAZÓN	6,344	2,053	6,291	2,038	7,795
ESCAMA Y OTRAS	95,733	59,269	92,515	55,889	107,165
ENLATADO	120,339	59,695	114,165	5,581	161,389
TUNIDOS	38,140	22,664	30,957	17,511	4,126
SARDINA Y MACASELA	72,456	34,688	73,332	35,567	35,043
OSTIÓN	6,832	684	5,958	597	6,622
OTRAS ESPECIES	2,971	1,659	3,918	2,135	3,464
REDUCCIÓN *	449,650	97,748	487,349	104,300	413,411
ANCHOVETA INDUSTRIAL	92,573		123,402		91,093
FAUNA DE ACOMPAÑAMIENTO	2,078		1,994		1,965
PESCADO NO EMPACABLE	2,803		833		690
SARDINA INDUSTRIAL	309,230		310,935		263,646

\* Incluye tanto las especies y subproductos que contribuyen la materia prima, como los productos terminados

M.P. Materia Prima en peso desembarcado

P.T. Producto terminado en peso neto

Fuente: Subdelegación de pesca, en el estado de Sonora

## **2.1 Enlatado de la Sardina**

### **2.1.1. Materia Prima.**

Normalmente, las variedades de sardina que se utiliza para las actividades de enlatado son: la sardina Monterrey, la Crimuda, la Japonesa y la Macarela.

Esta materia prima está constituida principalmente por la sardina entera apta para el proceso de enlatado; la cabeza, cola, vísceras y las sardinas que no tienen el peso y tamaño reglamentado para el enlatado, son destinadas a la elaboración de harina de pescado.

### **2.1.2. Captura.**

La materia prima es capturada con barcos sardineros de capacidades 115, 140, 190 y con frecuencia hasta de 250 ton/barco/día/mes, diariamente durante el periodo de producción. En esta operación la sardina es cercada con ayuda de redes y un pangón; es levantada del mar a través de una bomba tipo cápsula y llevada a la bodega del barco, la cual se encuentra con agua preferentemente refrigerada a temperatura de 0 °C, que permita conservar el producto en buenas condiciones.

### **2.1.3. Industrialización.**

#### **a) Recepción de Materia Prima.-**

Una vez succionada la sardina de la bodega del barco por bombas tipo chupón, la materia para el enlatado se recibe de diferentes formas, dependiendo del lugar donde la planta se encuentra instalada.

Existen plantas construidas a orillas del mar, las cuales, además, disponen de muelle para el uso interno. En este tipo de plantas la recepción más común y la más recomendada es la que se hace directamente de los barcos, utilizando para ello bandas transportadoras de producto, movidas por motores; o también utilizan canales inclinados empleando agua para el transporte de producto; en otros casos utilizan tinajas movidas por montacargas para el transporte de producto. En todos los casos antes mencionados el producto se recibe fresco enhielado.

Durante la recepción de la materia prima se efectúa un pesaje para llevar el control de tonelaje recibido; posteriormente se determina el grado de frescura, a través de muestreos, donde se determina si la calidad de la materia prima es aceptable o no para el procesamiento. En el caso de que la materia prima no reúna suficientes cualidades para su enlatado, ésta se envía a la planta reductora de pescado (harinera).

#### b) Preparación de Materia Prima. -

Después de recibida la materia prima se prepara para su enlatado llevándose a cabo las siguientes actividades:

##### 1. Corte o descabezado.

La sardina descargada de barcos se recibe en un tanque para sardina entera, desde donde, a su vez, se envía a un tanque auxiliar para su distribución a las mesas o máquinas de corte. Esta operación es semimanual en la colocación de los cuerpos en compartimientos de madera montados sobre las bandas de un transportador integral de las mesas, de modo que la cabeza y la cola sobresalgan a los compartimientos. Al avanzar las piezas entran en contacto con cuchillas, eliminándose la cabeza y la cola por corte.

## 2. Desviscerado.

La eliminación de vísceras se lleva a cabo en las mismas mesas de corte. Inmediatamente después del corte de la cabeza y la cola, queda expuesta frontalmente la parte ventral de la sardina la cual entra en contacto con un succionador de vacío el cual extrae las vísceras.

## 3. Desescamado.

Esta operación se puede efectuar manual o mecánicamente. Es más eficiente la segunda, debido a que los cuerpos son pequeños y de difícil manejo. El descamado mecánico se efectúa en dos tambores instalados en serie. La separación de escamas se efectúa por rozamiento de los cuerpos de sardina contra la superficie áspera de los tambores.

## 4.- Salmuerado.

En la preparación de la materia prima prosigue el salmuerado con el fin de darle consistencia a los cuerpos, además de propiciar reacciones bioquímicas que ayudan a la mejor calidad del producto final.

### c) Preparación de Aditivos

Durante el procesamiento de sardina se usan diferentes aditivos, dependiendo del producto que se quiera elaborar. En Guaymas, Sonora, los tipos que se elaboran son sardina enlatada en aceite o en salsa de tomate.

En la preparación de los aditivos se tiene especial cuidado, especialmente durante su calentamiento, puesto que si la temperatura usada es muy elevada, el ingrediente puede sufrir carbonización.



Durante la preparación de salsa de tomate como aditivo, ésta debe cumplir ciertos requisitos de calidad para mejoramiento del producto final, especialmente en lo que se refiere al porcentaje de sólidos en pulpa de tomate, gravedad específica y densidad.

#### d) Enlatado.

Una vez preparado el pescado, se procede a su enlatado incluyendo los siguientes pasos:

#### 1. Llenado de latas o empaque:

Esta es una operación manual que consiste en la colocación correcta de las sardinas dentro de la lata, ya sea en una o dos capas, dependiendo del tamaño de piezas. La sardina se coloca con la parte ventral hacia arriba cuidando que la parte más gruesa del cuerpo quede dirigida hacia los extremos de la lata, para aprovechar al máximo la forma ovalada de las latas. El tamaño de las sardinas no debe ser tan grande, que provoque malos cierres en las engargoladoras, ni tan pequeñas que floten en la salsa o cualquier otro ingrediente; las latas para empaque también pueden ser cilíndricas.

#### 2. Cocimiento.

Esta operación se realiza automáticamente en cocedores que operan a temperaturas entre 100 °C y 105 °C, con una permanencia del producto de 17 a 19 minutos en el cocedor, dependiendo de la longitud del cocedor y de los requerimientos de cocimiento.

#### 3. Drenado de latas.

Esta operación consiste en eliminar el líquido que satura a las latas al salir de los cocedores. Esto se logra volteando las latas en un drenador que consiste de dos tambores que giran en el mismo sentido y están unidos por una misma banda. Las latas giran sobre

estos tambores haciendo un recorrido tengencial; al girar sobre el primero se voltean y drenan el líquido, y al girar sobre el segundo recuperan su posición original quedando libres de líquido y listas para las siguientes operaciones.

El líquido drenado está formado por la humedad que libera la sardina durante el cocimiento y por el vapor condensado dentro de las latas durante la misma operación. Este líquido está constituido básicamente por agua, por líquidos, por proteína (soluble principalmente) y sales minerales.

#### 4. Dosificación de salsa de tomate.

Esta operación es inmediata anterior al engargolado de latas y se realiza en dos formas; en dosificaciones con recipientes de nivel constante, controlado por válvulas neumáticas y por medio de bañado o chorro constante con tubos perforados. En los dos casos el ingrediente se adiciona caliente, para la formación del espacio de vacío durante el engargolado.

La cantidad de dosificación de salsa por lata, depende de la cantidad o volumen de sardina por lata y del grado de deshidratación sufrido por la misma durante el conocimiento. A mayor deshidratación, menor volumen de sardina, por lo tanto mayor volumen necesario de salsa.

#### 5. Cerrado o engargolado.

Después de la adición del ingrediente, las latas pasan al engargolado; operación que consiste en la unión de la tapa al cuerpo de la lata, generalmente en dos etapas; la primera consiste en enganchar las orillas de ambas partes, y la segunda en prensar los dobleces formados en el enganche.

#### 6. Lavado de latas.

Al salir del engargolado, las latas están sucias de salsa, la cual se adhiere al exterior de la lata, durante la operación de llenado. Por lo tanto es necesario lavar las latas para evitar superficies grasosas, manchadas o de aspecto desagradable que disminuya la buena presentación del producto.

El lavado se efectúa en cuatro diferentes pasos:

Primer pre-enjuage, realizado por inmersión en agua dulce; segundo con rociadores de latas con agua dulce mediante una regadera; el tercero se hace en una solución de detergente en caliente, en el que las latas pierden los últimos residuos de suciedad de tipo grasoso principalmente; el cuarto y último se hace con agua caliente para eliminar los residuos de detergente.

El tiempo que se emplea para llevar a cabo este proceso es de 3 minutos aproximadamente. Durante el proceso de lavado, únicamente se separa en un promedio el 65% de salsa que se adhiere al exterior de las latas durante el llenado y el 35% restante queda en las bandas de transporte.

## 7. Esterilización.

La esterilización de latas se lleva a cabo en autoclaves horizontales utilizando carros para transporte interior.

La esterilización es una de las funciones más importantes del proceso de enlatado, ya que no sólo destruye a todos aquellos microorganismos capaces de causar descomposición, sino que también proporciona un producto debidamente cocido; o sea, que tiene una contextura, sabor y aspectos apetitosos. Este proceso de esterilización debe prolongarse lo suficiente para aniquilar los organismos pero sin sobrecocer el producto.

Entre los factores que determinan qué proceso de esterilización a utilizar, están:

- Los tipos de organismos a destruir.
- El grado de penetración del calor hasta el punto más lento de calentamiento.
- La temperatura inicial del producto.
- El tamaño y el tipo del envase a emplear.
- La temperatura a la que se efectúa el proceso.
- La presión de operación y otros.

En el caso de esterilización de productos enlatados, se controlan los siguientes factores, principalmente:

- La temperatura de esterilización.
- El tiempo de esterilización.
- La presión de vapor dentro de las autoclaves.
- El tiempo global de enfriamiento.

## 8. Encajonado

Los carros de esterilización después de desalojados de la autoclaves se envían al área de encajonado, donde las latas sufren un último paso de enfriamiento a temperatura ambiental, durante un tiempo mínimo de una hora, antes de la operación de encajonado.

Aquí el producto se vacía de los carros. Esta operación se efectúa mecánicamente sobre una rampa. las latas se empacan manualmente en cajas de cartón (marters). Las cajas llenas se van colocando en plataformas de madera las cuales facilitan el transporte de cajas mediante el uso de montacargas.

Sobre el exterior de las cajas llenas se anotan el número de corrida y el tipo de producto enlatado para efecto de identificación durante los siguientes pasos del proceso que son la cuarentena y el etiquetado.

9. La cuarentena y el etiquetado.

Las cajas llenas de latas después de la operación del encajonado son trasladadas a almacenamiento para cumplir un período de observación que dura aproximadamente 10 días y se conoce con el nombre de cuarentena. Durante este período se observa el comportamiento de las latas para localizar principalmente posibles cierres defectuosos que provoque deformación en las latas por hinchamiento. Al finalizar el período de observación se lleva a cabo un muestreo de latas para enviarlas al laboratorio de control de calidad el cual determina el grado de calidad de las mismas y autoriza su etiquetado en el caso de un resultado adecuado.

Para llevar a cabo el etiquetado de estas latas, en primer lugar, las cajas con latas son transportadas al área de etiquetado, donde se vacían alimentándolas manualmente a las etiquetadoras; estas latas son provistas de etiqueta automáticamente en forma continua.

Las cajas ya marcadas se utilizan para el encajonado de latas etiquetadas. Las cajas llenas y cerradas se colocan en una plataforma de madera, para transportarlas al almacenamiento temporal, de donde se enviarán a la fase final de distribución y venta de producto terminado.

e) Balance de materia.

Durante la preparación y el procesamiento de la sardina enlatada, se obtienen subproductos, tales como cabezas, vísceras, colas, etc., los cuales se envían a la fábrica reductora de pescado (harinera).

El balance de materia durante el enlatado de sardina es el siguiente:

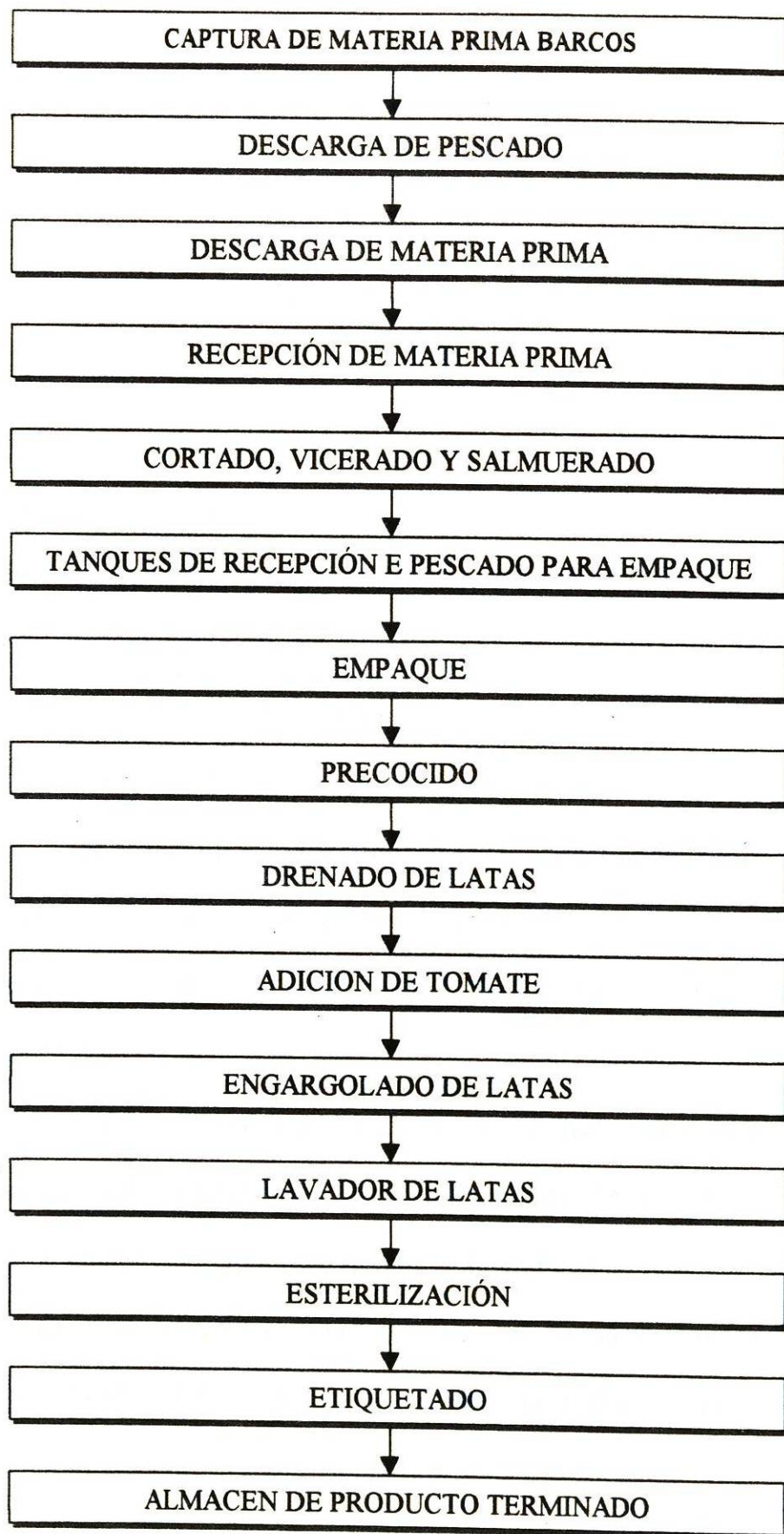
Materia prima (sardina entera) \_\_\_\_\_ 100%

Descabezado, desviscerado, quitándole cola (merma)___	50%
Durante el precocido (pérdida de humedad)_____	8%
Durante el cerrado (pérdida de humedad)_____	8%
Sardina enlatada_____	40%

f) Diagrama del proceso.

En la figura N° 2 se presenta un diagrama de bloques del proceso de enlatado de sardina.

**FIG. N° 2 DIAGRAMA GENERAL PARA ENLATADO DE SARDINA**



#### 2.1.4. Usos del agua y generación de aguas residuales

La descripción del proceso de enlatado de sardina nos da una idea para identificar los usos del agua y las fuentes de contaminación en la faceta industrial.

El principal uso del agua generador de contaminación lo constituye el bombeo y circulación del agua que se emplea en los sistemas húmedos de descarga de pescado, y manejo para el corte y movimiento del pescado en pilas. Es normal usar aproximadamente una relación de 25% de agua con respecto al pescado, para poder sacarlo con succión de las bodegas del barco.

En el proceso de corte de cabeza y vísceras, el pescado se reparte a las mesas de corte con agua. En el corte manual o automático, los cuerpos van a un canal con agua (generalmente dulce) y las cabezas y vísceras a otro que utiliza agua salada.

En la fase de enlatado se utiliza de agua dulce en forma de vapor para el cocimiento de la sardina. Los condensados y el agua proveniente del pescado son desechados posteriormente, en la etapa de volteo de latas.

En la fase de enlatado, se generan pequeños volúmenes residuales de tomate por escurrimientos ocasionales.

Continúa el uso de agua y generación de agua residual en la etapa de lavado de latas y posteriormente en la operación de los autoclaves para esterilización.

En la bibliografía consultada (2) reporta la información sobre una planta con capacidad de producción de 40 ton/día (48,000 latas/día) indican un consumo de agua de 3 m<sup>3</sup>/ton de materia prima, utilizados en las fases de transporte interno, calderas,



enfriamiento, salmuera, limpieza, lavados y servicios, mostrándose en la tabla N° 2.1 los volúmenes unitarios utilizados.

**TABLA N° 2.1**

**USOS DEL AGUA EN PLANTA DE ENLATADO DE SARDINA**

<b>Actividad</b>	<b>Porcentaje %</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup>/ton</b>
Transporte interno	20	0.60
Calderas	17	0.51
Enfriamiento	15	0.45
Salmuera	13	0.39
Servicios	10	0.30
Limpieza	8	0.24
Lavado	4	0.12
VARIOS	13	0.39
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>3.00</b>

Capacidad de Planta: 48,000 latas/día (40 ton/día)

Para esta planta no se reportan volúmenes individuales de cada fuente de generación, sino un volumen total generado de 120-160 m<sup>3</sup>/día.

Valores reportados (3) para una planta enlatadora de sardina, cuya capacidad es de 8 ton de materia prima/hora, se muestran en la tabla N° 2.2, generándose un volumen de 2.21 m<sup>3</sup>/ton de materia prima, a través de las actividades de recepción de materia prima, lavado de sardina, corte y enlatado, drenado, lavado, limpieza y baldeos. El mayor caudal se origina en la etapa de recepción de la materia prima.

**TABLA N° 2.2****CAUDALES GENERADOS EN EL ENLATADO DE SARDINA**

<b>Etapa</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup>/hora</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup>/ton</b>
Recepción de Materia Prima	7.9	1.00
Lavado de Pescado	3.6	0.45
Corte y Enlatado	4.0	0.50
Drenado de Latas	0.4	0.05
Lavado de Latas	1.3	0.16
Limpieza y Baldeos	0.4	0.05
<b>Total</b>	<b>17.6</b>	<b>2.21</b>

Capacidad: 8 ton. de materia prima/hora.

En cuanto a calidad del agua para usos en el proceso, generalmente se utiliza con características de potable, a excepción de las fases de transporte externo de materia prima y transporte de cabezas y vísceras, las cuales utilizan aguas marinas. Las características de calidad de agua dulce y agua salada se presentan en la tabla 2.3. Por otro lado, la caracterización de la descarga global de agua residual de la empresa Productos Pesqueros de Guaymas, se muestra en la tabla 2.4.

**TABLA N° 2.3**

**CALIDAD DE AGUA DULCE Y AGUA SALADA UTILIZADAS EN LAS INDUSTRIAS PESQUERAS**

<b>Parametro *</b>	<b>Agua Dulce</b>	<b>Agua Salada</b>
PH	7.74	8.4
TEMPERATURA °C	22.0	23.5
OD	6.3	5.2
DBO	0.6	64
DQO	7.3	114
N-NH <sup>3</sup>	0.0	
N-ORG	1.2	
N-NO <sub>3</sub>	2.1	
PO <sub>4</sub> total	0.1	
PO <sub>4</sub> ORTO	< 0.05	
SAAM	< 0.05	
TURBIEDAD (UTJ)	< 25	32
GYA	0.3	14.3
ST	960	35,215
STF	800	31,127
STV	160	4,018
SST	8	228
SSF	5	178
SSV	3	50
SDT	953	34,987
SDF	796	31,018
SDV	157	3,969
C.E. (umhos/cm)	2,100	34,000
COL. TOTAL (nmp/100 ml)	0.0	4.3
COL. FECAL (nmp/100 ml)	0.0	0.0

En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Delegación Sonora.

**TABLA N° 2.4**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN INDUSTRIA  
ENLATADORA DE SARDINA**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración (mg/l)</b>
DBO	2564
DQO	23324
GYA	698
ST	46010
STF	38462
STV	7547
SST	1457
SSF	539
SSV	918
SDT	44552
SDF	37927
SDV	6672

Capacidad: 8 ton/hrs.

Fuente: Comisión Regional de Investigación Pesquera, Delegación Sonora.

## **2.2 Enlatado de Atún**

### **2.2.1 Procesamiento Industrial**

#### **a) Recepción de materia prima:**

La recepción del atún por la planta se realiza de manera similar a la descrita en el caso de la sardina, efectuándose el transporte del atún congelado a través de bandas transportadoras, canales con flujo de agua o tinas movidas por montacargas.

#### **b) Preparación de materia prima:**

La preparación del atún para su procesamiento consiste en:

## 1. Descongelación

Debido a que la materia prima se recibe y almacena a temperatura de congelación, se lleva a cabo una descongelación, utilizando para ello agua a temperatura ambiente. La descongelación se hace por inmersión en tinas construidas para ese fin.

## 2.- Corte

El atún descongelado, posteriormente pasa a mesas de corte, éste puede ser manual o semimanual, utilizando para ello machetes o sierra mecánica. En esta operación se corta la cabeza y cola.

## 3.- Desviscerado

El desviscerado se realiza manualmente, utilizando cuchillos para efectuar el corte en la parte ventral, y las vísceras se extraen introduciendo las manos en el vientre del pescado. Una vez desviscerado, el pescado se lava perfectamente para su posterior cocimiento.

### c) Preparación de aditivos

Los ingredientes que se adicionan al atún enlatado están de acuerdo a las costumbres alimenticias que predominan en el país. A este producto en México se le adiciona sal, aceite vegetal y una solución denominada caldos vegetales.

### d) Enlatado

Durante el procesamiento de atún enlatado, y una vez preparada la materia prima, se llevan a cabo los siguientes pasos:

#### 1. Cocimiento:

El Pescado se selecciona de acuerdo a su especie y tamaño ya que de este último depende el tiempo de cocimiento y se coloca después en canastos de alambre que encajan

en carros con ruedas, los cuales se transportan al interior de los cocedores. El cocedor ya cerrado se alimenta gradualmente con vapor hasta alcanzar una temperatura de 100 °C a 104 °C grados centígrados durante 3 horas aproximadamente según el tamaño del pescado.

Una vez cocido el pescado se conduce a una pieza donde se deja enfriar con el objeto de aumentar la consistencia de la carne y evitar mermas, así como para que se haga más fácil la separación de la piel , carne negra, etc. Este enfriamiento regularmente es de 8 horas.

Después del enfriamiento se lleva a cabo la separación de la carne, esto se hace manualmente sobre mesas con transportador. Durante este paso se lleva acabo la separación de la carne blanca, carne negra y desperdicios (piel, huesos). la carne blanca constituye el principal producto que se enlata para consumo humano. La carne negra y los desperdicios se aprovechan por separado como subproductos.

## 2.- Llenado de latas.

Esta operación se efectúa por medio de llenadores automáticos, que se encargan de dosificar cantidades iguales de carne en cada lata. Posteriormente se inspeccionan las latas para checar su peso ajustándolo manualmente.

## 3. Adición de ingredientes.

Después de llenado, las latas pasan por una tolva dosificadora, en donde se les agrega una porción de sal que oscila entre 2 y 3% del peso neto de la lata. Además de la adición de sal, al producto se le da un baño con especias (cebollas, ajos, glutamato monosódico, etc.), por medio de un sistema de tubos perforados situados por encima del paso de las latas. En esta misma forma se agrega aceite al producto, que puede ser de

ajonjolí, de oliva o de semilla de algodón, representando aproximadamente el 18% del peso neto de la lata. Estos ingredientes se adicionan a altas temperaturas para llevar a cabo el vacío necesario en la lata. Frecuentemente, después de la adición de ingredientes, al producto se le da un calentamiento empleando vapor vivo, el cual es suministrado por medio de tubos perforados situados por debajo del paso de las latas.

#### 4. Engargolado y etiquetado

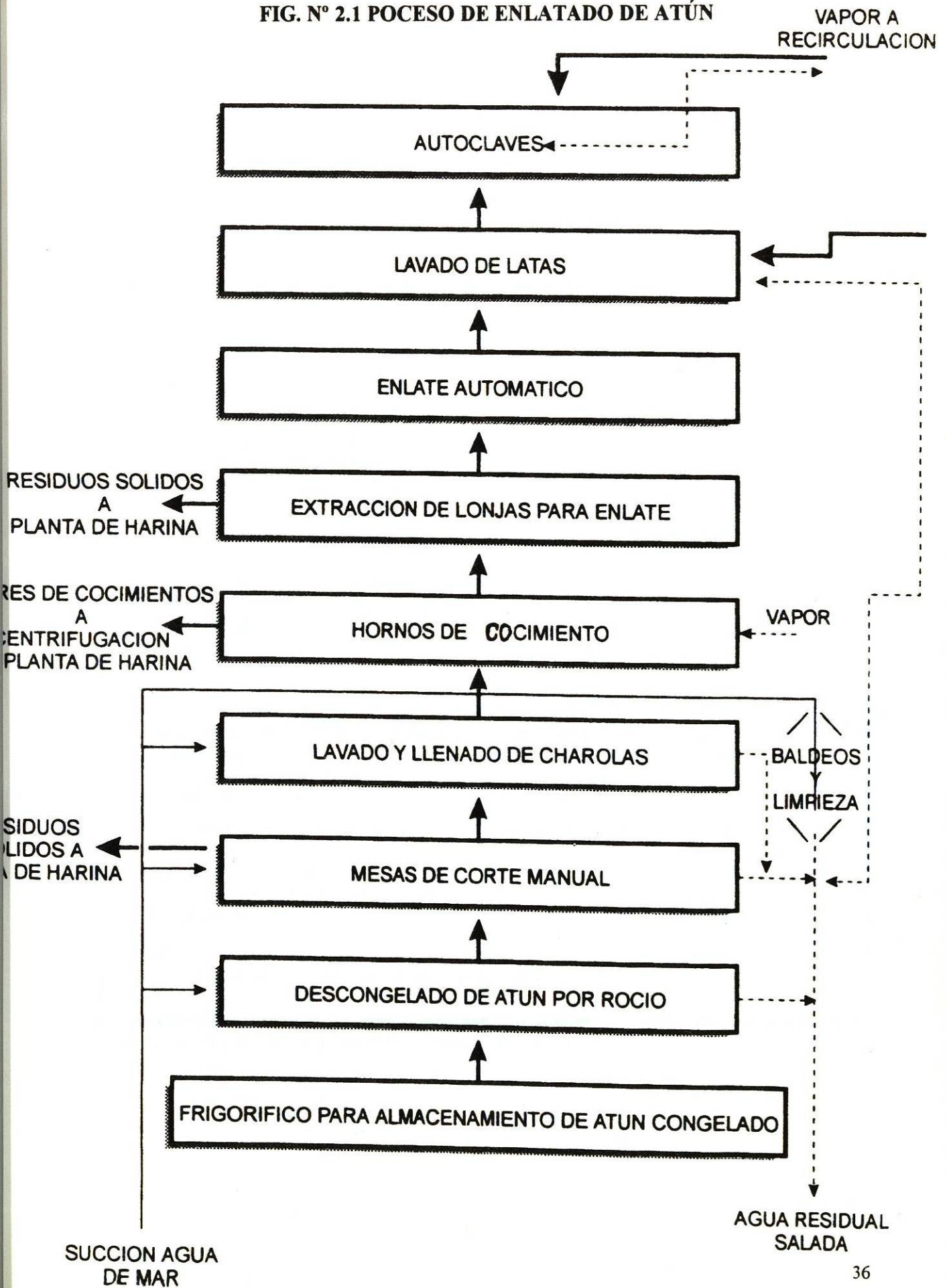
Para los siguientes pasos del procesamiento (cerrado o engargolado, lavado de latas, esterilización, encajonado, cuarentena y etiquetado), las operaciones que se llevan a cabo son similares a las descritas en el proceso de la sardina enlatada.

En la figura N° 2.1 se representa un diagrama del proceso de enlatado de atún.

#### 2.2.2 Usos del agua y generación de aguas residuales

Como se puede observar en la figura N° 2.1 los usos del agua en el proceso de enlatado de atún consisten en la utilización de agua salada succionada del mar para efectuar el descongelamiento del atún mediante rocío, para transporte del atún en las mesas de corte, lavado de pescado para baldeos y limpieza de la planta. Por otro lado, se utiliza agua dulce para el lavado de latas y en forma de vapor para su alimentación a los hornos de cocimiento y a las autoclaves de esterilización, con características de recirculación de vapor condensado.

FIG. N° 2.1 POCESO DE ENLATADO DE ATÚN





No se encontraron datos en la bibliografía consultada respecto a los volúmenes de agua utilizados en las fases del proceso anteriormente mencionadas, y en cuanto a las características de calidad del agua utilizada corresponderían a las redes de distribución de agua potable (para agua dulce) y de agua marina (agua salada).

Con respecto a la generaciones de aguas residuales, en la tabla N° 2.5 se reportan volúmenes generados en una planta que tiene una capacidad de proceso de 50 ton. de atún como materia prima por turno de 8 horas, generándose un gasto unitario de 9.5 m<sup>3</sup> de agua residual por cada tonelada de materia prima. El 75% de este caudal corresponde al agua residual generada en la etapa de descongelamiento de atún.

**TABLA N° 2.5**

**GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN PROCESO DE ENLATADO DE ATÚN**

<b>Actividad</b>	<b>m<sup>3</sup>/hr</b>	<b>m<sup>3</sup>/ton</b>
Descongelado de atún	45.0	7.20
Lavado y corte	3.2	0.51
Licores de cocimiento	3.7	0.59
Lavado de latas	5.0	0.80
Baldeos	2.5	0.40
<b>Total</b>	<b>59.4</b>	<b>9.50</b>

Plantación capacidad de proceso de 50 ton/turno de 8 horas.

Por otro lado, las características del agua residual generada en las etapas de descongelado, cocimiento, corte de atún y baldeos se presentan en la tabla N° 2.6, presentando los licores de cocimiento las características más contaminantes.

**TABLA N° 2.6**

**CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN DIVERSAS ETAPAS DEL PROCESO DE ENLATADO DE ATUN**

<b>Parámetro *</b>	<b>Descongelado</b>	<b>Corte y Baldeos</b>	<b>Cocimiento</b>
PH (Unid)	6.65	6.45	6.55
DBO	4303	85	20705
DQO	10223	215	54542
GYA	275	49	24693
SSE (mg/l)	7.5	0.1	740
ST	31168	36734	34452
STF	26100	30648	13624
STV	5068	6086	20828
SST	1166	62	14526
SSF	550	38	792
SSV	616	24	13734
SDT	20002	36672	14426
SDF	25550	30610	12832
SDV	4452	7094	6062

En mg/l salvo se indique lo contrario.

Fuente: Centro Regional de Investigaciones Pesqueras del Estado de Sonora.

## **2.3 Enlatado de Anchoveta**

### **2.3.1 Procesamiento**

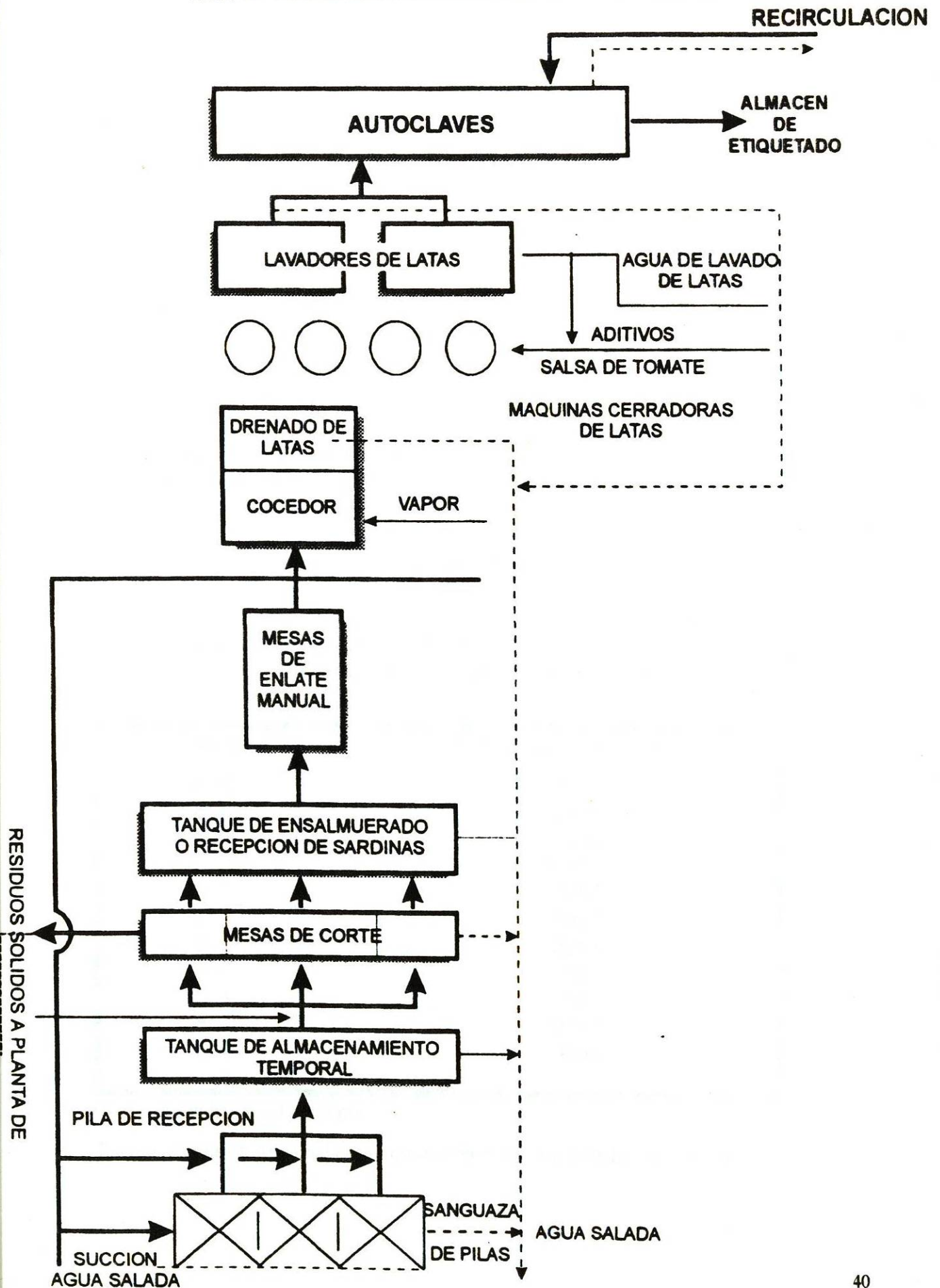
De manera similar al proceso de enlatado de sardina, se lleva a cabo la industrialización de anchoveta, observándose en la fig. N° 2.2 la similitud en el tren de proceso: Recepción, almacenamiento temporal, mesas de corte, salmuerado, mesas de enlate manual, cocedor, cerrado de latas, lavado y esterilización.

### **2.3.2 Usos de agua y generación de aguas residuales**

El agua utilizada en el proceso corresponde también a agua salada y agua dulce. Primeramente el agua salada se requiere para el transporte de la materia prima desde la pila de recepción, al tanque de almacenamiento y mesas de corte, también es utilizada para baldeos y limpieza general de la planta. Por otro lado el agua dulce se usa para efectuar el lavado de latas y en forma de vapor para efectuar el cocimiento de la anchoveta y para alimentación a las autoclaves. La generación de aguas residuales se lleva a cabo en el transporte de la materia prima (sanguaza), corte, ensalmuerado, drenado de latas, lavado de latas y baldeos, estimándose un caudal total de  $5.48 \text{ m}^3/\text{ton}$  de materia prima, indicándose los caudales particulares de las diversas etapas en la tabla N° 2.7, siendo las descargas de corte, transporte y ensalmuerado las que aportan el 91% de este gasto.

En la tabla N° 2.8 se presentan las características de las agua residuales mezclados en una sola descarga total para este tipo de industria.

FIG. N° 2.2 PROCESO DE ENLATADO DE ANCHOVETA



**TABLA N° 2.7**

**GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN EL PROCESO DE ENLATADO DE ANCHOVETA**

Actividad	Caudal	
	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /ton
Sanguaza	0.9	0.05
Corte Transporte y Salmuerado	93.8	5.0
Lavado de Latas	3.5	0.19
Baldeos	2.5	0.13
<b>TOTAL</b>	<b>102.9</b>	<b>5.48</b>

Planta con capacidad de proceso de 150 ton/8 hrs.

**TABLA N° 2.8**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL GENERADA POR ENLATADORA DE ANCHOVETA**

Parámetro	Concentración (mg/l) *
DBO	1340
DQO	22870
GYA	236
ST	31898
STF	25490
STV	6408
SST	20045
SSF	922
SSV	1123
SDT	29775
SDF	24568

\* Correspondiente a 1 ton/8hrs.

Fuente: Comisión Regional de Investigación Pesquera, Delegación Sonora.

## 2.4 Harineras de pescado

### 2.4.1 Procesamiento

Como ya se mencionó, la sardina que no presenta el tamaño reglamentado para el enlatado, así como los subproductos de corte que son la cabeza, la cola y las vísceras, sirven como insumo a las plantas harineras.

Otras especies marinas que son utilizadas para la elaboración de harina de pescado, corresponden al grupo de pescados grasos, tales como la anchoveta, la sardina crinuda, el botete y demás especies pelágicas cuyo contenido de grasas varía enormemente según la estación, el tamaño del pescado y el advenimiento del período de desove.

La elaboración de harina de pescado comienza en la recepción de la materia prima, que es el pescado fresco o las cabezas y vísceras del cortado, y el arrastre o fauna de acompañamiento.

En las plantas que no son integrales (enlatadora-harinera), la materia prima es extraída de las bodegas de los barcos mediante succión, es transportada hacia las pilas de almacenamiento y a partir de estas son llevadas mediante transportadores de gusano directamente a los cocedores.

En los cocedores el producto es cocido mediante la inyección directa de vapor, proveniente de la caldera a una temperatura aproximada de 120 °C, durante un tiempo de 25 minutos.

Después del cocimiento, se deja escurrir el agua y el aceite desalojado por el pescado, formándose una corriente que conjuntamente con el agua condensada pasa a

formar parte de la pila de alimentación de los separadores de sólidos. El pescado ya escurrido pasa a prensado, en el cual se extrae el aceite de pescado y agua excedente, formando una pasta con contenido aproximado del 50% de agua. En esta parte del proceso es donde, al elaborar harina integral, se adicionan los sólidos que son recuperados en el super decanter y el concentrado de agua de cola proveniente de los evaporadores, los cuales mejoran la calidad proteínica de los sólidos que se obtienen en la prensa.

El agua y el aceite excedentes de los cocedores y de las prensas, son recolectadas en la pila de alimentación del super decanter, el cual es un separador de sólidos y líquidos mediante fuerza centrífuga. Los sólidos separados en esta etapa son retornados hacia el departamento de prensado, mientras que la parte líquida es llevada al de centrifugación.

El equipo utilizado en la centrifugación es de alta velocidad y tiene la función de separar el aceite contenido en el líquido, para su posterior envasado. El líquido restante es la fuente de alimentación de los concentrados de agua de cola y contiene un buen porcentaje de proteínas que se recuperarán en los evaporadores-concentradores.

Los concentradores- evaporadores de agua de cola tienen como función evaporar el agua excedente hasta alcanzar una concentración de sólidos del 30 al 50%, encontrándose estos en forma soluble. El vapor remanente es adicionado a los cocedores y el concentrado de agua de cola es reintegrado al proceso de elaboración de harina integral en las prensas o es envasado para su venta directa.

Por otro lado, el producto sólido proveniente de las prensas está en forma de pasta compacta, la cual es pasada por una trituradora para homogeneizar el tamaño de las partículas.

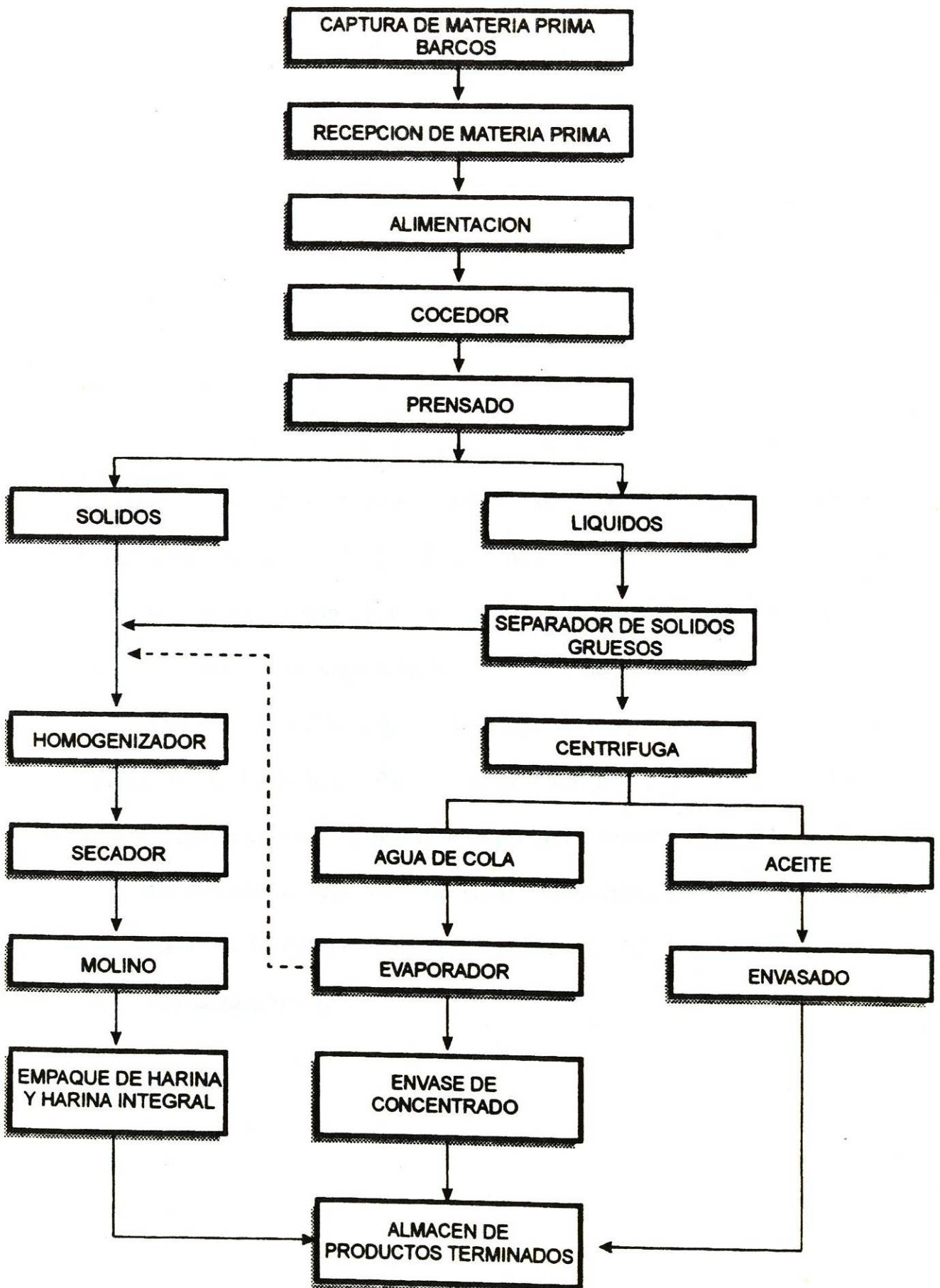
Posteriormente se pasa este material homogeneizado a un secador rotatorio de fuego directo, donde el producto obtenido posee una humedad máxima del 10%. El secado se efectúa a una temperatura no mayor de 80 °C. El producto seco es pasado a través de un molino que reduce el tamaño de la partícula hasta obtener las características propias de una harina. Después del molino el producto tiene una temperatura de 75 °C y es llevado mediante una bomba de vacío hacia enfriado y de ahí a un ciclón recolector de polvo. La harina recolectada es elevada a la tolva de envasado mediante un tornillo sin fin. De la tolva se envasa el producto en sacos, que es la presentación del producto terminado. En la figura N° 2.3 se puede observar un esquema general de este proceso. En la industria de harina de pescado la recuperación de productos corresponde a un 18% de harina de pescado y a un 4% del aceite de pescado, respecto al peso de la materia prima original.

#### 2.4.2 Usos del agua y generación de aguas residuales

Los usos del agua en plantas harineras se refieren al vapor utilizado en los cocedores, agua para lavado de gases del secador, agua salada para succión en los evaporadores, agua de lavado de centrifugas y de limpieza y baldeos de la planta.



FIG. Nº 23 DIAGRAMA GENERAL PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE PESCADO



Las aguas residuales que se generan son las siguientes:

Aguas residuales de las pilas de almacenamiento, la cual contiene sangre y grasa.

Agua residual procedente del prensado y cocinado la cual contiene sólidos y aceites, agua utilizada en el lavador de gases, la cual contiene polvos de materia orgánica y vapor condensado.

La mayoría del agua contiene sólidos, sangre y aceite. El agua procedente de las pilas de almacenamiento de la prensa y de los cocedores es recolectada y se alimenta a un separador de sólidos y líquidos mediante fuerza centrífuga llamado super decanter. Los sólidos aquí obtenidos son enviados directamente a un desmenuzador y de ahí al secador. El líquido resultante del super decanter contiene sangre, aceite y agua. Este líquido es mandado a un separador de aceite y agua mediante una centrífuga de alta velocidad, el aceite separado aquí es mandado a una centrífuga pulidora, cuya función es separar al máximo el agua del aceite adquiriendo este último su brillantez característica.

Esta agua residual es lo que se llama agua de cola en este tipo de industria y contiene aproximadamente el 20% de la proteína total del pescado, en un 6 a 7% de sólidos, el agua es generalmente tirada por las plantas procesadoras.

La generación de aguas residuales en las diversas etapas del proceso, se presenta en la tabla N° 2.9. Se genera un promedio de sanguaza de 0.05 m<sup>3</sup>/ton de materia prima y 0.65 m<sup>3</sup>/ton de agua de cola.

**TABLA N° 2.9**

**GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN PLANTAS PRODUCTORAS DE HARINA DE PESCADO.**

Capacidad de Proceso (ton/h)	Snguaza Pilas		Evaporadores		Lavado de Gases		Agua de Cola		Baldeo
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /ton	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /ton	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /ton	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /ton	m <sup>3</sup> /h
100	1.0	0.01	601.0	6.0	180.0	1.8			20.8
30	1.5	0.05	215.0	7.16	68.1	2.27			6.25
20	1.0	0.05			0.61	0.03	13.0	0.65	1.80
10	0.5	0.05			1.0	0.10	6.5	0.65	1.70
8	0.4	0.05			6.0	0.75	5.2	0.65	
26	1.3	0.05			0.7	0.03	16.9	0.65	6.5

Fuente: Pescaharina de Guaymas, S.A. de C.V.

En la tabla N° 2.10 se asientan datos de calidad del agua residual generada en plantas harineras que recuperan agua de cola mediante evaporadores y es precisamente la descarga generada en esta etapa la que presenta las características más contaminantes, respecto a la proveniente del lavado de gases, sanguaza, limpieza y baldeos.

**TABLA N° 2.10**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN INDUSTRIA DE HARINA DE PESCADO QUE CUENTA CON RECUPERACIÓN DE AGUAS DE COLA.**

Parámetro	Planta A			Planta B			
	mg/l	Evaporador	Lavado de Gases	Limpieza y Baldeos	Sanguaza	Evaporador	Lavado de Gases
DBO	303	7.1	4.2	0.9	313	7.9	3.0
DQO	1408	182	1049	222	1481	202	740
GYA	43	1.4	16.6	3.5	45.5	7.6	11.8
ST	24038	7416	863	214	25284	8252	609
STF	20426	6382	668	118	21485	7102	471
STV	3612	1034	145	96	3799	1150	138
SST	310	13	15	36	326	15	10
SSF	92	9	4	12	96	10	3
SSV	218	4	11	224	230	5	7
SDT	23728	7403	713	163	24958	8237	503
SDF	20541	6373	624	102	21906	7092	440
SDV	3187	1030	89	61	3352	1145	63

Fuente: Claggert, F.C. J. Wong ; Treatment of Fish Processing Plant Wastewater. Bolletin of the fisheries Pesearch boars of Canadá.

Por otro lado, en la tabla N° 2.11 se registran las características de las aguas residuales de sanguaza y agua de cola, generadas en plantas que no recuperan agua de cola.

De los datos de calidad de agua anteriores, se observa que con el uso de evaporadores la materia orgánica es reducida significativamente, respecto a la contenida en las aguas de cola.

**TABLA N° 2.11**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN INDUSTRIA  
DE HARINA DE PESCADO, SIN RECUPERACIÓN  
DE AGUAS DE COLA.**

Parámetro mg/l	Planta C		Planta D		Planta E	
	Sanguaza	A. Cola	Sanguaza	A. Cola	Sanguaza	A. Cola
DBO	4298	29241	9298	22903		38992
DQO	78016	70643	78016	69245		45174
GYA	1172	2329	1172	4649		6177
ST	73530	58448	73530	40860		72565
STF	27125	5189	27125	11266		10464
STV	46405	53259	46405	29594		62101
SST	7387	44408		44408		
SSF	3005	33872				
SSV	4382	10536				
SDT						
SDF						
SDV	14617	11098				

Fuente: Claggert, F.C. J. Wong ; Treatment of Fish Processing Plant Wastewater.  
Bolletín of the fisheries Research boards of Canadá.

## CAPÍTULO 3

### CARACTERIZACIÓN Y AFORO

De acuerdo con la información expuesta anteriormente, las plantas harineras y enlatadoras son las más representativas en cuanto a generadoras de las mayores cargas contaminantes. Con este antecedente, se procede a realizar la caracterización y el aforo en las plantas ubicadas en el parque industrial Rodolfo Sánchez Taboada, de la ciudad de Guaymas, Sonora.

El aforo se realiza a partir del ingreso del producto, en la planta hasta su procesamiento, seleccionándose intervalos de tiempo atendiendo a las características de operación de las diferentes etapas del proceso.

Asociada a cada medida de aforo, se tomaron muestras de agua residual, formándose muestras compuestas integradas para el análisis de sólidos en todas sus formas, demanda bioquímica de oxígeno, turbiedad, acidez, alcalinidad, nutrientes, cloruros y sustancias activas al azul de metileno (S.A.A.M.).

Así mismo, se determinan en la planta, los parámetros correspondientes al  $p^H$ , al oxígeno disuelto, a la conductividad eléctrica y a la temperatura.

Los análisis y muestras se realizan en apoyo a los métodos establecidos en la bibliografía (4), así como en las normas oficiales Mexicanas, NOM-001/97 y NOM-002/97.

### **3.1 Planta Harinera**

En el proceso de elaboración de harina de pescado, se establecieron cuatro puntos de aforo y muestreo:

- a) La recepción de la materia prima,
- b) La descarga de prensa,
- c) La descarga de los superdecanter, y
- d) La descarga de la centrífuga.

Los puntos de muestreo y aforo seleccionados fueron operados en la planta harinera, con la llegada de 80 toneladas de sardina como materia prima. Se describen a continuación las actividades realizadas.

#### **3.1.1 Recepción de Materia Prima**

##### **3.1.1.1 Aforo.**

La actividad de descarga de la materia prima hacia recepción por la planta, fue llevada a cabo en una hora y 30 minutos. Se utilizaron como medio de transporte 25 toneladas de agua procedentes de las bodegas de almacenamiento del barco, mismas que estuvieron recirculándose hasta completar la operación de descarga.

Es conveniente mencionar que los barcos llevan consigo para la actividad de captura, aproximadamente el 25% de su capacidad de bodegas ocupadas con agua fría para el almacenamiento de la materia prima, y es, por lo tanto, esta cantidad de agua la que se recirculará y posteriormente se desecha, en la etapa de recepción de materia prima.

Para el aforo, se obtiene una generación de agua residual para la etapa de recepción de materia prima de:

$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(25 \text{ ton. agua}) (1000 \text{ lt./m}^3)}{(80 \text{ ton. mat. prima})(1.1 \text{ ton/m}^3)} = \frac{284 \text{ lt.}}{\text{ton.m.p.}}$$

### 3.1.1.2 Muestreo y Análisis

De acuerdo con las características de recirculación del agua en la etapa de descarga-recepción de materia prima, se eligió tomar muestras simples cada 15 minutos para la formación de la muestra compuesta. Se recolectó un total de 5 muestras, y se generó la muestra a partir de volúmenes iguales.

Por otro lado, para la determinación de los parámetros correspondientes a grasas y aceites, coliformas fecales y totales que se especifican al tomar muestras simples, se toman muestras al inicio y al final de la operación.

El resultado de los análisis se muestra en la tabla N° 3. Se determinaron en la muestra 3700 mg/l de DBO, 109 mg/l de nitrógeno orgánico y 40 mg/l de fósforo total. La temperatura promedio del agua fue de 18 °C, con ausencia de oxígeno disuelto y p<sup>H</sup> entre 6.5 y 7.0. De acuerdo con los resultados presentados en la tabla N° 3.1. Los coliformes totales tuvieron un aumento desde 750 a 4600 NMP/100 ml., desde el inicio hasta el final de la operación, mientras que los fecales aumentaron de 430 a 930 NMP/100 ml, respectivamente. Las grasas y aceites al inicio de la operación registraron un valor de 618 mg/l, mientras que al concluir la recepción la concentración fue de 1750 mg/l.



**TABLA N° 3**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN LA ETAPA DE RECEPCIÓN  
DE MATERIA PRIMA EN INDUSTRIA DE  
HARINA DE PESCADO.**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Promedio de 5 muestras simples</b>	
Temp. (°C)	18.00
P <sup>H</sup> (Unidad)	6.90
Oxígeno Disuelto	0.00
Conductividad Eléctrica (µmhos/cm)	53.50
Turbidez (UTJ)	2,950.00
<b><u>Muestra Completa</u></b>	
DBO	3,700.00
Nitrógeno Orgánico	109.00
Nitrógeno Amoniacal	13.00
Fósforo Total	40.00
Ortofosfatos	8.50
Acidez	176.70
Alcalinidad	970.60
Cloruros	17,760.00
S Sed. (ml/l)	1.80
ST	54,992.00
STF	42,418.00
STV	13,505.00
SST	4,465.00
SSF	713.00
SSV	3,752.00
SDT	51,458.00
SDF	41,705.00
SDV	9,753.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario.

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

**TABLA N° 3.1**

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE GRASAS Y ACEITES, COLIFORMES  
TOTALES Y FECALES AL INICIO Y AL FINAL DE LA OPERACIÓN**

<b>Parámetro</b>	<b>Inicio de Operación</b>	<b>Final de Operación</b>
Grasas y Aceites. (ml/l)	618.00	1,750.00
Coli Totales (NMP/100 ml)	750.00	4,600.00
Coli Fecales (NMP/100 ml)	430.00	930.00

**3.1.2. Descarga de Prensas.**

**3.1.2.1. Aforo**

De acuerdo con la capacidad del cocedor (aprox. 10 ton./hr), se establece un programa de aforo a cada 45 minutos, utilizándose el método de volumen-tiempo. Para ello se hace la actividad de llenado de cubeta y toma de tiempo con cronómetro. La descarga de la prensa se da a través de tubería con descarga libre hacia canal que conduce las aguas de prensa hacia la fosa de almacenamiento, para su posterior tratamiento en superdecánter.

Los datos registrados en el campo, de esta actividad de aforo, se muestran en la tabla N° 3.2. El gasto promedio de descarga de prensa, producto de 14 aforos, fue de aproximadamente 1.0 l/seg.; tomando en cuenta que se quemaron 80 toneladas de sardina en 9.3 horas. El gasto unitario de esta etapa de proceso es de 414 l/ton.

**TABLA N° 3.2**

**AFORO DE DESCARGA DE PRENSA EN HARINERA DE PESCADO**

Hora	Volumen Aforado (l)	Tiempo de Llenado (seg)	Gasto Prom. (l/s)	En el Período		
				Gasto Prom. (l/s)	Tiempo (seg)	Volumen (l)
08:15	4.70	7.81	0.602	0.7470	2700	2016.90
09:00	4.82	5.40	0.892	0.8295	2700	2239.60
09:45	4.45	5.80	0.767	0.8550	2700	2308.50
10:30	4.97	5.27	0.943	1.0660	2700	2878.20
11:15	4.64	3.90	1.189	1.1380	2700	3072.60
12:00	3.84	3.53	1.087	0.9835	2700	2655.40
12:45	4.70	5.34	0.880	1.1315	2700	3055.00
13:30	3.79	2.74	1.383	1.0640	2700	2872.80
14:15	3.14	4.21	0.745	1.0055	2700	2714.80
15:00	3.50	2.70	1.266	1.0300	2700	2781.00
15:45	3.40	4.28	0.794	1.0750	2700	2902.50
16:30	4.00	2.95	1.356	1.1630	2700	3140.10
17:15	4.23	4.36	0.970	0.9895	1200	1187.40
17:35	3.04	3.01	1.009			
				SUMA:	33600	33824.80

Materia prima procesada: 80 ton.

Tiempo de descarga de la Prensa: 9.33 hrs.

Volumen descargado: 33824.8 Lts.

Gasto Unitario: 422.8. l/ton. de materia prima

### 3.1.2.2. Muestreo y Análisis

Para el muestreo de las aguas generadas en la prensa, se considera la toma de muestras simples cada hora y media, con el propósito de formar la muestra compuesta correspondiente. Se levantó un total de 7 muestras para este concepto, mismas a las que se les determinaron temperatura,  $p^H$ , Oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbiedad.

Adicionalmente, para cuantificar coliformes totales y fecales, grasas y aceites, se tomaron muestras al inicio, a mediados y al final de la operación de prensado.

Los resultados de la caracterización se muestran en la tabla N° 3.3. La temperatura de descarga resultó en promedio de 67 °C, con ausencia de oxígeno disuelto, mientras que la DBO de la muestra compuesta fue de 28040 mg/l, 9200 mg/l de nitrógeno orgánico y 36.3 mg/l de fósforo total, con 120071 mg/l de sólidos totales, de los cuales el 28% son fijos y el 72% son volátiles.

Por otro lado, los coliformes totales se cuantificaron en un promedio de  $1.9 \times 10^4$  NMP/100 ml, mientras que los fecales en  $3.4 \times 10^3$  NMP/100 ml; mientras que la presencia de grasas y aceites fue de 10767 mg/l.

### 3.1.3 Descarga de Sobrenadante.

#### 3.1.3.1 Aforo

Las aguas de prensa son posteriormente incorporadas a un superdecánter para la recuperación de sólidos. En observaciones preliminares, este equipo presentó una capacidad de cINTRIFUGACIÓN de 7,000 lts. de agua de prensa por hora de operación y se

estableció un programa de aforo de cada media hora; desde el inicio, hasta el final de la superdecantación.

**TABLA N° 3.3**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN LA ETAPA DE PRENSADO EN LA INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO.**

<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>
<b>* Promedio de 7 muestras simples</b>	
Temp. (°C)	67.00
P <sup>H</sup> (Unidad)	6.50
Oxígeno Disuelto	0.00
Conductividad Eléctrica (µmhos/cm)	43.60
Turbidez (UTJ)	6,500.00
<b><u>Muestra Compuesta</u></b>	
DBO	28,040.00
Nitrógeno Orgánico	9,200.00
Nitrógeno Amoniacal	215.40
Fósforo Total	36.30
Ortofosfatos	8.80
Acidez	1,492.80
Alcalinidad	1,616.00
Cloruros	6,321.00
S Sed. (ml/l)	1.30
ST	120,071.00
STF	34,087.00
STV	85,984.00
SST	69,856.00
SSF	2,070.00
SSV	67,786.00
SDT	50,215.00
SDF	18,198.00
SDV	32,017.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

El método de aforo fue mediante volumen-tiempo, efectuándose el llenado de cubeta en la tubería de descarga de superdecánter hacia la fosa de almacenamiento para alimentación posterior a centrifugas. Los datos de registro de campo y los aforos obtenidos se muestran en la tabla N° 3.4.

El tiempo de operación del superdecánter fue de 5.33 horas, recibiendo como insumo 33,824.8 lts. de agua proveniente del prensado de 80 toneladas de sardina. El superdecánter generó 28,984.6 lts. de residuos, lo cual origina un promedio de descarga de 1.51 l/seg. y un gasto unitario de 362.3 l/ton. de materia prima.

### 3.1.3.2 Muestreo y Análisis

Para el muestreo de las aguas generadas en el superdecánter se considera la toma de muestras simples al inicio y final de los cuatro ciclos de operación. Se obtuvo un total de 8 muestras, a partir de las cuales se conformó la muestra compuesta, de acuerdo con la proporcionalidad de los gastos.

Así mismo, para cuantificar los coliformes totales y fecales, las grasas y los aceites, se tomaron muestras al inicio, a mediados y al final de la operación del superdecánter.

Los resultados de los análisis practicados se muestran en la tabla N° 3.5 y N° 3.6; la descarga presenta ausencia de oxígeno disuelto, con gran turbidez y materia orgánica (18,906 mg/l de DBO), cantidades apreciables de nitrógeno orgánico (7,215.4 mg/l), se observó una reducción en el contenido de sólidos respecto al agua de alimentación, una reducción de 50% de sólidos totales y del 70% de sólidos suspendidos.

**TABLA N° 3.4**

**AFORO DE DESCARGA DE SOBRENADANTE EN  
INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO.**

Hora	Volumen Aforado (l)	Tiempo de Llenado (seg)	Gasto Prom. (l/s)	En el Período		
				Gasto Prom. (l/s)	Tiempo (seg)	Volumen (l)
09:35	3.59	2.86	1.255	1.4005	1800	2520.9
10:05	3.82	2.47	1.546	1.5360	1800	2764.8
10:35	3.71	2.43	1.526	1.5260	1800	274.6
10:38	Paro para llenado de pila de alimentación					
11:27	3.02	1.96	1.540	1.5280	1800	2750.4
11:57	4.73	3.12	1.516	1.4770	1800	2658.6
12:27	3.15	2.19	1.438	1.5790	1800	2842.2
12:57	3.39	1.97	1.720	1.7200	540	928.8
13:06	Paro para llenado de pila de alimentación					
14:18	3.95	2.82	1.400	1.5160	1800	2728.8
14:48	4.39	2.69	1.632	1.6010	1800	2881.8
15:18	4.57	2.91	1.570	1.5435	1800	2778.3
15:48	3.84	2.53	1.517	1.5170	120	182.00
15:50	Paro para llenado de pila de alimentación					
17:10	3.46	2.3	1.504	1.4420	1800	2595.6
17:40	4.32	3.13	1.380	1.4185	1800	2553.3
18:10	3.89	2.67	1.457	1.4570	360	524.50
				SUMA:	19200	28984.60

Volumen de Alimentación: 33824.8 lts. (Provenientes de la quema de 80 Ton. de Materia Prima)

Tiempo de Operación: 5.33 hrs.

Volumen descargado: 28984.6 lts. (1.51 l/seg)

Gasto unitario: 362.3 l/ton. de Materia Prima

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

Los coliformes totales se cuantificaron en 3,133 NMP/100 ml como promedio, mientras que los fecales lo fueron en 300 NMP/100 ml. Por otro lado las grasas y aceites promediaron 12,838 mg/l.



**TABLA N° 3.5**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DEL SUPERDECANTER  
EN INDUSTRIA DE HARINA DE PESCADO.**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Promedio de 8 muestras simples</b>	
Temp. (°C)	32.00
P <sup>H</sup> (Unidad)	6.70
Oxígeno Disuelto	0.00
Conductividad Eléctrica (µmhos/cm)	38.20
Turbidez (UTJ)	5,000.00
<b>Muestra Compuesta</b>	
DBO	18,906.00
Nitrógeno Orgánico	7,215.40
Nitrógeno Amoniacal	117.30
Fósforo Total	38.80
Ortofosfatos	11.30
Acidez	1,345.60
Alcalinidad	1,432.40
Cloruros	6,895.70
S Sed. (ml/l)	1.00
ST	60,312.00
STF	36,669.00
STV	23,643.00
SST	20,806.00
SSF	986.00
SSV	19,820.00
SDT	39,506.00
SDF	35,683.00
SDV	3,823.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

**TABLA N° 3.6****RESULTADOS DE ANÁLISIS DE GRASAS Y ACEITES, COLIFORMES TOTALES Y FECALES AL INICIO, INTERMEDIO Y FINAL DE LA OPERACIÓN DE SUPERDECANTER.**

<b>Parámetro *</b>	<b>Inicio de Operación</b>	<b>Intermedio de Operación</b>	<b>Final de Operación</b>
Grasas y Aceites. (mg/l)	14,560.00	10,730.00	13,225.00
Colif. Totales (NMP/100 ml)	$4.6 \times 10^3$	$2.4 \times 10^3$	$2.4 \times 10^3$
Colif. Fecales (NMP/100 ml)	$2.4 \times 10^2$	$2.3 \times 10^2$	$4.3 \times 10^2$

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental. Universidad de Sonora.

### 3.1.4 Descarga de Centrifuga.

#### 3.1.4.1 Aforo

Las aguas provenientes del superdecánter son almacenadas para su procesamiento a través de centrifugado para la recuperación de aceites de pescado, previo calentamiento de dichas aguas.

La planta estudiada cuenta con dos centrifugas con capacidad de  $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ . cada una, por lo que se estableció un programa de aforos con intervalos de media hora desde el inicio de operación hasta el final de la centrifugación.

El método de aforo fue mediante volumen-tiempo y como las centrifugas operan simultáneamente, las mediciones se efectuaron en una de ellas. Los datos de registro de campo y los aforos obtenidos se muestran en la tabla N° 3.7.

**TABLA N° 3.7**

**AFORO DE DESCARGA DE SUPERDECANTER EN INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO.**

Hora	Volumen Aforado (l)	Tiempo de Llenado (seg)	Gasto Prom. (l/s)	En el Período		
				Gasto Prom. (l/s)	Tiempo (seg)	Volumen (l)
16:07	4.38	3.87	1.131	1.1975	1800	2155.50
16:37	3.64	2.88	1.264	1.2955	1800	2331.90
17:07	3.89	2.93	1.327	1.2615	1800	2270.70
17:37	4.26	3.56	1.196	1.2100	1800	2178.00
18:07	3.77	3.08	1.224	1.2240	1020	1248.50
18:24		Paro de Centrífuga				
18:48	4.64	3.96	1.172	1.1780	1800	2120.40
19:18	3.6	3.04	1.184	1.1235	720	808.90
19:30	4.37	4.11	1.063	1.0630	480	510.20
19:38		Fin de Operación				
				SUMA:	<u>11220</u>	<u>13624.10</u>

Por Centrífuga de Operación

Volumen de alimentación: 14492.3 lt.

Tiempo de operación: 3.11 hrs.

Volumen descargado: 13624.1 lts. (1.214 l/seg)

Para dos Centrífugas

Volumen de Alimentación: 28984.6 lts.

Volumen Descargado: 27248.2 lts. (2.428 l/seg)

Gasto Unitario: 340.6 l/ton. de materia prima

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

El tiempo de operación de cada centrífuga es de 3.11 horas, recibiendo cada una de ellas una alimentación de 14,492.3 lts. y generando una descarga de 13,624.1 lts. Dado que el agua de alimentación provenía originalmente de la quema de 80 toneladas de sardina, el gasto unitario de descarga, para ambas centrífugas, fue de 340.6 l/seg durante el período de centrifugación.

#### 3.1.4.2 Muestreo y Análisis

Para el muestreo de las aguas provenientes de las centrífugas se estableció un programa con intervalos de 30 minutos para la toma de muestras. Se recolectó un total de 6 muestras simples, tanto para formar la compuesta correspondiente, como para determinar los organismos coliformes, las grasas y los aceites.

Los resultados de los análisis se muestran en la tabla N° 3.8. De acuerdo con la caracterización, esta descarga presenta un DBO de 17,844 mg/l; 8,129 mg/l de nitrógeno orgánico, 43.8 de fósforo total, 85,605 mg/l de sólidos totales, de los cuales el 41% son fijos y 59% volátiles.

Por otro lado, en la tabla N° 3.9 se presentan los resultados obtenidos en las muestras simples mismas que presentan altas temperaturas de descarga (58-65 °C), ausencia de oxígeno disuelto, alta turbiedad (5500 UTJ) y 786 mg/l. de grasas y aceites. La presencia de organismos coliformes fue de 1,700 y 540 NMP/100 ml. de totales y fecales, respectivamente.

**TABLA N° 3.8**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE CENTRÍFUGAS  
EN INDUSTRIA DE HARINA DE PESCADO,  
EN MUESTRA COMPUESTA**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Promedio de 5 muestras simples</b>	
DBO	17,844.00
Nitrógeno Orgánico	8,129.00
Nitrógeno Amoniacal	123.60
Fósforo Total	43.80
Ortofosfatos	12.30
Acidez	1,434.20
Alcalinidad	1,858.20
Cloruros	5,861.20
S Sed. (ml/l)	0.80
ST	85,605.00
STF	35,291.00
STV	50,314.00
SST	24,200.00
SSF	900.00
SSV	23,300.00
SDT	61,405.00
SDF	34,391.00
SDV	27,014.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental. Universidad de Sonora.

**TABLA N° 3.8**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE CENTRÍFUGAS  
EN INDUSTRIA DE HARINA DE PESCADO,  
EN MUESTRA COMPUESTA**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Promedio de 5 muestras simples</b>	
DBO	17,844.00
Nitrógeno Orgánico	8,129.00
Nitrógeno Amoniacal	123.60
Fósforo Total	43.80
Ortofosfatos	12.30
Acidez	1,434.20
Alcalinidad	1,858.20
Cloruros	5,861.20
S Sed. (ml/l)	0.80
ST	85,605.00
STF	35,291.00
STV	50,314.00
SST	24,200.00
SSF	900.00
SSV	23,300.00
SDT	61,405.00
SDF	34,391.00
SDV	27,014.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental. Universidad de Sonora.

**TABLA N° 3.9****CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL DE CENTRIFUGAS EN INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO EN MUESTRAS SIMPLES.**

<b>Parámetro *</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Temp. (°C)	62.00	65.00	58.00	59.00	63.00	65.00
P <sup>H</sup> (Unidad)	6.60	7.00	6.60	6.80	6.90	6.90
Oxigeno Disuelto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Conductividad Eléctrica (µmhos/cm)	59.30	48.40	52.50	50.60	54.50	52.70
Turbidez (UTJ)	5000.00	5500.00	5500.00	6000.00	5200.00	5500.00
Colif. Totales (NMP/100 ml)	2300.00	930.00	1500.00	2400.00	2400.00	750.00
Colif. Totales (NMP/100 ml)	240	150	930	930	750	240
Grasas y Aceites (mg/l)	980	874	326	954	713	873

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

**3.2 PLANTA ENLATADORA**

Para el proceso de corte y enlatado de pescado, se establecieron cuatro puntos de aforo y muestreo para su estudio: a) transporte externo y b) transporte interno, en el proceso de corte, c) drenado de latas y d) lavado de latas, en el proceso de enlatado.

Los puntos de aforo y muestreo se operaron con la llegada a la planta de 20 toneladas de sardina para corte y enlatado. Se describen a continuación las actividades realizadas:

### 3.2.1. Transporte Externo

#### 3.2.1.1 Aforo

La actividad de descarga de materia prima hacia recepción por la planta, se realizó en 48 minutos, utilizándose como medio de transporte 8.5 m<sup>3</sup> de agua procedentes de la bodega del barco, mismas que estuvieron recirculándose hasta completar la operación de descarga. De acuerdo con esta información, el gasto unitario de descarga para la etapa de transporte externo es:

$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(8.5 \text{ m}^3 \text{ agua}) (1000 \text{ l/m}^3)}{20 \text{ ton. mat. prima}} = 425 \text{ lts/ton. mat. prima}$$

Posteriormente, a fin de corroborar el gasto de descarga en transporte externo, se cuantificó en otra industria de mayor capacidad un volumen de 12 m<sup>3</sup> para la recepción de 44 toneladas de materia prima, resultado de lo anterior:

$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(12 \text{ m}^3 \text{ agua}) (1000 \text{ l/m}^3)}{44 \text{ ton. mat. prima}} = 272 \text{ lts/ton. mat. prima}$$

Finalmente, se efectuó también una medición en otra industria con capacidad intermedia y dio como resultado que para recibir 32 toneladas de materia prima, se utilizó un volumen de 10 m<sup>3</sup> de agua salada:



$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(10 \text{ m}^3 \text{ agua}) (1000 \text{ l/m}^3)}{32 \text{ ton. mat. prima}} = 312 \text{ lts/ton. mat. prima}$$

Con los datos anteriores, al determinar un promedio ponderado se obtiene como resultado:

$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(8.5 + 12 + 10) \text{ m}^3}{(20 + 44 + 32) \text{ ton.}} = \frac{317 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{ton. mat. prima}}$$

### 3.2.1.2 Muestreo y Análisis

La actividad se realizó en la primera de las plantas mencionadas anteriormente, efectuándose una toma de muestra en 3 ocasiones: posterior al inicio de operación, durante la operación intermedia y al final del desembarque. Con estas tres muestras simples se conformaron muestras compuestas, a partir de volúmenes iguales, considerando la recirculación del agua.

Para muestreo de coliformes, grasas y aceites, se recolectaron muestras al inicio y al final de la operación de desembarque.

Los análisis efectuados y sus resultados se reportan en la tabla N° 3.10. La DBO de la muestra compuesta resultó de 2,930 mg/l, 89.0 mg/l de nitrógeno orgánico y 42.8 mg/l de fósforo total. La temperatura promedio del agua fue de 18.5 °C con p<sup>H</sup> y conductividad eléctrica similar a las características de agua de mar 7.5 y 49.4, respectivamente. Se registró ausencia total de oxígeno disuelto y presencia tanto de coliformes totales y fecales, como de grasas y aceites, según resultados presentados en la tabla N° 3.11

TABLA N° 3.10

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN ETAPA DE  
TRANSPORTE EXTERNO DE MATERIA PRIMA EN  
INDUSTRIA DE CORTE ENLATADO DE PESCADO.**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Promedio de 3 muestras simples</b>	
Temp. (°C)	18.50
P <sup>H</sup> (Unidad)	7.10
Oxígeno Disuelto	0.00
Conductividad Eléctrica (µmhos/cm)	49.40
Turbidez (UTJ)	2,850.00
<b><u>Muestra Compuesta</u></b>	
DBO	2,930.00
Nitrógeno Orgánico	89.00
Nitrógeno Amoniacal	13.80
Fósforo Total	42.80
Ortofosfatos	10.40
Acidez	210.50
Alcalinidad	1,037.80
Cloruros	18,238.00
S Sed. (ml/l)	1.40
ST	41,386.00
STF	32,845.00
STV	8,541.00
SST	3,484.00
SSF	684.00
SSV	2,800.00
SDT	37,902.00
SDF	32,161.00
SDV	5,741.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

**TABLA N° 3.11**

**RESULTADOS DE GRASAS Y ACEITES, COLIFORMES  
TOTALES Y FECALES**

<b>Parámetro *</b>	<b>Inicio de Operación</b>	<b>Final de Operación</b>
Grasas y Aceites. (mg/l)	238.00	925.00
Colif. Totales (NMP/100 ml)	4,300.00	4,600.00
Colif. Fecales (NMP/100 ml)	1,750.00	2,400.00

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental. Universidad de Sonora.

### 3.2.2 Transporte Interno

Después de la recepción de la materia prima, ésta es transportada hacia las mesas de corte, en las cuales se efectúa el corte de cabeza y cola y posteriormente el desviscerado. Las cabezas, las colas y las vísceras son transportadas por medio de un canal con agua salada, presentando como característica la recirculación del agua como vehículo de transporte. De igual manera, el cuerpo de la sardina es manejado por canaleta con agua salada, con características de recirculación de agua. La actividad de corte y desviscerado de las 20 toneladas de materia prima se llevó a cabo en un tiempo efectivo de operación de cuatro horas con 46 minutos.

### 3.2.2.1 Aforo

Dadas las características de recirculación del agua en el transporte interno del pescado, se operó el programa de aforo mediante la medición del volumen y el número de veces que se evacuaban la pilas de recirculación. Una vez que los operadores consideraban inadecuada la calidad del agua para continuarla recirculando para el transporte de cabezas y vísceras, la pila de recepción fue evacuada en 3 ocasiones, cuantificándose el volumen descargado a través del volumen de agua en la pila antes de la descarga. Estos volúmenes fueron: 1,800, 2,680 y 2,250 lts. Estos valores indican que, para esta actividad, el gasto unitario de agua residual es:

$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(1800 + 2680 + 2250) \text{ l}}{20 \text{ ton. mat. prima}} = \frac{336.5 \text{ l}}{\text{ton. mat. prima}}$$

Por otro lado, para el transporte del cuerpo de pescado, la pila de recepción fue evacuada en dos ocasiones y fueron los volúmenes de descarga de 1,600 y 1,830 lts, con un gasto unitario de:

$$\text{Gasto Unitario} = \frac{(1600 + 1830) \text{ l}}{20 \text{ ton. mat. prima}} = \frac{171.5 \text{ l}}{\text{ton. mat. prima}}$$

De acuerdo con lo anterior, el gasto unitario para el transporte interno, utilizando la recirculación de agua, resulta ser:

### Gasto Unitario

$$\text{Transporte Interno} = 336.5 + 171.5 = 508 \text{ l/ton. mat. prima}$$

Así mismo, con el objeto de cuantificar la ventaja del reúso del agua para el transporte interno, se efectuaron tres mediciones de gastos en cada una de las canaletas anteriormente mencionadas, y se obtuvo como resultado, que entre ambas requirieron de un gasto promedio de 3.97 l/s; tomando en cuenta que la operación de corte y desviscerado se llevó a cabo en 4.46 hrs. Esto indica un volumen de 63,742 lts utilizados en el transporte interno; pero, de acuerdo con la recirculación del agua, el volumen efectivamente utilizado es de 10,160 lts, abatiéndose el requerimiento de agua en un 84%, lo cual indica la necesidad de la recirculación del agua para abatir el consumo de la misma.

#### 3.2.2.2 Muestreo y Análisis

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, la descarga de agua recirculada, aunque de menor volumen, presenta mayor concentración de contaminantes que las aguas de transporte que no son recirculadas; pero, al final del proceso de corte-desviscerado, las cargas contaminantes de ambas facetas serían similares, dado que los contaminantes provienen del mismo volumen de materia prima.

El levantamiento de muestras se llevó a cabo en el momento en que las pilas de recirculación se descargaron. Se recolectaron 5 muestras simples y se formaron muestras compuestas, de acuerdo con la proporcionalidad del volumen. Los resultados analíticos obtenidos se muestran en la tabla N° 3.12. La muestra compuesta presenta una DBO de

4,787 mg/l, 163.5 mg/l de nitrógeno orgánico y 39.0 mg/l de fósforo total. Los sólidos totales son del orden de los 44,730 mg/l, de los cuales el 75% corresponden a sólidos fijos y el 25% a sólidos volátiles.

Las muestras simples indican según la tabla N° 3.13 ausencia de oxígeno disuelto y características de  $p^H$  y conductividad eléctrica correspondientes a agua salada, mientras que la turbiedad es más alta para el transporte de cabezas y vísceras (1500 UTJ), que para el transporte del cuerpo del pescado (1200 UTJ); similar comportamiento presenta el material coliforme, las grasas y los aceites. Fueron los promedios ponderados: 4,267 NMP/100 ml para coliformes totales, 1,750 NMP/100 ml para coliformes fecales y 3,203 mg/l de grasas y aceites.

### 3.2.3 Drenado de Latas

Una vez que las latas salen del procesador, pasan al drenador. El agua residual en esta etapa contiene vapor condensado, aceites y jugos naturales del pescado.

#### 3.2.3.1 Aforo.

Para llevar a cabo esta actividad, se extrajeron de la línea de proceso, 12 latas seleccionadas al azar, a las cuales se les drenó el líquido y se cuantificó el volumen drenado; el volumen promedio drenado resultó de 127 ml, lo cual, considerando que 20 toneladas de materia prima originan una producción de 24,000 latas en la industria estudiada, se tendrá un volumen total de agua drenada de 3,048 lts, dando como resultado un gasto unitario de:

$$\begin{array}{l} \text{Gasto Unitario} \\ \text{Drenado de latas} \end{array} = \frac{3048 \text{ lts}}{20 \text{ ton. mat. prima}} = 152.4 \text{ l/ton. mat. prima}$$

**TABLA N° 3.12**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN LA ETAPA DE CORTE-DESVICERADO DE PESCADO.**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
DBO	4,787.00
Nitrógeno Orgánico	163.50
Nitrógeno Amoniacal	9.00
Fósforo Total	39.00
Ortofosfatos	27.00
Acidez	311.40
Alcalinidad	1,208.30
Cloruros	22,543.00
S Sed. (ml/l)	1.50
ST	44,730.00
STF	33,607.00
STV	11,123.00
SST	12,387.00
SSF	1,467.00
SSV	10,920.00
SDT	32,343.00
SDF	32,140.00
SDV	203.00
S.A.A.M.	< 0.025

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

**TABLA N° 3.13**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN LA ETAPA DE CORTE-DESVISCERADO DE PESCADO, MUESTRAS SIMPLES.**

<b>Parámetro *</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Temp. (°C)	19.00	17.00	17.00	18.00	17.00
P <sup>H</sup> (Unidad)	6.90	6.90	6.80	6.70	6.90
Oxígeno Disuelto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Conductividad Eléctrica (μmhos/cm)	49.80	48.40	52.50	50.60	54.50
Turbidez (UTJ)	1500.00	1400.00	1500.00	1 200.00	1000.00
Colif. Totales (NMP/100 ml)	9100.00	4000.00	4300.00	2400.00	1500.00
Colif. Totales (NMP/100 ml)	3000.00	2300.00	2300.00	370	240
Grasas y Aceites (mg/l)	3042.00	3427.00	3905.00	2780.00	2540.00

\* Muestras 1, 2 y 3, Transporte interno de cabezas y vísceras.

Muestras 4 y 5, Transporte interno de cuerpo.

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

### 3.2.3.2 Muestreo y Análisis

Para realizar la labor de muestreo, se drenaron 25 latas provenientes del precocedor, mezclándose los volúmenes individuales para conformar la muestra compuesta.

Los resultados analíticos se presentan en la tabla N° 3.14; cuantificándose una DBO de 1,387 mg/l, 2,857 mg/l de grasas y aceites, 226 mg/l de nitrógeno orgánico y 12,326 mg/l de sólidos totales.



**TABLA N° 3.14**

**CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN LA ETAPA DE DRENADO DE LATAS, EN INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO.**

<b>Parámetro *</b>	<b>Cantidad</b>
Temp. (°C)	58
P <sup>H</sup> (Unidad)	0
Oxígeno Disuelto	12.70
Conductividad Eléctrica (µmhos/cm)	1,700.00
Turbidez (UTJ)	1,387.00
DBO	226.00
Nitrógeno Orgánico	32.00
Nitrógeno Amoniacal	84.00
Fósforo Total	22.00
Ortofosfatos	98.50
Acidez	348.00
Alcalinidad	25.40
Cloruros	0.35
S Se	12,326
ST	3,408.00
SST	8,918.00
SDT	8,918.00
S.A.A.M.	< 0.025
Colif. Totales (NMP/100 ml)	230.00
Colif. Fecales (NMP/100 ml)	0.00
Grasas y Aceites	2,857.00

\* En mg/l, salvo se indique lo contrario

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio, área de ingeniería ambiental, Universidad de Sonora.

### 3.3. Cargas Contaminantes de los Procesos

#### 3.3.1. Industria Harinera

Considerando el transporte externo, la concentración de contaminantes en el agua de cola y la recirculación de agua, en la tabla N° 3.15 se muestran las cargas contaminantes de este giro industrial.

Por otro lado, de la tabla mencionada se tiene que la integración, de descargas daría los siguientes resultados: gasto 624 litros, DBO 11,360 mg/l, nitrógeno orgánico 4,476 mg/l, 41.7 mg/l de fósforo total, 1,2 ml/l de sólidos sedimentables, 15,218 mg/l. de sólidos suspendidos, 3,000 y 716 NMP/100 ml. de conformes totales y fecales, respectivamente y 1,224 mg/l. de grasas y aceites.

#### 3.3.2 Industria Enlatadora

Para la industria de enlatado de pescado, incluye corte; contemplando los datos de aforo y caracterización de las cuatro descargas principales de este tipo de industria, haciendo mención que tanto para el transporte externo como el interno del pescado, se consideran actividades de recirculación de agua. Resulta que la cuantificación de las cargas contaminantes presenta los siguientes índices: por tonelada de materia prima: 3.6 kg de DBO, 0.14 kg de nitrógeno orgánico, 0.05 kg de fósforo total, 7.9 kg de sólidos suspendidos y 2.3 kg de grasas y aceites.

Así mismo, para este giro se presenta la concentración esperada en los diversos parámetros, considerando la integración de las descargas de transporte externo e interno, drenado y lavado de lata. Se destacó lo siguiente: gasto de 1097.4 lt/s, DBO

3,288 mg/l, nitrógeno orgánico 134 mg/l, 42.8 mg/l de fósforo total, 1.2 ml/l de sólidos sedimentables, 7,250 mg/l de sólidos suspendidos, 3,335 y 1,500 NMP/100 ml de coliformes totales y fecales respectivamente, por último 2,155 mg/l de grasas y aceites y ausencia de oxígeno disuelto.

TABLA N° 3.15 CARGAS CONTAMINANTES EN INDUSTRIA HARINA DE PESCADO

CONCEPTO	TRANSPORTE EXTERNO		AGUA DE COLA		Total de carga contaminante por tonelada de materia prima	Concentración esperada por integración de cargas
	Concentración	Carga contaminante por tonelada de materia prima	Concentración	Carga contaminante por tonelada de materia prima		
GASTO UNITARIO (l/t m.p.)	284.000	284.000 lt.	340.000	340.000 l	624.000 l	624.000
TEMP. (°C)	18.000	-	62.000	-	-	41.000
TURBIEDAD (utj)	3000.000	-	5500.000	-	-	4362.000
DBO (mg/l)	3700.000	1.050 kg	17844.000	6.067 kg	7.089 kg	11360.000
N ORGANICO (mg/l)	109.000	0.030 kg	8129.000	2.863 kg	2.793 kg	4476.000
F TOTAL (mg/l)	40.000	0.011 kg	43.800	0.015 kg	0.026 kg	41.700
SST (mg/l)	4465.000	1.268 kg	24200.000	8.228 kg	35.491kg	15218.000
GRASAS Y ACEITES (mg/l)	1750.000	0.497 NMP	786.000	0.267 kg	0.764 kg	1224.000

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y PRUEBAS DE TRATABILIDAD**

#### **4.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS**

De acuerdo con las características de los efluentes de la industria pesquera, de contenidos significativos de material orgánico, suspendido y en solución, además de cantidades variables de grasas y aceites dependiendo del proceso productivo y de sistemas de recuperación, los procesos de tratamiento recomendados para este tipo de aguas son:

- a) Separación física de sólidos gruesos mediante cribado.
- b) Sedimentación primaria.
- c) Flotación con aire disuelto
- d) Coagulación y separación física de sólidos coloidales y en solución, junto con el aceite presente en las descargas, mediante sedimentación o flotación con aire disuelto.
- e) Tratamiento biológico para la degradación de la materia orgánica, mediante aireación convencional, lagunas aireadas, filtros percoladores o discos rotatorios.

Considerando que los procesos antes mencionados han demostrado ser técnicamente aceptables para el tratamiento de las descargas de la industria pesquera en general, a continuación se presenta un análisis de ellos.

#### 4.1.1. Cribado.

El uso de cribas gruesas (malla N° 4) antes de la descarga de una industria pesquera es una práctica común, debido al potencial de recuperación de los sólidos retenidos, los cuales son reciclados a las plantas productoras de harina de pescado, lo que permite amortizar las inversiones realizadas.

A partir de pruebas realizadas en la industria pesquera del Canadá (4) con mallas mas finas (No. 34 y No. 40) tanto del tipo tambor como tangenciales, se demostró la aplicabilidad del cribado fino, a pesar del alto contenido de materiales obturantes, tales como grasas, aceites y emulsiones normalmente presentes en las descargas, incrementándose así la cantidad de material recuperado; y por consiguiente, el beneficio económico de la operación.

De acuerdo con los datos anteriores y con la ventaja económica que se obtiene al instalar el cribado fino, es conveniente que previo a la incorporación de los efluentes industriales al sistema de recolección y conducción a tratamiento, se instale una criba fina del tipo autolimpiante, con una abertura mínima cercana a la dada por la malla No. 40 (0.635 mm). Es también una buena alternativa el considerar el uso de cribas estáticas con abertura de 2.5 cm y 1 mm.

#### 4.1.2. Sedimentación Primaria.

Una vez sujetas a cribado, las descargas de la industria pesquera poseen aún un alto contenido de materia orgánica disuelta y suspendida, además de los aceites de pescado que normalmente arrastran estas corrientes. Para efectuar la remoción del material suspendido se recomienda como factible el proceso de sedimentación primaria, el cual es un sistema compacto con requerimientos, medios de operación y mantenimiento, que presenta habilidad media para la remoción de grasas, aceites y materia orgánica; aunque la factibilidad de este proceso debe de probarse tomando en cuenta que para algunos efluentes de la industria pesquera, la diferencia de densidades sólida y líquida es pequeña, lo cual repercute en bajas velocidades de sedimentación, requiriéndose por ello altos tiempos de retención y, por consiguiente, volúmenes significativos de la zona de sedimentación. (10).

#### 4.1.3 Flotación con aire disuelto.

El sistema de flotación es también un sistema compacto que tiene la gran ventaja de presentar más altas eficiencias de remoción que la sedimentación primaria, debido a que los materiales son arrastrados hacia la superficie mediante la ayuda que les proporciona el burbujeo de aire disuelto, lográndose con ello la remoción significativa de sólidos suspendidos, grasas, aceites y materia orgánica. La flexibilidad de este sistema permite asimilar fluctuaciones del caudal y cargas a tratar. Presenta como desventaja el requerimiento de personal entrenado para la operación y el mantenimiento. (11)

#### 4.1.4. Coagulación Química.

Considerando que la materia orgánica disuelta y coloidal puede ser removida eficientemente mediante la adición de coagulantes; que, por una parte, precipiten algo del contenido disuelto y, por otra parte coagulen los sólidos suspendidos, la recomendación generalizada para el tratamiento de estas descargas es hacia el uso de coagulantes antes de pasar a un proceso de separación física de los flóculos generados.

Fundamentada en pruebas de laboratorio, la bibliografía consultada (4) recomienda las sales metálicas como los coagulantes que mejores resultados han dado en el tratamiento de las descargas de la industria pesquera, por lo que se concluye que de este tipo de coagulantes el que mejores resultados ha dado es el alumbre (Sulfato de Aluminio) en dosis que llega a los 235 mg/l.

Debido a la presencia de altos contenidos de grasas y aceite de pescado y al hecho de que la densidad de los coloides en las aguas residuales de la industria pesquera es cercana a la unidad, el proceso de sedimentación no presenta las ventajas y eficiencias logradas en un proceso de flotación con aire disuelto funcionando con este tipo de desechos. Además de lo anterior, la concentración de los sólidos removidos mediante el proceso de flotación alcanza valores hasta del 7%, el cual es muy superior al que pudiera esperarse de la sedimentación convencional.

Cabe aclarar que los lodos generados mediante el proceso de flotación con aire disuelto contienen altas cantidades de materia orgánica y proteínas que pudieran ser atractivas para su uso en alimento para ganado o como abono de tierras labrantías.

Tomando en cuenta lo anterior, resulta una buena opción de tratamiento primario el uso del proceso de flotación con aire disuelto, incorporando la ayuda de coagulantes



metálicos para la precipitación de la materia orgánica disuelta y suspendida, así como la remoción eficiente de las grasas y aceites.

#### 4.1.5. Tratamiento Biológico

A pesar de que en términos generales las descargas de la industria pesquera presentan condiciones favorables para el tratamiento biológico, existen varios factores que interfieren con la eficiencia de estos procesos:

- 1) La presencia de fuertes concentraciones de grasas y aceites.
- 2) Las altas y frecuentes variaciones en caudal, tanto diarias como estacionales.
- 3) El uso de agua salada en algunas industrias, lo cual incrementa grandemente los periodos de aclimatación.

El primero de los tres factores mencionados influye principalmente sobre la transferencia de oxígeno, y aunque importante, pudiera ser evitado con algún proceso de pretratamiento para la separación de la grasa y los aceites. En el caso de los dos últimos factores de interferencia, los problemas no pueden evitarse dado que su efecto se suma y proviene de criterios y esquemas operativos de la industria que no pueden ser modificados para efectos de tratamientos.

Los procesos biológicos que han sido aplicados al tratamiento de las descargas de la industria pesquera son: sistemas de aereación convencional, lagunas aereadas, filtros percoladores y discos biológicos rotatorios. Es este último proceso, junto con el de lagunas aereadas, el que mejores resultados ha proporcionado; el de los discos aplicados después de un proceso de flotación con aire disuelto, el de lagunas aereadas aplicado sin

ninguna clase de pretratamiento, aunque limitado a tiempos de retención mayores que cinco días. (11)

Los problemas detectados para los dos procesos restantes son:

- 1) La fuente de variación diaria y estacional en caudales aplicados para el sistema de aereación; y
- 2) Los taponamientos debidos a la gran cantidad de sólidos suspendidos par el filtro percolador. Es conveniente mencionar que todos los procesos biológicos que se citan están sujetos al problema común del uso de agua salada en algunas de las industrias instaladas, lo cual genera problemas operativos de consideración.

Conviene observar que usando cualquiera de los procesos biológicos antes mencionados, se imposibilita la recuperación de subproductos, factibles en los procesos de separación física o fisico-química.

#### **4.2 Selección de Tratamientos a Estudiar**

Los resultados del análisis de los sistemas de tratamiento recomendados indican que es factible técnicamente la aplicación de cada uno de ellos; sin embargo, es necesario efectuar consideraciones adicionales antes de la selección de tratamientos a estudiar. El tratamiento a las descargas de la industria pesquera presenta dos aspectos a considerar en el desfasamiento de inversiones: él referente a los requerimientos actuales de calidad en las descargas, y el segundo referente a una comparación entre la eficiencia que se logra

con procesos de tratamiento primario y el incremento que puede lograrse al agregar procesos de tratamiento secundario.

Bajo el primer aspecto, se considera adecuado un proceso de tratamiento primario que presente eficiencias altas en la remoción de sólidos, DBO y aceites. En segundo aspecto, dadas las eficiencias del tratamiento primario, la materia orgánica presente en la descarga será mayormente del tipo soluble y removible eficientemente por procesos de tratamiento biológicos, los cuales resultan costosos en cualquiera de las dos alternativas que de este proceso es factible aplicar (discos biológicos y lagunas aereadas).

En la tabla N° 4.1 se presentan las características del influente y el efluente para procesos de tratamiento primario y secundario; los primeros obtenidos en la bibliografía consultada (4), y los segundos determinados de acuerdo con estándares de calidad en sistemas biológicos típicos. De acuerdo con los datos de esta tabla, el incremento de la eficiencia global del sistema de tratamiento al agregar procesos biológicos es solamente substancial en el parámetro de sólidos disueltos, ya que los sólidos suspendidos registran un incremento de eficiencia de solo un 3%, en tanto que la remoción del DBO aumenta en un 11% con respecto al valor obtenido en el efluente del proceso primario.

De acuerdo con lo anterior, conviene que como una primera etapa, el esquema de tratamiento general para la industria pesquera, se reduzca a un proceso primario, el cual deberá ser precedido por un cribado fino de las descargas industriales a fin de evitar cargas inútiles a las unidades y generar medios rápidos de recuperación de subproductos.

Considerando los requerimiento de calidad en las descargas de acuerdo con la normatividad vigente, se propone que como segunda etapa sea construido un proceso adicional del tratamiento biológico para el pulimiento del efluente del proceso primario.

**TABLA N° 4.1**

**EFICIENCIAS TEÓRICAS DE REMOCIÓN EN PROCESOS PRIMARIO Y SECUNDARIO**

Concepto	Sólidos (mg/l)		DBO (mg/l)
	Suspendidos	Disueltos	
Tratamiento Primario			
Influente	959	1590	5635
Efluente	61	1075	1075
Remoción (%)	94	32	86
Tratamiento Secundario			
Influente	61	1075	815
Efluente (1)	30	250	200
Remoción (%)	51	77	76
Eficiencia Global (%)	97	84	97
Incremento en la eficiencia (%)	3	52	11

(4) Ref. F. C. Claggert, J Wong Treatment of fish processing plant wastewater Bulletin of the fisheries pesearch board of Canadá; 1990.

(1) Valores estimados de acuerdo a eficiencias medias en sistemas de lodos activados.

Por otro lado, es necesario hacer hincapié en que dentro de la industria pesquera existen características diferentes de la calidad de las aguas residuales, dependiendo de si la industria es harinera o cortadora-enlatadora.

Atendiendo lo anteriormente expuesto, se seleccionan como procesos de tratamiento, aquellos cuya factibilidad técnica deberá ser demostrada mediante el estudio de pruebas de tratabilidad:

- 1). Sedimentación primaria,
- 2). Coagulación química y
- 3). Remoción de lodos coagulados y aceites mediante flotación con aire disuelto.

**TABLA N° 4.2**

**CONCENTRACIONES DE SST OBTENIDAS A DIVERSOS TIEMPOS Y PROFUNDIDADES EN PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN FLOCULENTA PARA LA DESCARGA DE INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO**

Tiempo de Sedimentación (min)	Concentración de SST a diferentes profundidades (mg/l)		
	0.6 m	1.20 m	1.80 m
5	7,373	7,639	7,806
10	6,670	7,139	7,378
20	5,358	6,548	6,680
30	4,766	5,670	6,296
40	4,055	5,043	5,673
50	3,858	4,755	5,359
60	3,404	4,426	4,923
75	3,257	4,158	4,735
90	3,083	3,906	4,561

Concentración Inicial de SST = 8326 mg/l

**4.3 Descripción de las Pruebas de Tratabilidad**

La aplicación de los procesos seleccionados para las condiciones particulares de la industria pesquera requiere de demostración de la falibilidad técnica, así como de la optimización de los diversos parámetros de diseño que controlan los mecanismos de remoción de contaminantes. Es un objetivo de la presente sección el presentar los fundamentos teóricos de los procesos y los procedimientos recomendados para efectuar las pruebas de tratabilidad.

#### 4.3.1. Sedimentación Floculenta

La sedimentación es, comúnmente, la operación del tratamiento primario más utilizada. Se utiliza para separar los sólidos suspendidos. La eliminación por sedimentación se basa en la diferencia de gravedad específica entre las partículas sólidas y el volumen del líquido.

Se reconocen tres tipos de sedimentación, según la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión.(9)

La sedimentación de partículas discretas se refiere a una suspensión de baja concentración de sólidos que sedimentan como una entidad individual, considerándose que no altera sus propiedades físicas (tamaño, forma y peso). El asentamiento de partículas granulares en cámaras de arena es un ejemplo típico de sedimentación discreta. Para la industria pesquera, este tipo de proceso no resulta de interés.

La sedimentación de partículas floculentas ocurre cuando las partículas se aglomeran en un período de asentamiento. La aglomeración de las partículas es acompañada por cambios en la densidad y la velocidad de asentamiento. La sedimentación que ocurre en los sedimentadores primarios es un ejemplo.

La sedimentación de partículas floculentas tiene lugar cuando la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementó conforme sedimentan a través de la profundidad del tanque, debido a la coalescencia con otras. Este incremento en la velocidad de sedimentación no da una trayectoria curvilínea de sedimentación, a diferencia de la sedimentación de partículas discretas. Se aprecia lo anterior en la figura N° 4.1 a y N° 4.1 b.

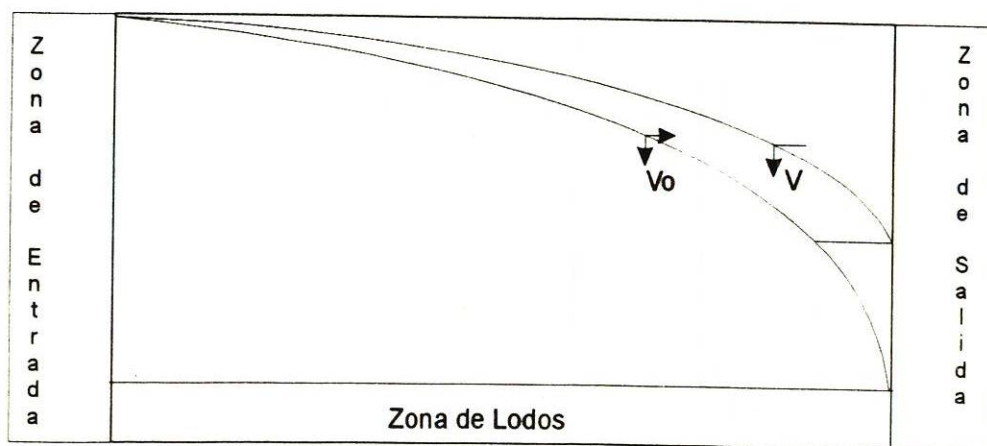
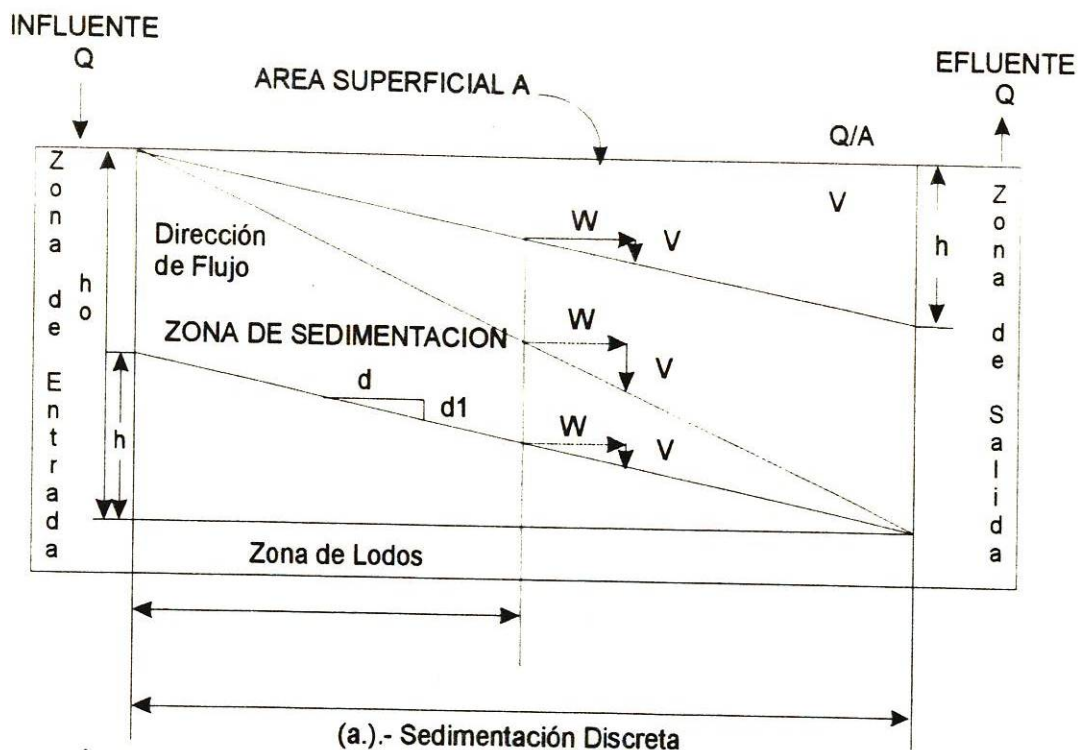
En este caso, no se puede realizar un análisis matemático. Los criterios de diseño para un sistema de sedimentación floculenta son establecidos por un análisis de sedimentación de laboratorio, para lo cual se requiere de una columna de 3 mts de alto aproximadamente y 15 cms de diámetro. Los puertos de muestreo pueden colocarse a 60 cms de distancia, partir de la base de la columna (figura N° 4.2).

La concentración de sólidos suspendidos se mantiene uniforme a través de una columna en el inicio de la prueba por medio de un agitador portátil. La altura de la columna es la misma que en el diseño de un tanque de sedimentación. La temperatura se mantiene constante durante toda la prueba.

Los parámetros de control en la prueba son la determinación de SST en el influente y en los efluentes colocados a distinta profundidad, y el procedimiento de operación consiste en:

- 1) Cuantificar la concentración inicial de SST del agua residual homogenizada de la columna.
- 2) A intervalos de tiempo fijo coleccionar una muestra en cada una de las tomas instaladas y analizar el contenido de SST.
- 3) Procesar los datos obtenidos de acuerdo a la metodología establecida en bibliografía consultada (9).

**FIG. N° 4.1 TRAYECTORIA DE SEDIMENTACIÓN EN UN TANQUE DE SEDIMENTACION IDEAL**





**FIG. Nº 4.2 MODELO DE LABORATORIO DE COLUMNA DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS**

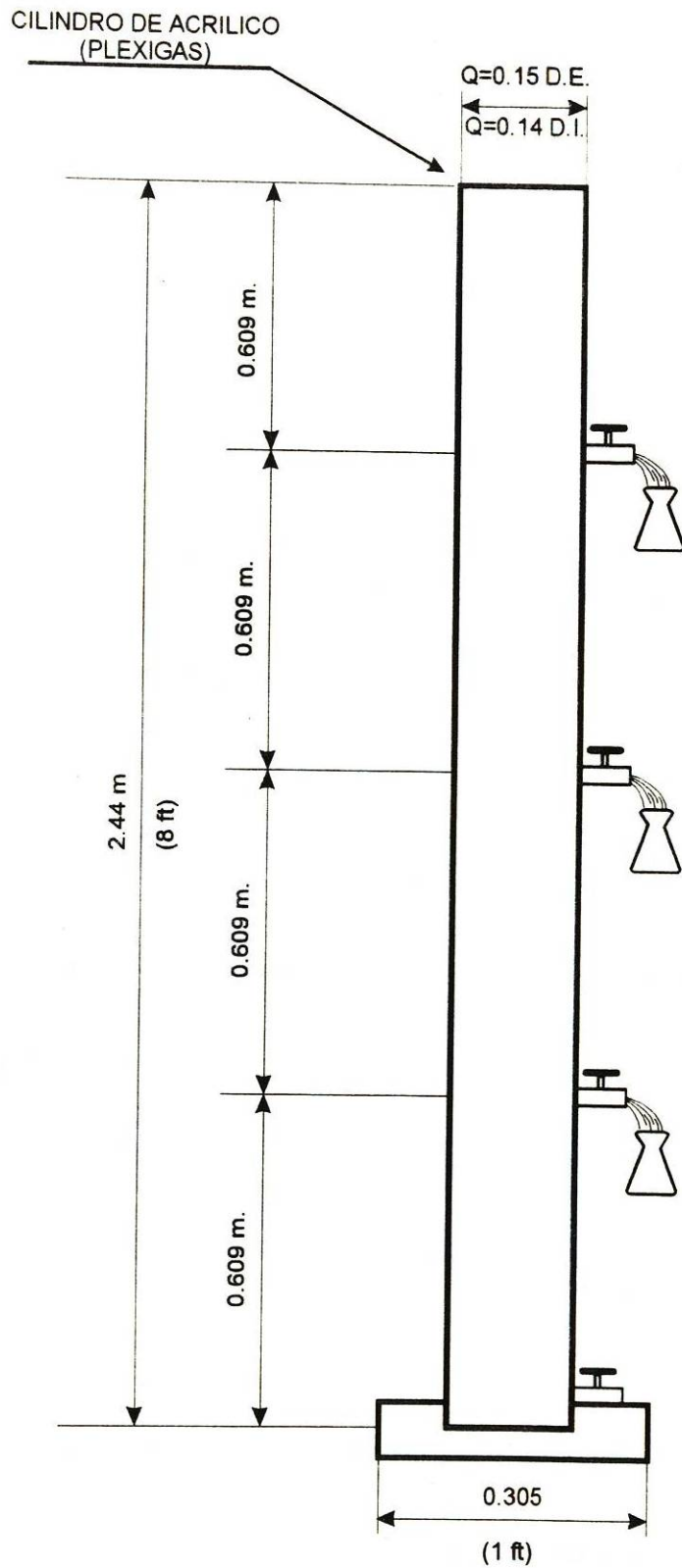


FIG. N° 4.3a GRAFICA DE % DE REMOCION DE SST SOBRE TIEMPO DE SEDIMENTACION PARA SEDIMENTACION FLOCULENTA

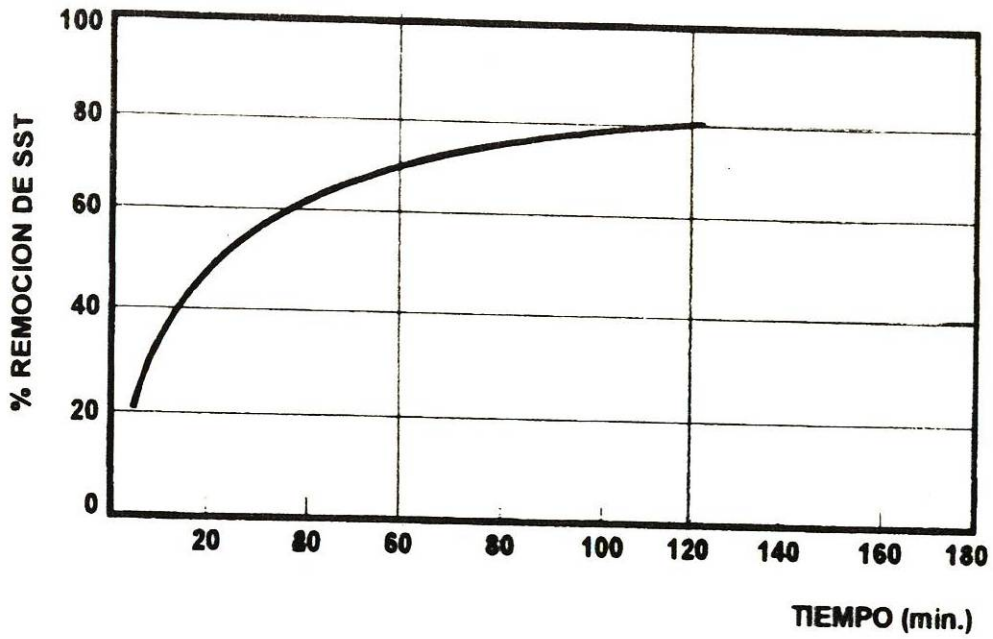
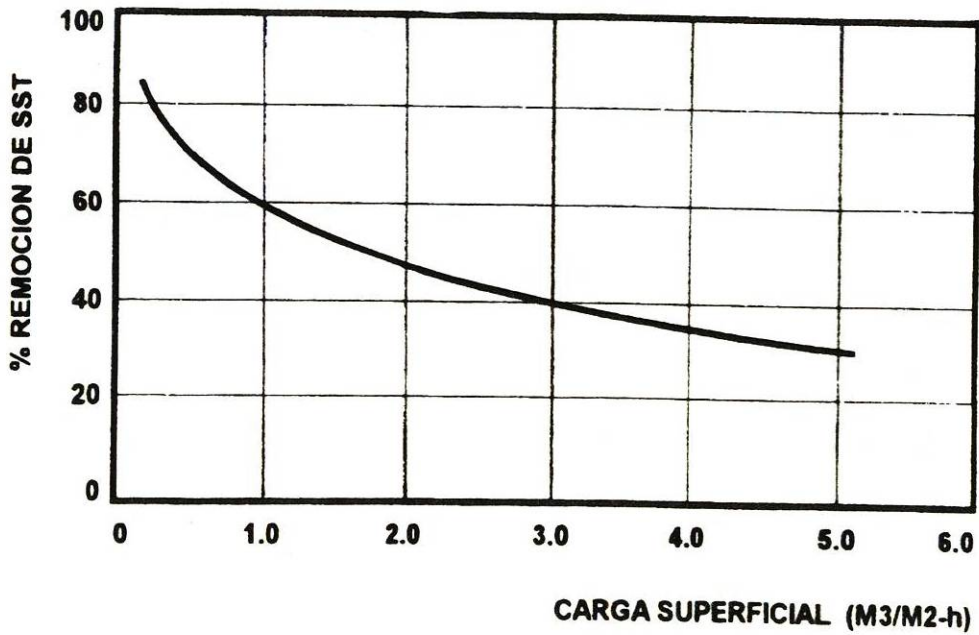


FIG. N° 4.3b GRAFICA DE % DE REMOCION DE SST SOBRE CARGA SUPERFICIAL PARA SEDIMENTACION FLOCULENTA



Como resultado del procesamiento de datos obtenidos en esta prueba de tratabilidad se construyen dos gráficas las cuales se utilizan como base para el diseño de unidades de sedimentación primaria, porcentaje de remoción sobre tiempo de sedimentación y porcentaje de remoción sobre carga superficial. Se aprecian estas gráficas en las figuras N° 4.3 a y N° 4.3 b, respectivamente.

#### 4.3.2. Flotación con Aire Disuelto

La flotación es una operación unitaria de carácter físico que se emplea para la remoción de partículas suspendidas en un líquido; tales como grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad que se encuentran presentes en las aguas residuales, tanto de origen doméstico como industrial.

El proceso de flotación, en su concepción como sistema de tratamiento de aguas residuales, tiene dos variantes básicas:

- (1) Flotación espumosa y
- (2) Flotación con aire disuelto.

La primera variante se caracteriza por la inyección de aire a presión atmosférica, lo que, aunado a una agitación violenta y a la adición de agentes coagulantes químicos, produce una espuma que separa del líquido la materia en suspensión. El segundo tipo se caracteriza por la liberación de un gas dentro del líquido, proporcionando mediante un cambio súbito de presión, la formación de pequeñas burbujas, las cuales arrastran las partículas suspendidas en el seno del líquido hacia la superficie.(10)

La alternativa de flotación con aire disuelto es hasta hoy la más ampliamente probada con resultados satisfactorios, en el nivel mundial, según se lee en la bibliografía

técnica consultada, (9) ya que es posible ejercer un control directo sobre las variantes del proceso, optimizándose la operación del sistema para cada caso particular.

Dentro de la mecánica de flotación hay dos procesos que revisten una gran importancia; la forma en que actúan las burbujas de aire sobre la materia suspendida en el líquido, y el método empleado para lograr la reducción de presión en la cámara de flotación.

Las burbujas de aire efectúan el trabajo de arrastrar la materia en suspensión de dos maneras diferentes, por atrapamiento y/o por adhesión. El atrapamiento se lleva a cabo al ser interferida la ascensión de una burbuja por una estructura floculenta; por lo cual, si al agua residual se le agregan coagulantes químicos tales como sulfato de aluminio, cloruro férrico o polielectrolitos, se induce la formación de flóculos y se mejora la eficiencia de atrapamiento o "barrido". La adhesión entre las burbujas de aire y los sólidos suspendidos es generada por la fuerza de tensión superficial e interfacial y es básicamente un proceso de química de superficies.

Para obtener la reducción de presión en un proceso de flotación con aire disuelto, puede optarse entre la reducción por vacío al tanque de flotación y la alimentación presurizada de parte del efluente. Las experiencias con modelos de laboratorio similares, han probado como más efectiva la alternativa de presurizar y saturar con aire una porción del efluente y luego recirculada a la cámara de flotación. (12)

La relación básica que rige el proceso de flotación, se establece como sigue:

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3 sa R (P-1)}{Q sa} = \frac{\text{gramos de aire liberado}}{\text{gramos de sólido aplicado}}$$

sa = saturación de aire, (cm<sup>3</sup>/l) (18.7 cm<sup>3</sup>/l a 20 °C y 1 atm)

R = recirculación presurizada, l/día

P = presión absoluta

Q = gasto de agua residual, l/día

sa = sólidos suspendidos en el influente, mg/l

La bibliografía consultada (5) recomienda considerar los siguientes valores para los parámetros de operación:

Presión: 1.76 a 4.92 Kg/cm<sup>2</sup> (25 a 70 psig)

Relación de aire sólido: 0.01 a 0.1 gr/gr

Tiempo de detención en flotación: 20 a 60 min.

Carga hidráulica superficial: 20.35 a 162.80 m<sup>3</sup>/día

Recirculación: 5 a 500%

El modelo experimental que se seleccionó corresponde al recomendado por Eckenfelder (9) y sobre el cual se han tenido experiencias satisfactorias tanto con efluentes similares como con otros tipos de agua residual.

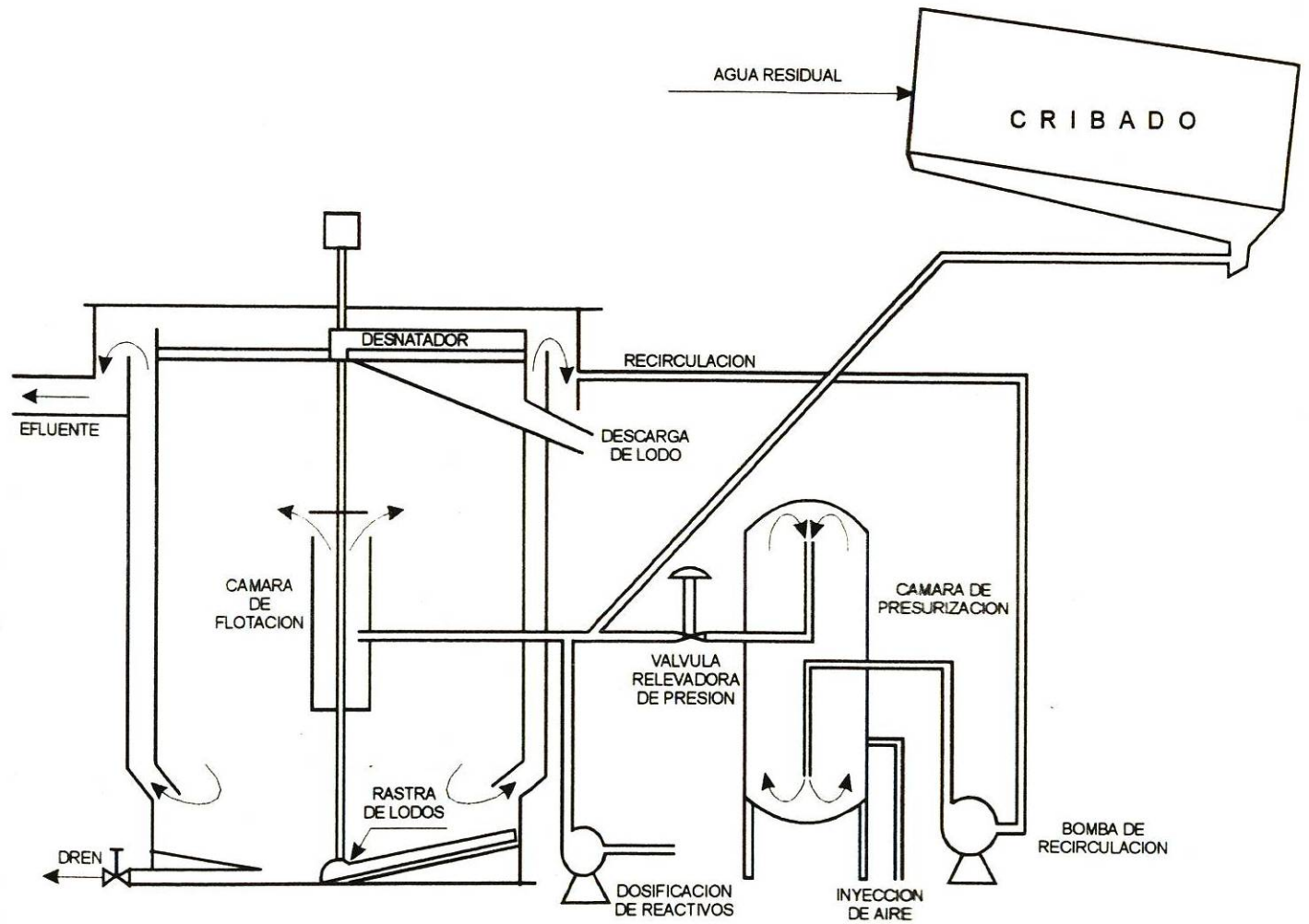
El modelo de laboratorio está constituido por una cámara de presurización donde se mezclan el aire, además de un cilindro, donde se incorporan las aguas residuales sin

tratar y la mezcla presurizada aire-agua; las figuras N° 4.4 y N° 4.5 muestran un diagrama del modelo de Eckenfelder. La técnica de experimentación puede resumirse de la siguiente manera:

- 1) Se llena parcialmente la cámara de presión con efluente clasificado, según se vaya a simular un sistema con o sin recirculación. En el caso presente se recomienda utilizar recirculación.
- 2) Se aplica aire comprimido a la cámara de presión, hasta obtener la presión de operación deseada (30-60 psias.).
- 3) Se agita manualmente la cámara durante un minuto y se deja reposar por 3 minutos para asegurar la saturación de aire, manteniendo la presión en la cámara durante este período de tiempo.
- 4) Se pone en el cilindro graduado un volumen específico de agua residual con una concentración de sólidos suspendidos conocida.
- 5) Se alimenta al cilindro con volumen de agua presurizada de la cámara, la velocidad de alimentación a través de la válvula de presión, debe ser de tal magnitud que no rompa la estructura de los Sólidos Suspendidos del agua contenida en el cilindro; debe ser adecuada para lograr un mezclado eficiente. El volumen a alimentar es obtenido de la recirculación deseada.
- 6) Después de que la separación por flotación en el cilindro es completa (10-30 minutos), se extraen separadamente el efluente clarificado y los sólidos flotantes, haciendo un análisis de sólidos suspendidos a cada uno.
- 7) Todos los pasos se repiten para presiones y recirculaciones diferentes.

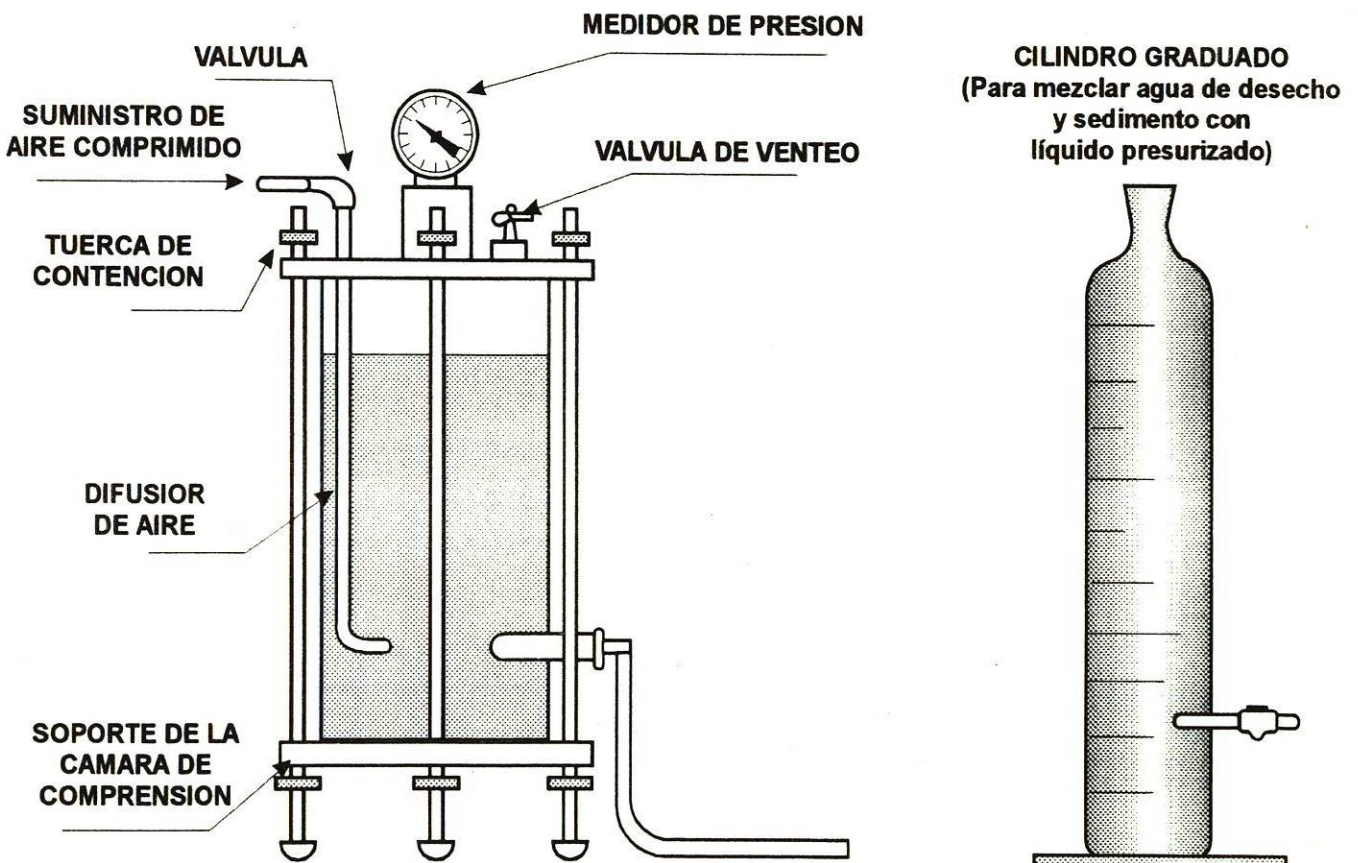
- 8) Según se use recirculación o no, por medio de la ecuación correspondiente determinar el parámetro A/S.
- 9) Se desarrollan las relaciones entre el parámetro A/S y las concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente clarificado y los contenidos sobrenadantes, a fin de obtener como parámetro de diseño la gráfica de pociento de remoción de sólidos suspendidos totales, sobre la relación A/S, figura N° 4.6.

FIG. N° 4.4 ESQUEMA DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO

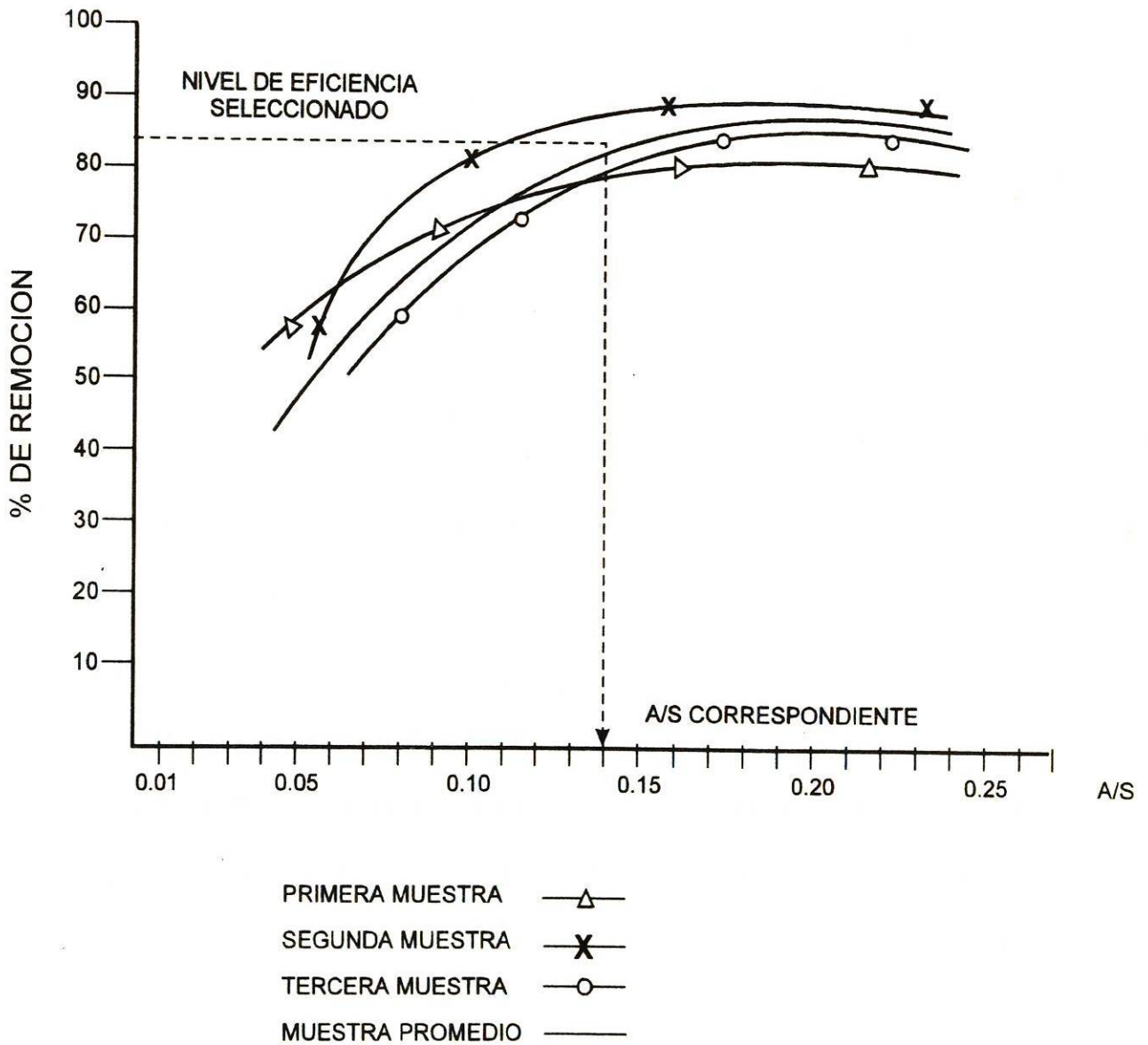




**FIG. N° 4.5 MODELO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE  
FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO**



**FIG. N° 4.6 GRÁFICA DE % DE REMOCIÓN DE SST V/S RELACIÓN A/S, COMO PRODUCTO DE LA EXPERIMENTACIÓN DEL PROCESO DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO**



#### 4.4 Pruebas de Jarras

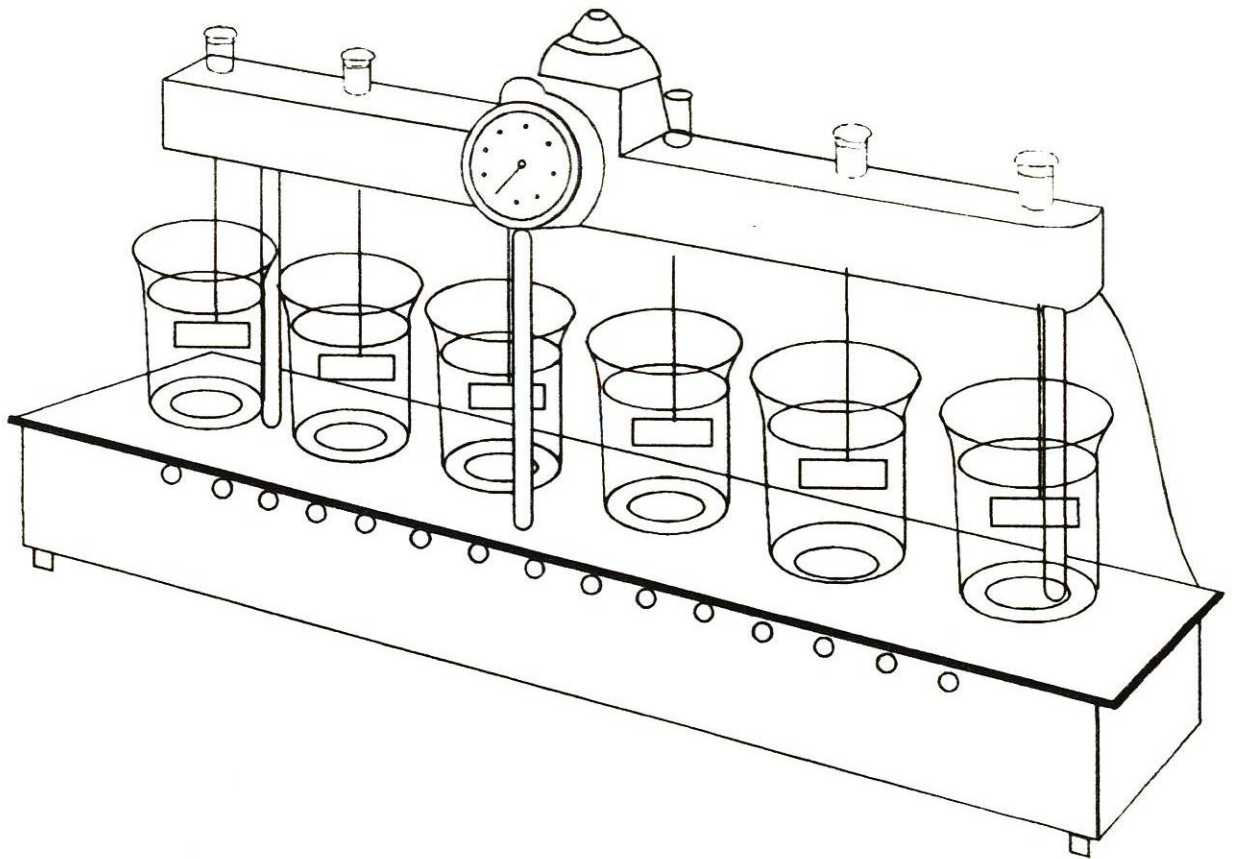
El objetivo de esta prueba de tratabilidad es determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, formando un flóculo pesado que pueda ser fácilmente removido por medio físicos.

El equipo requerido para esta prueba se muestra en la figura N° 4.7 y consiste en un motor de velocidad variable que acciona simultáneamente a 6 propulsores de flecha con paletas en su extremo inferior.

El procedimiento de operación consiste en:

- 1) Determinar la temperatura, el  $p^H$ , la turbiedad y los sólidos totales del agua sin tratar.
- 2) Añadir los coagulantes al agua en dosis progresivas a cada vaso de precipitado, girando las paletas a 100 r.p.m. y mezclar durante 30-60 seg. (mezcla rápida).
- 3) Disminuir la velocidad de las paletas a 30-60 r.p.m. y dejar flocular durante 15-30 minutos.
- 4) Sedimentar los flóculos generados durante 10-20 minutos.
- 5) Determinar el  $p^H$ , la turbiedad y los sólidos totales del líquido sobrenadante. A la dosis que produce la más baja turbiedad residual suele considerarse como la mejor.

**FIG. N° 4.7 EXPERIMENTAL DE PRUEBA DE JARRAS PARA OBTENER DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTES**



#### **4.5. Resultados de las Pruebas de Tratabilidad**

De acuerdo con las características de los distintos efluentes de aguas residuales en la industria pesquera y a la vocación de los procesos de tratamiento mencionados en las secciones anteriores, se estableció el programa de pruebas de tratabilidad, considerándose los efluentes de la industria de harina y de industria de enlatado, mismos a los que en forma particular se les estableció la simulación de los siguientes tratamientos: sedimentación primaria, flotación con aire disuelto y coagulación química con remoción de sólidos, mediante flotación con aire disuelto y ayuda química.

Se describen a continuación las actividades realizadas y los resultados obtenidos.

##### **4.5.1. Efluente de la industria harinera**

Para el estudio de tratabilidad de la descarga de la industria pesquera se consideró la integración de sus efluentes principales en cuanto a volumen y carga contaminante. Estos son los provenientes del transporte externo y las aguas de cola.

Atendiendo a las recomendaciones de manejo del agua contempladas en capítulos y secciones anteriores, se consideró, por un lado que el agua de transporte externo es sujeta a recirculación y de que se efectúa el cribado de sólidos gruesos en este tipo de agua.

Por otro lado, se consideró también que el agua proveniente de prensa para superdecantado para recuperación de sólidos y que a la vez el efluente de éste es tratado en centrífugas para la recuperación de grasas y aceites de pescado.

Bajo las anteriores consideraciones, de los efluentes finales de las dos etapas mencionadas, se tomó muestra con el objeto de preparar la muestra compuesta, cuya agua sería sujeta a tratabilidad.

De acuerdo a los de descarga aforados de 284 l/ton, de materia prima para transporte externo y de 340 l/ton. de materia prima para agua de cola, la proporción de estas descargas para la formación de muestra compuesta es de 45.5% y 55.5%, respectivamente.

#### 4.5.1.1. Sedimentación primaria.

De acuerdo con las proporciones anteriores, para efectuar el estudio de tratabilidad para la sedimentación primaria, se prepararon 50 litros de muestra compuesta, de los cuales 22.75 litros provenían de agua de transporte externo, una vez finalizada dicha operación, y 27.25 litros de agua de cola.

Aplicando los métodos recomendados en bibliografía. (9), el parámetro de control de la prueba formado por los sólidos suspendidos totales. Al final de la prueba se analizó el contenido de DBO, grasas y aceites, nitrógeno orgánico y fósforo total en las tres profundidades de muestreo.

La concentración de SST para los diferentes puntos de muestreo y diversos tiempos de sedimentación se muestran en la tabla N° 4.2. efectuando el procesamiento de los datos asentados en esta tabla de acuerdo con los métodos establecidos en bibliografía citada, (9) se obtuvieron las gráficas de diseño del porcentaje de remoción de SST sobre tiempo y el porcentaje de remoción sobre la carga superficial, como se muestra en la figura N° 4.8.

Las gráficas de diseño nos indican que en los primeros 50 minutos ocurre el 42% de remoción de SST y que, partir de este tiempo de sedimentación, los incrementos de remoción son pequeños, conforme transcurre el tiempo; de tal manera que para obtener un 50% de remoción se requiere de 80 minutos, por lo cual, aunado al factor de escalonamiento de 1.75 para el diseño del tanque de sedimentación, se requeriría una retención de 140 minutos para obtener en la descarga una concentración de 7,312 mg/l de SST, cantidad que es alta para incorporarse a un cuerpo receptor, de acuerdo a la normatividad vigente.

La baja capacidad de remoción de este tipo de tratamiento, para tiempos de sedimentación económicamente factibles, se puede justificar por el hecho de que los sólidos presentes en el agua de cola son demasiado finos. Recordemos que en el superdecánter fue removida una buena cantidad de sólidos de mayor tamaño; lo cual, aunado a la presencia de grasas y aceites y a la densidad de este tipo de agua residual, dificulta la sedimentación de partículas suspendidas.

Por otro lado, como ya se mencionó, a fin de cuantificar la remoción de DBO, grasas y aceites, nitrógeno orgánico y fósforo, el análisis de las muestras tomadas a los 90 minutos de sedimentación, en las tres profundidades operadas, dan como resultado los siguientes datos:

Para el DBO, la concentración inicial en la columna de sedimentación se cuantifica en 9,835 mg/l, mientras que al final de la operación las concentraciones fueron de 5,669, 5,957 y 6,605 mg/l, para 0.60, 1.20 y 1.80 m. de profundidad, respectivamente; lo anterior representa remociones de DBO del 24% al 32%.

Para grasas y aceites, de una concentración inicial de 1,084 mg/l, se obtuvieron al final de la operación, en las profundidades anteriormente mencionadas, concentraciones de 699, 598 y 500 mg/l, representando remociones del 35% al 54% para este parámetro.

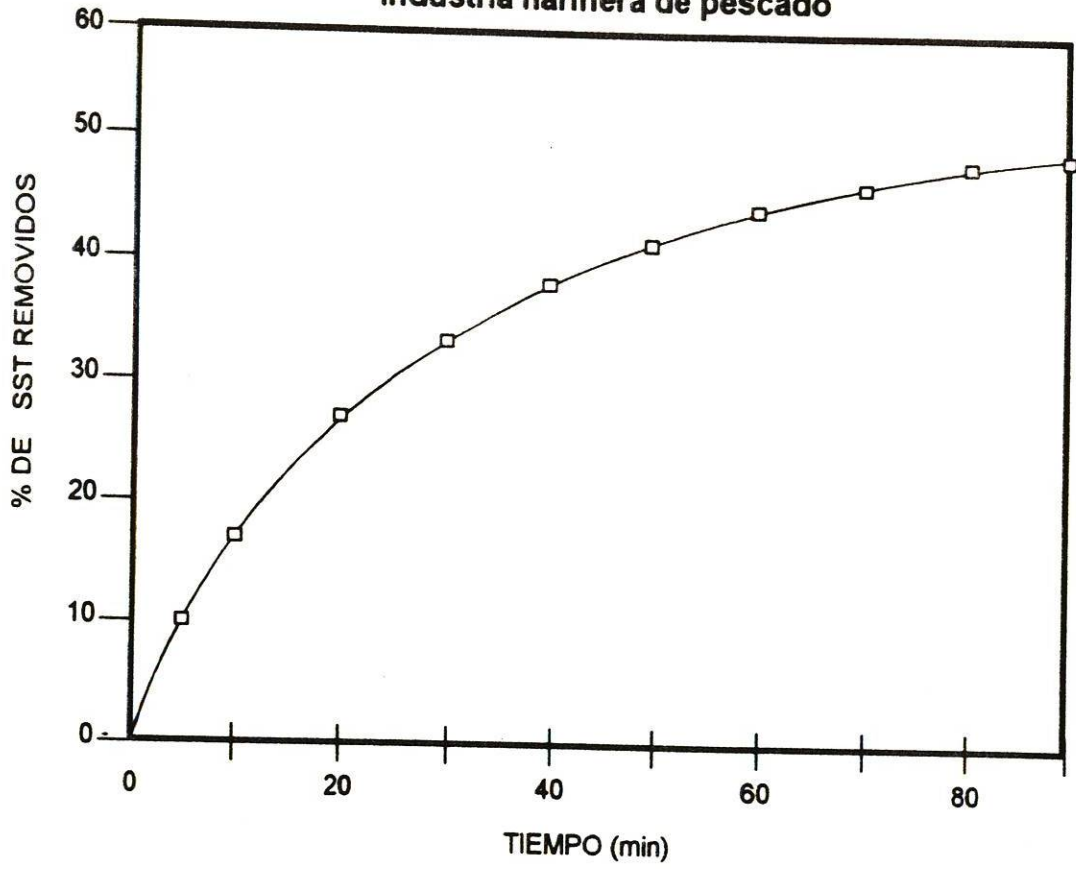
De una concentración inicial de 4,150 mg/l, de nitrógeno orgánico, después de los 90 minutos de sedimentación, se obtuvieron concentraciones de 2,905, 3,029 y 3,154 mg/l, que representan remociones del orden del 24% al 30%, para este parámetro.

Por otro lado, para determinar el fósforo total, se obtuvieron al final de la operación en las profundidades indicadas 28.0, 28.7 y 29.8 mg/l, lo cual representa una remoción del 21% al 30%, para este parámetro.

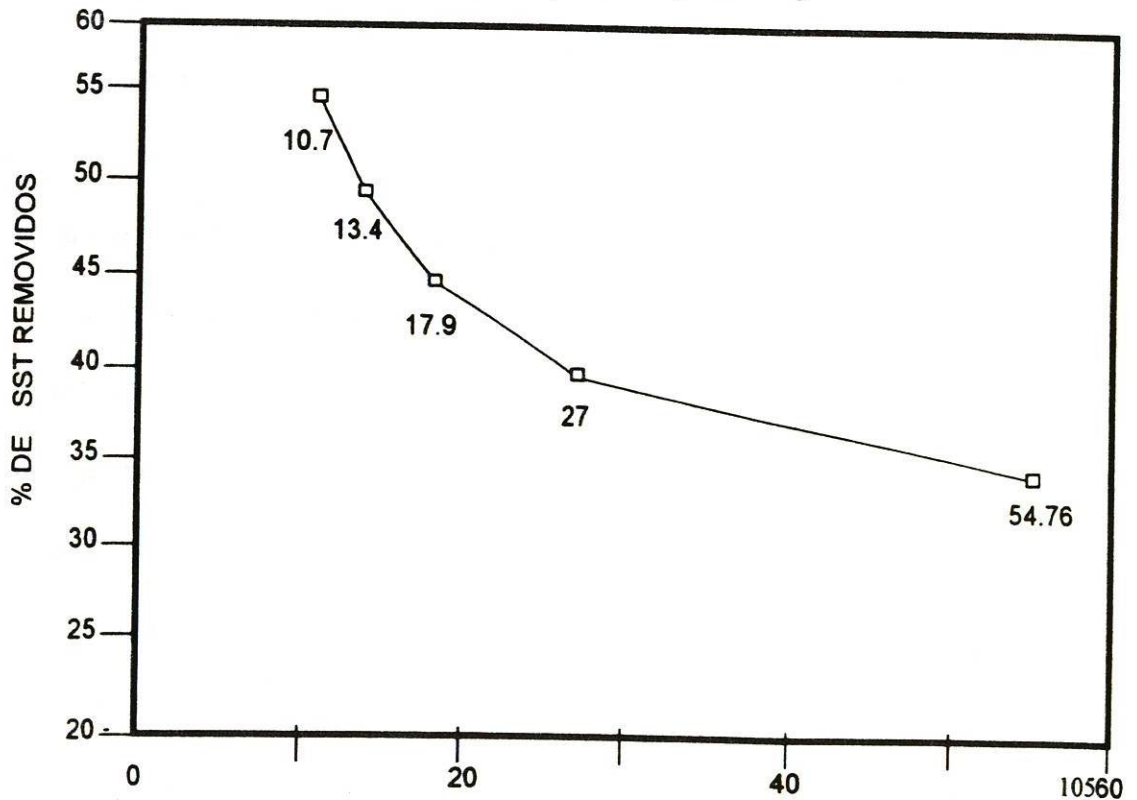
Por otro lado, para determinar la cantidad de fósforo total se obtuvieron al final de la operación en las profundidades indicadas 28.0, 28.7 y 29.8 mg/l, lo cual representa una remoción del 21% al 26% a partir de una concentración original de 37.8 mg/l.



**FIG.4.8. Sedimentación floculenta  
Industria harinera de pescado**



**Carga superficial ( $m^3/m^2-d$ )**



#### 4.5.1.2. Flotación con aire disuelto.

De acuerdo con las condiciones de operación recomendadas (9) para una unidad de flotación con aire disuelto y recirculación de efluente para la fase de tratabilidad, con el modelo de laboratorio, se estableció un diseño experimental que contemplará el cambio gradual en dos variables fundamentales de la ecuación básica: la presión y la recirculación.

La presión se manejó dentro de un intervalo de operación de 3 a 5 atmósferas, mientras que la recirculación, del 50% al 100%, eligiéndose parejas, a fin de tener como resultado diversos niveles de la relación A/S, efectuándose un total de 9 ensayos en el modelo. La unidad de flotación utilizada consistió en una probeta de 2 litros, de capacidad, a fin de tener un volumen de muestra suficiente para el análisis de parámetros.

La muestra compuesta de agua residual fue obtenida de la manera mencionada anteriormente; mientras que el agua de recirculación fue obtenida de ensayos de flotación establecidos expreso, para obtener este producto.

Cada ensayo del módulo contempló un tiempo de flotado de 30 minutos, recolectándose al final de la operación muestras del sobrenadante para el análisis de SST, DBO, grasas y aceites, Nitrógeno Orgánico y Fósforo.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 4.3 y se observa que la remoción de SST se encuentra en un intervalo del 48% al 65%, el cual es mayor que el encontrado para la sedimentación floculenta, hecho que se explica por el suministro de burbujas de aire que proveen el flotado del material suspendido. Se observa también que a medida que aumenta la relación A/S mejora la eficiencia de remoción, como se aprecia en la figura N° 4.9.

Para la DBO, las grasas y los aceites se obtuvo también un mayor porcentaje de remoción, encontrándose un intervalo del 27% al 53% para la DBO y de 32% al 59% para las grasas y los aceites.

El nitrógeno orgánico se removió en un intervalo del 24% al 42%, mientras que el fósforo total lo hizo entre el 26% y el 39%.

Pero aún con el aumento de eficiencia logrado a través de este sistema, las máximas eficiencias proveen un contenido de 5023 mg/l de SST, 437 mg/l de grasas y aceites, 4386 mg/l de DBO, 2407 mg/l de nitrógeno orgánico y 23 mg/l de fósforo total.

**Resultados de las pruebas de flotación con aire disuelto para  
efluente de la industria harinera de pescado**

Presión (atm)	Recirculación (%)	Relación A/S	Alimentación		Efluente				
			Agua Cruda	Agua Recirc.	SST	G y A	DBO	Norg.	Fósforo
3.0	50	0.0016	1,332	668	7,575	728	7,130	3,100	27.8
3.0	75	0.0025	1,142	858	6,976	690	6,707	3,133	28.3
3.0	100	0.0033	1,000	1,000	7,195	667	6,540	2,913	27.0
3.5	75	0.0031	1,142	858	7,236	679	6,402	3,017	28.2
4.0	75	0.0037	1,142	858	6,162	628	6,225	2,797	26.9
4.0	100	0.0050	1,000	1,000	5,773	503	5,429	2,515	25.0
4.5	75	0.0043	1,142	858	5,428	585	5,556	2,925	27.5
4.5	100	0.0058	1,000	1,000	5,124	437	4,642	2,378	22.9
5.0	100	0.0066	1,000	1,000	5,023	469	4,780	2,469	23.0

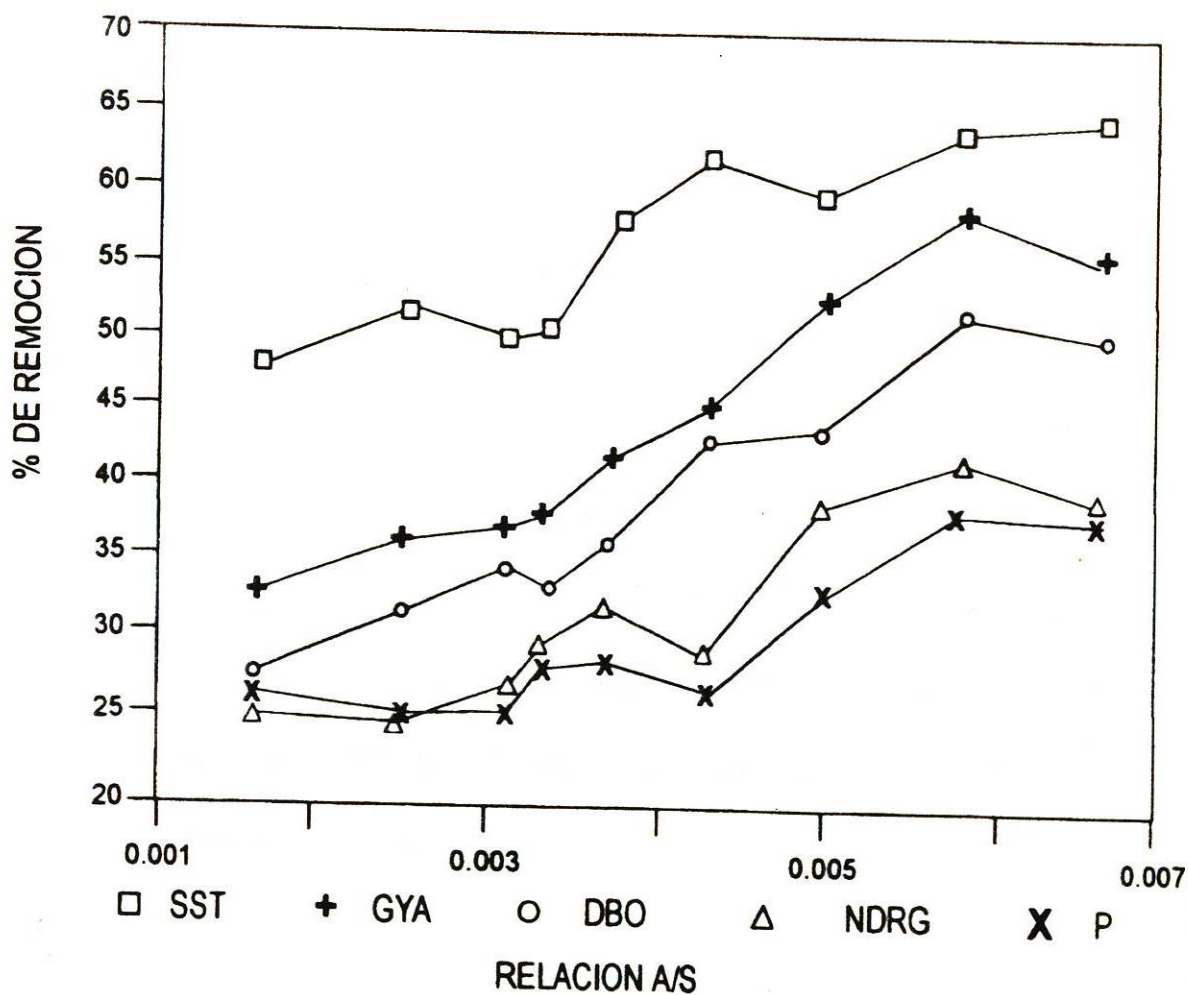
\* ml aplicados al cilindro de flotación

Características de la Alimentación (mg/l):

	Agua Cruda	Agua Recirc.
SST	4,625	3,845
G Y A	1,084	504
DBO	9,835	5,065
Norg	4,150	2,881
P	37.8	27.5

Concentración de lodo flotado 1.7% en volúmen

**FIG. N° 4.9 FLOTACIÓN AIRE DISUELTO  
INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO**



#### 4.5.1.3. Flotación con aire disuelto y ayuda química.

Como las anteriores eficiencias son susceptibles de mejora mediante la aplicación de elementos que coadyuven a la formación y remoción del floculo, se aplicó también la prueba de flotación con aire disuelto.

Para la dosis de 250 mg/l de coagulante, se prepararon muestras a las cuales se aplicó una mezcla rápida y otra lenta, previa a la incorporación del cilindro de flotación. La operación de la flotación se llevó a cabo considerando las presiones y recirculaciones aplicadas en la prueba de flotación simple, ya comentada, recolectándose también muestras de subnadante para el análisis de SST, GYA, DBO, Nitrógeno orgánico y Fósforo.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 4.4. Evaluando los porcentajes de remoción se observa un aumento en éstos, respecto a los sistemas anteriores. Resultó entre el 53% y el 93% para la SST, entre el 42% y el 87% para las GYA, entre el 37% y el 96% para la DBO, entre el 48% y el 72% para el Nitrógeno orgánico y entre el 45% y el 76% para el fósforo; figura N° 4.10.

FIG. N° 4.10 FLOTACIÓN CON COAGULANTES  
INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO

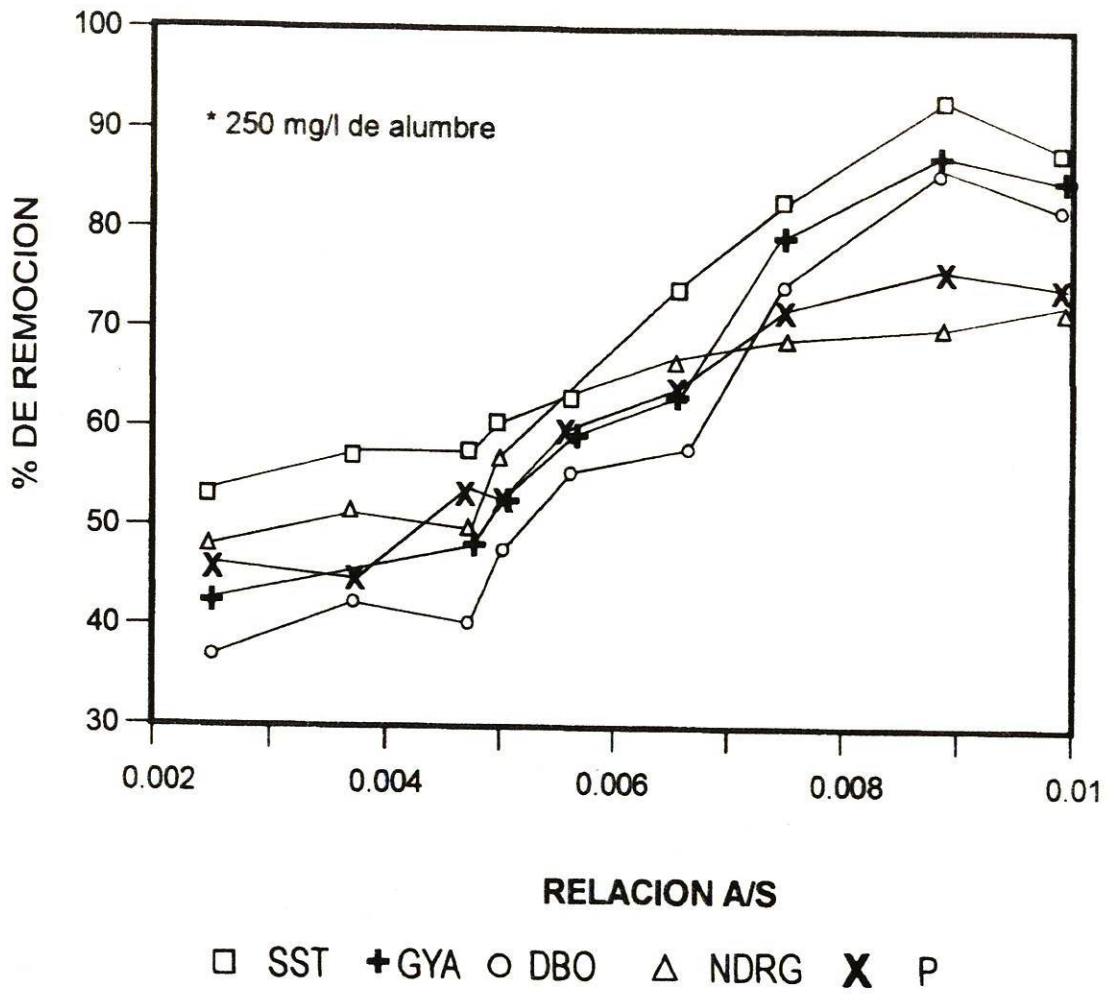


TABLA N° 4.4

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO Y AYUDA QUÍMICA PARA EFLUENTE DE LA INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO.

Presión (atm)	Recirculación (%)	Relación A/S	Alimentación *		Efluente				
			Agua Cruda	Agua Recirc.	SST	G y A	DBO	Norg.	Fósforo (P)
3.0	50	0.0025	1,332	668	4,382	530	4,535	2,178	22.9
3.0	75	0.0038	1,142	858	3,993	504	4,144	2,026	23.7
3.0	100	0.0051	1,000	1,000	3,766	434	3,782	1,806	20.3
3.5	75	0.0048	1,142	858	4,003	423	4,310	2,106	22.4
4.0	75	0.0057	1,142	858	3,471	374	3,166	1,514	17.2
4.0	100	0.0076	1,000	1,000	1,622	189	1,840	1,294	11.9
4.5	75	0.0067	1,142	858	2,390	334	3,006	1,366	15.3
4.5	100	0.0090	1,000	1,000	607	117	978	1,252	10.3
5.0	100	0.0100	1,000	1,000	1,166	140	1275	1,171	11.2

\* ml aplicados al cilindro de flotación

Características de la alimentación (mg/ℓ):

	Agua Cruda	Agua Recirc.
SST	9,486	2,356
G Y A	923	337
DBO	7,245	3,210
Norg	4,230	1,330
P	43.4	11.8

Dosis de alumbre 250mg/ℓ

Concentración de lodo flotado 4.0% en volumen



#### **4.6. Efluente de la Industria Enlatadora**

Para la fase de corte y enlatado de pescado se consideró la integración de los efluentes provenientes de las etapas de transporte externo, transporte interno, drenado de latas y lavado de latas.

Para el agua utilizada en transporte del producto, tanto externo como interno, se consideró que es objeto de recirculación, de acuerdo con las recomendaciones dadas en otros apartados; además se considera el cribado de las aguas residuales de estas dos etapas.

Para integrar la muestra compuesta que fue sujeta a pruebas de tratabilidad, se consideraron los gastos unitarios determinados para las diversas etapas del proceso, de acuerdo con la información obtenida en la sección de cargas contaminantes provenientes de esta industria, mostrando la siguiente proporcionalidad de volumen: el 28.9% para transporte externo, el 46.3% para el transporte interno, el 13.9% para drenado de las latas y 10.9% para el lavado de las latas.

Aunque las características del efluente de la enlatadora difiere del proveniente de la industria harinera, los tratamientos aplicados para esta última son considerados factibles para la industria enlatadora, por lo que se estudia su factibilidad técnica, a través de pruebas de tratabilidad.

##### **4.6.1. Sedimentación Primaria.**

Se efectuó la prueba de sedimentación floculenta, de acuerdo con método recomendado (9), y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla N° 4.5.

A través del procesamiento de estos datos se obtuvieron las gráficas de diseño, el porcentaje de remoción de SST sobre el tiempo y el porcentaje de remoción de la SST sobre la carga superficial, como se presenta en la figura N° 4.11. Estas gráficas nos indican que se obtiene una remoción de SST del orden del 46% para un tiempo de sedimentación en la columna de 50 minutos. A partir de este tiempo, los incrementos en remoción no son significativos, de tal manera que para lograr una remoción del 55% se requieren de 90 minutos de sedimentación.

**TABLA N° 4.5**

**CONCENTRACIONES DE SST OBTENIDAS EN DIVERSOS TIEMPOS Y EN DIFERENTES PROFUNDIDADES, EN LA PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN FLOCULENTO, PARA LA DESCARGA DE LA INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO**

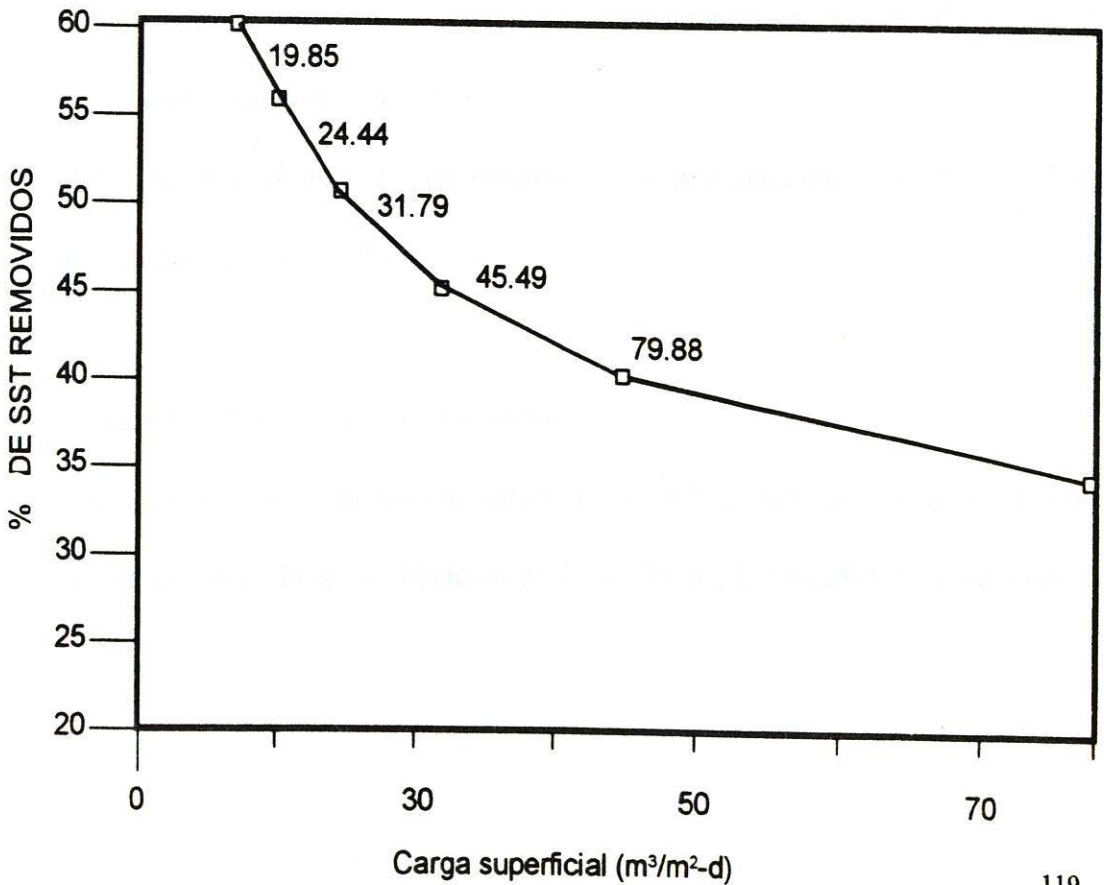
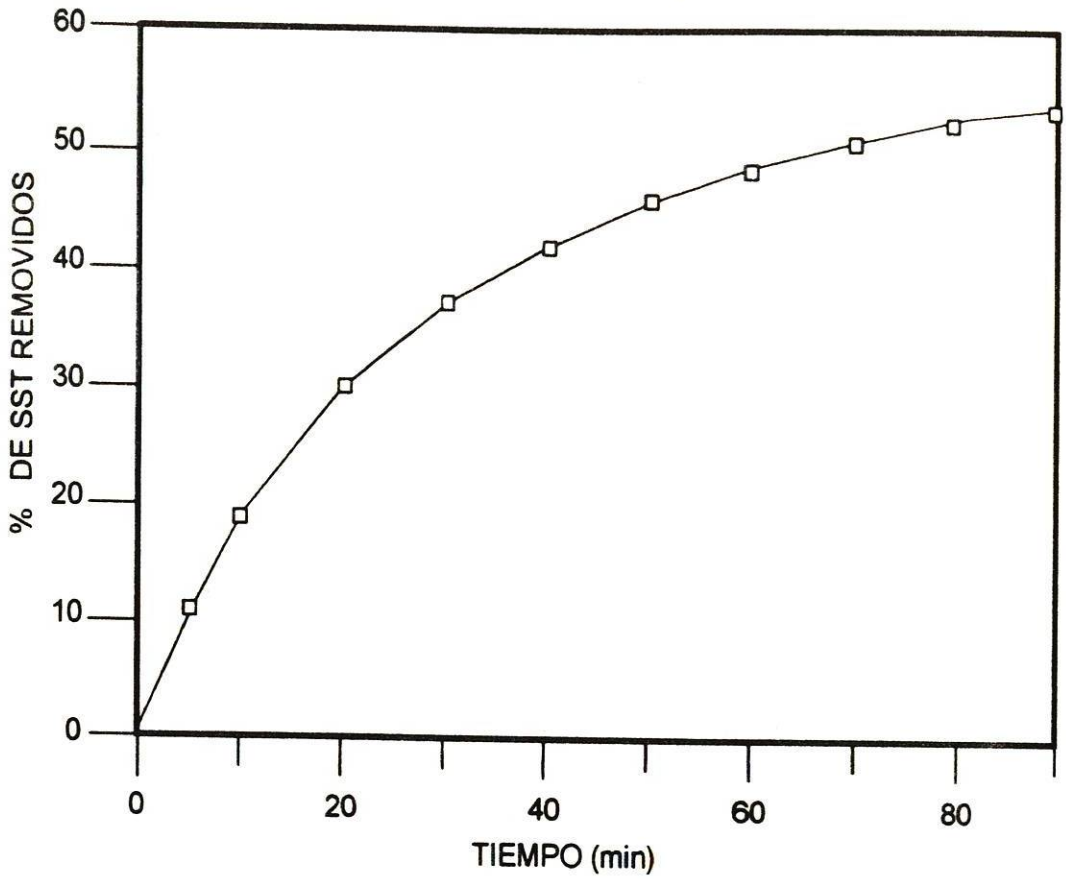
<b>Tiempo de Sedimentación (min)</b>	<b>Concentración de SST a diferentes profundidades (mg/l)</b>		
	<b>0.6 m</b>	<b>1.20 m</b>	<b>1.80 m</b>
5	7,373	7,639	7,806
10	6,670	7,139	7,378
20	5,358	6,548	6,680
30	4,766	5,670	6,296
40	4,055	5,043	5,673
50	3,858	4,755	5,359
60	3,404	4,426	4,923
75	3,257	4,158	4,735
90	3,083	3,906	4,561

Concentración inicial de SST = 8326 mg/l

Por otro lado, el análisis de muestras tomadas en las tres profundidades de la columna, aportan resultados de 1830, 2037 y 2155 mg/l, de DBO, representando remociones del orden del 27 al 38% para este parámetro, siendo la concentración inicial de 2,953 mg/l.

Las muestras correspondientes a grasas y aceites dan como resultado, al final de la operación, concentraciones de 1,286, 1,157 y 992 mg/l. Si la concentración inicial fue 1837 mg/l, las anteriores cantidades representan una remoción del orden del 30 al 46%, para este parámetro.

FIG. 4.11 Sedimentación floculenta  
industria enlatadora de pescado



Para determinar la cantidad de nitrógeno orgánico se registraron al final de la operación concentraciones de 95, 99 y 103 mg/l, con una concentración inicial de 126 mg/l. Se tuvieron, por lo tanto, eficiencias de remoción del 18 al 24%.

Para calcular el fósforo total se determinó, una concentración inicial de 40 mg/l. Y al final de la operación, unas de 29, 30 y 31 mg/l, respectivamente, en las tres profundidades de muestreo. Resultaron eficiencias de remoción del 22 al 26%.

#### 4.6.2. Flotación con Aire Disuelto.

Las características de operación del modelo fueron similares a las mencionadas para el caso de la industria harinera en los aspectos de tiempo de flotado, presión, recirculación y análisis de parámetros de control.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 4.6. Se puede observar en la figura N° 4.12 que la remoción SST es del orden del 52 al 67%, mientras que para grasas y aceites los niveles de remoción se encuentran en un intervalo del 44 al 64% y para la DBO, la remoción es del orden del 34 al 59%.

Por otro lado, el intervalo de remoción para nitrógeno orgánico es del 22 al 38% y para fósforo del 20 al 36%.

#### 4.6.3. Coagulación Química con Sedimentación.

Para pruebas de coagulación química, se utilizó también el alumbre tipo comercial, en un intervalo de dosificación de 25 a 250 mg/l, aplicados en soluciones al 10%.

FIG. N° 4.12 FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO, EN LA INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO

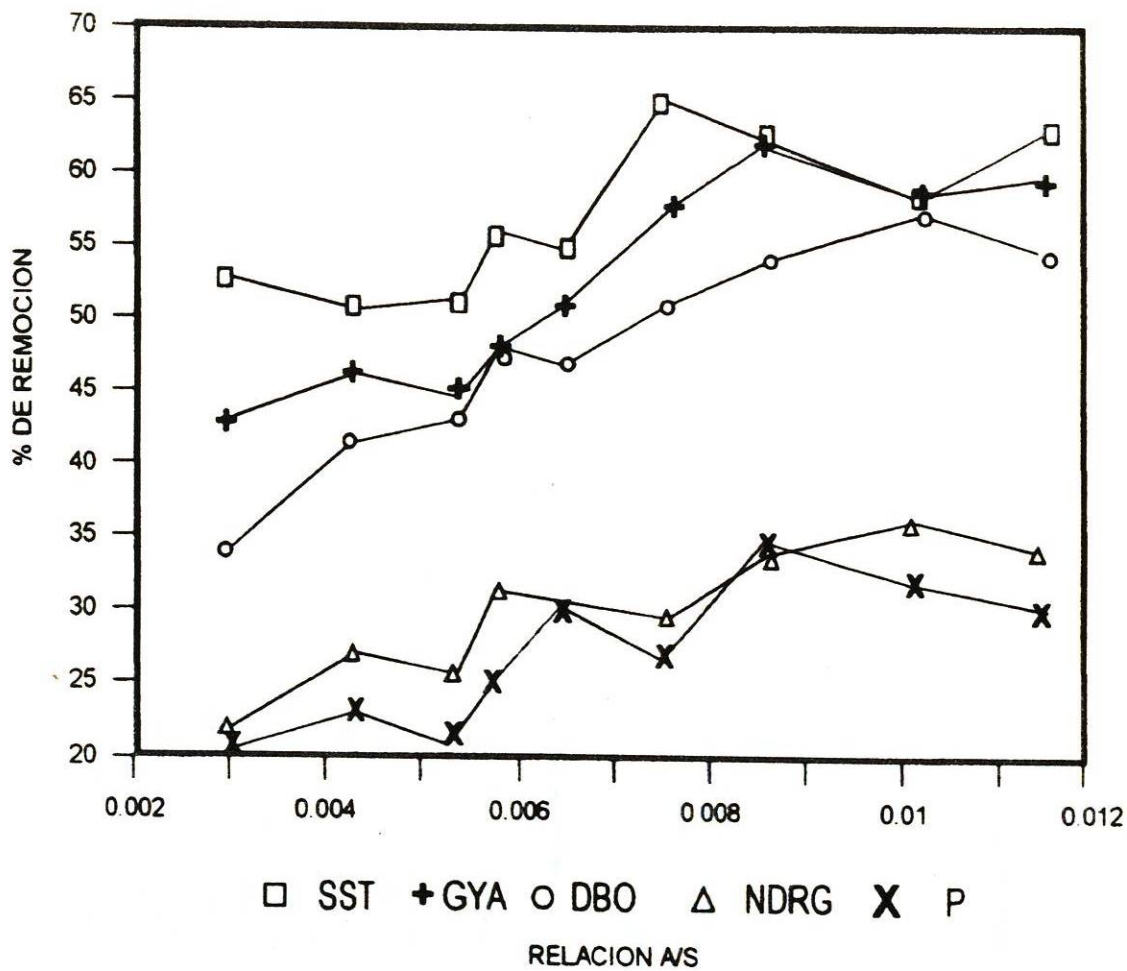


TABLA N° 4.6

**Resultados de las pruebas de flotación con aire disuelto para  
efluente de la industria harinera de pescado**

Presión (atm)	Recirculación (%)	Relación A/S	Alimentación		Efluente				
			Agua Cruda	Agua Recirc.	SST	G y A	DBO	Nitrog. Org	Fósforo (P)
3.0	50	0.0029	1,332	668	3,805	1,028	1,931	98	31.8
3.0	75	0.0043	1,142	858	3,988	966	1,689	91	30.7
3.0	100	0.0058	1,000	1,000	3,513	924	1,491	85	29.7
3.5	75	0.0054	1,142	858	3,896	986	1,644	93	31.4
4.0	75	0.0065	1,142	858	3,621	795	1,514	85	27.5
4.0	100	0.0087	1,000	1,000	2,897	656	1,287	81	25.5
4.5	75	0.0076	1,142	858	2,722	744	1,382	87	28.8
4.5	100	0.0102	1,000	1,000	3,288	720	1,196	77	26.6
5.0	100	0.0116	1,000	1,000	2,847	690	1,264	80	27.2

\*ml aplicados al cilindro de flotación

**Características de la alimentación (mg/ℓ):**

	Agua	
	Cruda	Recirc.
SST	8,326	2,914
G Y A	1,837	900
DBO	2,953	1,447
Norg	126	83
P	40	27

Concentración de lodo flotado 1.4% en volumen

Para medir la eficiencia de coagulación, se efectuaron mediciones de turbiedad, analizándose adicionalmente los parámetros de la SST, las grasas y aceites, la DBO, el nitrógeno orgánico y el fósforo, de muestras tomadas del líquido sobrenadante.

Los resultados obtenidos en 10 pruebas de dosificación se muestran en la tabla N° 4.7. Se observa que la dosis en que mejor eficiencia de remoción se tuvo fue la correspondiente a 175 mg/l de alumbre. El  $p^H$  de las pruebas fue de 7.2 y la temperatura de 24 °C.

La representación gráfica de los resultados, se muestra en la figura N° 4.13 misma que refleja una remoción de 50-72% para la SST, 36-52% para las grasas y aceites 42-66% para la DBO, 31-57% para el nitrógeno orgánico y 34-68% para el fósforo.



**TABLA N° 4.7**

**RESULTADOS DE LA PRUEBA DE JARRAS APLICADA A EFLUENTE DE INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO, CON ALUMBRE TIPO COMERCIAL COMO COAGULANTE**

Dosis Coagulante (mg/l)	ELUENTE					
	Turbiedad (UTJ)	SST (mg/l)	GYA (mg/l)	DBO (mg/l)	Norg. (mg/l)	Fósforo (mg/l)
25	380	3,596	1,063	1,733	91	25.3
50	270	3,343	1,091	1,607	93	24.4
75	330	3,473	1,117	1,664	95	25.0
100	290	2,989	977	1,402	85	21.6
125	250	2,641	886	1,218	78	20.1
150	180	2,214	858	1,004	57	15.5
175	90	1,997	819	1,031	59	12.2
200	160	2,265	910	1,197	62	12.4
225	250	2,504	948	1,073	60	13.7
250	200	2,395	890	1,140	58	13.0

Condiciones del agua sin tratar

Turbiedad (UTJ) 1,250

SST (mg/l) 7,237

GYA (mg/l) 1,724

DBO (mg/l) 3,015

Norg. (mg/l) 136

P (mg/l) 38.5

#### 4.6.4. Flotación con aire disuelto y ayuda química.

Una vez cuantificada la dosis de 175 mg/l de alumbre como coagulante, se procedió a efectuar la prueba de flotación con aire disuelto y ayuda química, efectuándose la preparación de la muestra coagulada y la operación del modelo como se indicó en el caso de la industria harinera.

Los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla N° 4.8, mientras que los datos correspondientes a porcentajes de remoción se muestran en la figura N° 4.14, misma que indica que se alcanzaron niveles de remoción del 56 al 89% para SST, del 47 al 91% para grasas y aceites, mientras que para DBO el intervalo de remoción fue del 44 al 83%, del 37 al 69% para el nitrógeno orgánico y del 40 al 74% para el fósforo total.

El análisis de intervalos de eficiencias de los sistemas estudiados en el laboratorio se muestra en el apartado correspondiente a propuestas de solución.

TABLA N° 4.8

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO Y AYUDA QUÍMICA PARA EFLUENTE DE LA INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO.

Presión (atm)	Recirculación (%)	Relación A/S	Alimentación *		Efluente				
			Agua Cruda	Agua Recirc	SST	G y A	DBO	Nitrog. Org	Fósforo (P)
3.0	50	0.0033	1,332	668	3,162	820	1,664	82	22.0
3.0	75	0.0050	1,142	858	2,301	905	1,317	85	22.8
3.0	100	0.0067	1,000	1,000	2,482	551	1,091	71	18.2
3.5	75	0.0063	1,142	858	2,713	625	1,046	74	19.1
4.0	75	0.0075	1,142	858	1,476	427	762	63	15.4
4.0	100	0.0100	1,000	1,000	781	184	500	49	9.9
4.5	75	0.0088	1,142	858	1,708	251	588	62	12.1
4.5	100	0.0117	1,000	1,000	1,194	146	657	41	11.2
5.0	100	0.0134	1,000	1,000	998	210	539	44	10.4

\* ml aplicados al cilindro de flotación

Características de la alimentación (mg/l):

	Agua Cruda	Agua Recirc.
SST	7,237	1,664
G Y A	1,724	310
DBO	3,015	603
N <sub>Org</sub>	136	49
P	38.5	11.2

Dosis de Alumbre 175 mg/l

Concentración de Lodo Flotado 2.3% en volumen

FIG. N° 4.13 PRUEBA DE JARRAS, EN LA INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO

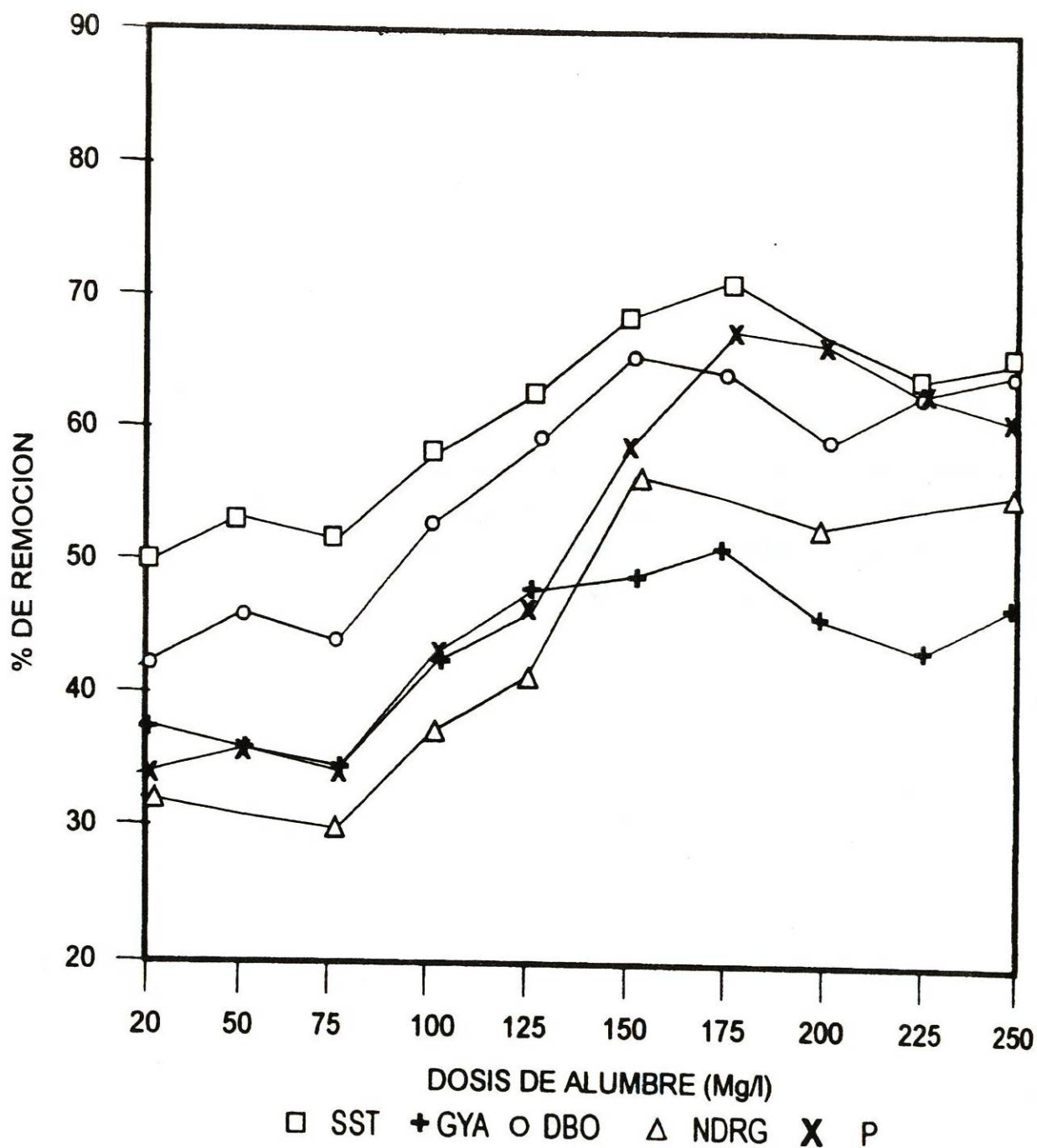
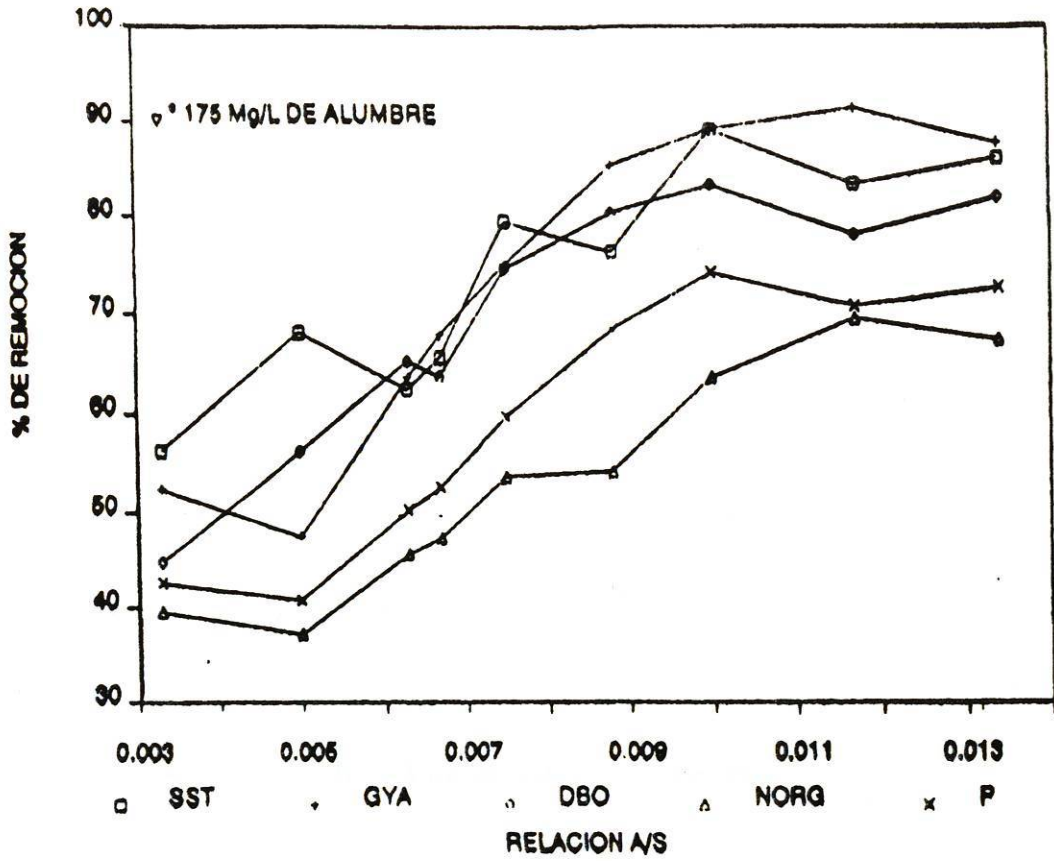


FIG. N° 4.14 FLOTACIÓN CON COAGULANTES  
INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO



## **CAPÍTULO 5**

### **PROPUESTAS DE SOLUCIÓN**

Una vez realizadas las pruebas de tratabilidad, tanto para el efluente de la industria harinera de pescado como para el correspondiente a la industria enlatadora, en el presente capítulo se efectúa el análisis de los intervalos de remoción de contaminantes obtenidos en cada uno de los tres sistemas de tratamiento estudiados, mismos que pueden ser considerados para elegir el mejor sistema o propuesta de tratamiento para las aguas residuales generadas en los giros industriales que se estudian.

#### **5.1 Análisis Comparativo de Eficiencias**

##### **5.1.1 Industria Harinera**

Los resultados de remoción de contaminantes obtenidos en las pruebas de tratabilidad efectuadas a los efluentes de la industria harinera de pescado para los sistemas de sedimentación floculenta, flotación con aire disuelto, coagulación química con sedimentación y flotación con aire disuelto y ayuda química, se presentan a manera de resumen en la tabla N° 5.1.

Por otro lado, de acuerdo con los datos máximos de remoción esperada en los sistemas estudiados y con las características esperadas en la calidad del agua residual en industria harinera, en la tabla N° 5.2 se establecen las características del efluente del

tratamiento para los parámetros sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, DBO, nitrógeno orgánico y fósforo total.

Se puede observar en la figura N° 5.1, que a medida de que se van proporcionando mejores técnicas de tratamiento, la remoción de contaminantes va aumentando. Y que el sistema que proporciona mejor calidad en el efluente el de flotación es el de aire disuelto y ayuda química.

Las eficiencias obtenidas con este sistema, en el cual se utilizó una dosis de 250 mg/l de alumbre como coagulante, muestran resultados máximos de remoción del 93% para SST, 87% para grasas y aceites, 86% para DBO, 72% para nitrógeno orgánico y 76% para fósforo, considerándose que la unidad de flotación opera con 30 minutos de tiempo de flotación, con una presión de 4.5 atmósferas y un 100 % de recirculación del efluente para su presurización.

Considerando los resultados obtenidos en el programa de aforo y caracterización, (tabla N° 3.15), al aplicarse este sistema de tratamiento, el agua tratada presentaría los siguientes niveles de concentración de contaminante: 1065 mg/l de demanda bioquímica de oxígeno, 1,253 mg/l de nitrógeno orgánico y 10.0 mg/l de fósforo total.

#### 5.1.2 Industria Enlatadora.

De manera similar a la anteriormente descrita, en la tabla N° 5.3, se presenta el resumen de los niveles de eficiencia logrados por los sistemas estudiados al ser aplicados al agua residual de la industria de enlatado.

Se observa también que la eficiencia de remoción de contaminantes aumenta conforme se aplican mejores técnicas de tratamiento. Resultó nuevamente el sistema de

flotación con aire disuelto y ayuda química el que alcanzó mejores niveles de remoción, hecho que se observa en la figura N° 5.2.

**TABLA N° 5.1**

**RESUMEN DE EFICIENCIAS DE REMOCIÓN EN PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA EFLUENTE DE INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO**

Sistema	Eficiencias de Remoción (%)				
	SST	GYA	DBO	NIT.ORG.	FÓSFORO TOTAL
Sedimentación floculenta	45	45	38	27	23
Flotación con aire disuelto	48 - 65	32 - 59	27 - 53	24 - 42	26 - 39
Coagulación química*	38 - 76	30- 58	25 - 69	36 - 63	37 - 66
Flotación con aire disuelto y ayuda química**	53 - 93	42 - 87	37 - 86	48 - 72	45 - 76

\* 50 a 400 mg/l de alumbre como coagulante

\*\* 250 mg/l de alumbre como coagulante



**TABLA N° 5.2**

**CALIDAD ESPERADA EN EL AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO**

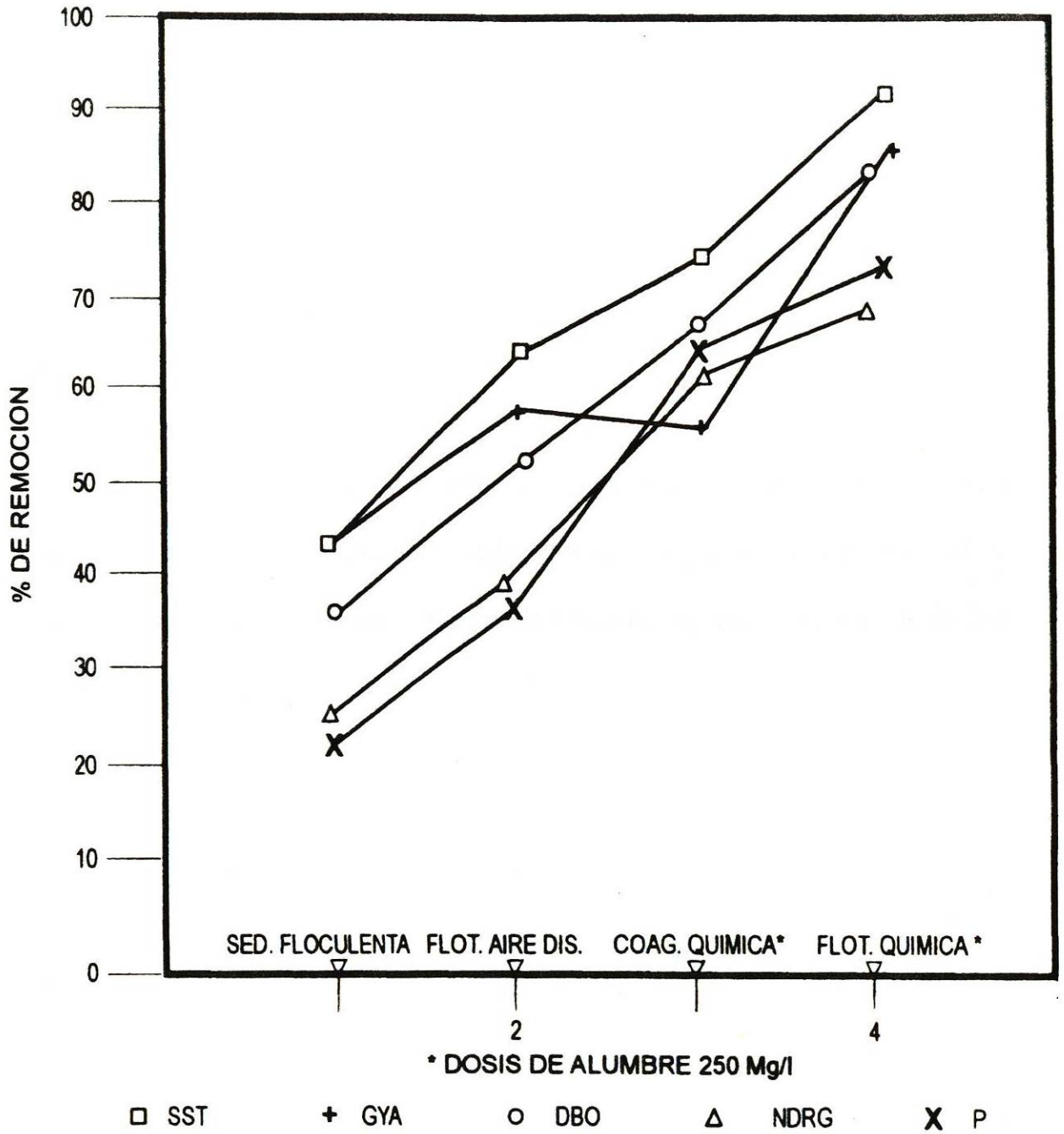
Características	Sistema de tratamiento			
	Sedimentación floculenta	Flotación con aire disuelto	Coagulación química	Flotación con aire disuelto y ayuda química
<b>Eficiencia (%)</b>				
SST	45	65	76	93
GYA	45	59	58	87
DBO	38	53	69	86
NIT. ORG.	27	42	63	72
FOSF.	23	39	66	76
<b>EFLUENTE (mg/l)</b>				
SST	8,370	5,326	3,652	1,065
GYA	673	501	514	159
DBO	7,043	5,339	3,521	1,590
NIT. ORG.	3,267	2,596	1,656	1,253
FOSF.	32.1	25.4	14.1	10.0

\* 250 mg/l de alumbre como coagulante

Datos del influente (mg/l).

SST            15,218  
 GYA            1,224  
 DBO            11,360  
 NIT. ORG.    4,476  
 FOSF.         41.7

**FIG. N° 5.1 EFICIENCIA DE TRATAMIENTO  
INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO**



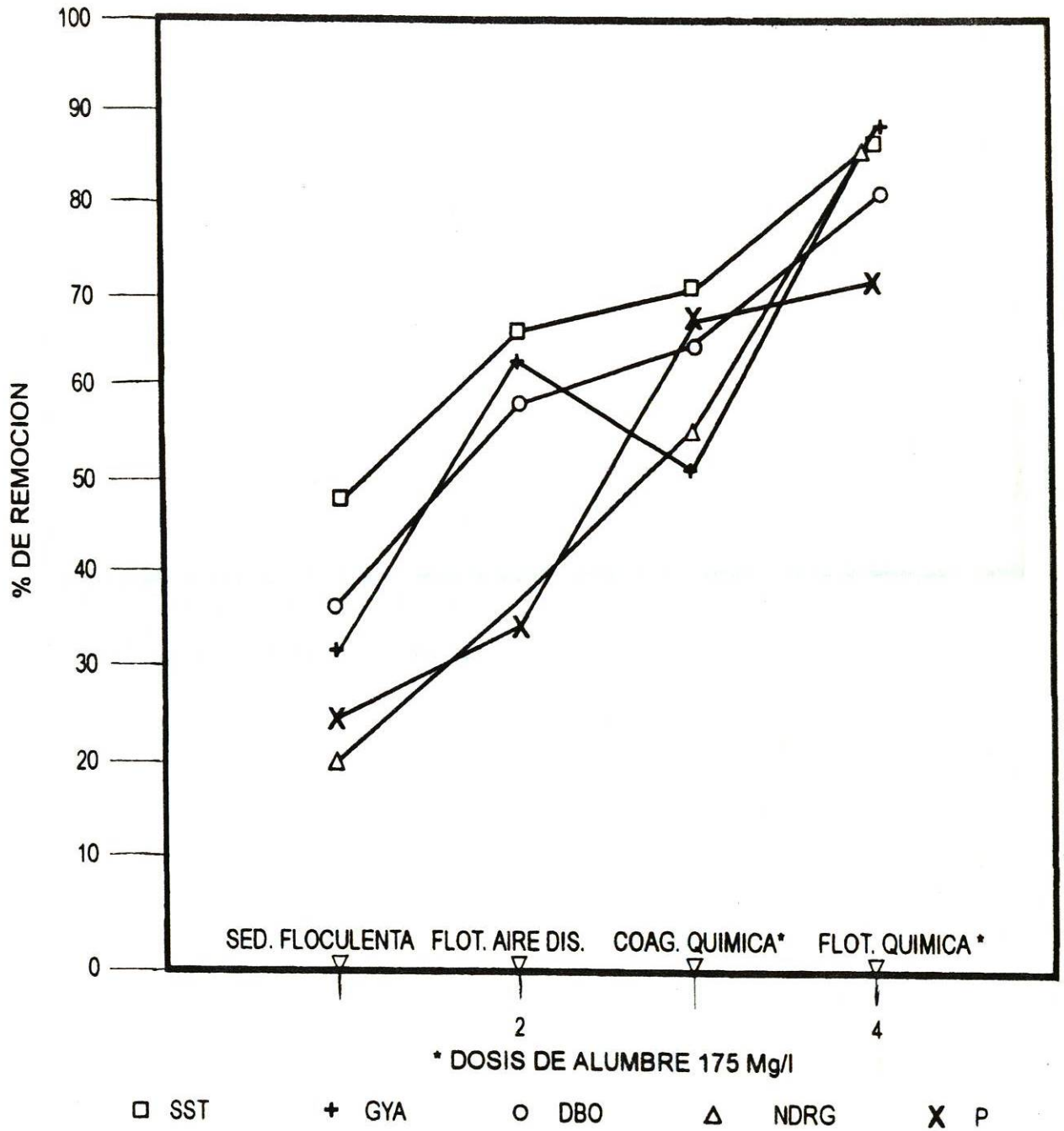
En la tabla N° 5.4 se determinan las características de la calidad del agua al ser sometida a tratamiento, a través de los diversos procesos estudiados, considerando los valores máximos de remoción y las características del agua residual de este tipo de industrias generadas y la actividad de caracterización y aforo presentando en la sección de cargas contaminantes provenientes de este giro industrial.

Aplicando una dosis de 175 mg/l de alumbre como coagulante y operando el sistema de flotación con presiones de 4 a 5 atmósferas, la eficiencia obtenida en remoción de contaminantes es de: 89% SST, 91% grasas y aceites, 83% en DBO, 69% en Nitrógeno orgánico y 74% en Fósforo.

Lo anterior, indica que la calidad del agua esperada en el efluente del tratamiento es: 797 mg/l de sólidos suspendidos totales, 194 mg/l de grasas y aceites, 559 mg/l de demanda bioquímica de oxígeno, 41 mg/l de nitrógeno orgánico y 11 mg/l de fósforo total.

FIGURA N° 5.2 EFICIENCIA DE TRATAMIENTO

INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO



**TABLA N° 5.3**

**RESUMEN DE LAS EFICIENCIAS EN LA REMOCIÓN, EN PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA EL EFLUENTE DE LA INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO**

Sistema	Eficiencias de Remoción (%)				
	SST	GYA	DBO	NIT.ORG.	FÓSFORO TOTAL
Sedimentación floculenta	48	32	37	21	25
Flotación con aire disuelto	52 - 67	44 - 64	34 - 59	22 - 38	20 - 36
Coagulación química*	50 - 72	36- 52	42 - 66	31 - 57	34 - 68
Flotación con aire disuelto y ayuda química**	56 - 89	47 - 91	44 - 83	37 - 69	40 - 74

\* 25 a 250 mg/l de alumbre como coagulante

\*\* 175 mg/l de alumbre como coagulante

**TABLA N° 5.4**

**CALIDAD ESPERADA EN EL AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA INDUSTRIA ENLATADORA DE PESCADO**

Características	Sistema de tratamiento			
	Sedimentación flocculenta	Flotación con aire disuelto	Coagulación química	Flotación con aire disuelto y ayuda química
<b>Eficiencia (%)</b>				
SST	48	67	72	89
GYA	32	64	52	91
DBO	37	59	66	83
NIT. ORG.	21	38	57	69
FOSF.	25	36	68	74
<b>EFLUENTE (mg/l)</b>				
SST	3,770	2,392	2,030	797
GYA	1,465	776	1,034	194
DBO	2,071	1,348	1,118	559
NIT. ORG.	106	83	58	41
FOSF.	32.1	27.4	13.7	11.1

\* 175 mg/l de alumbre como coagulante

Datos del influente (mg/l).

SST	7,250
GYA	2,155
DBO	3,288
NIT. ORG.	134
FOSF.	42.8

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La industria procesadora de productos pesqueros genera cantidades considerables de contaminantes que son vertidos a cuerpos de agua sin ningún tratamiento.
  
- De acuerdo con las características de los efluentes del giro industrial mencionado, de contenidos significativos de material orgánico, suspendido y en solución, además de cantidades variables de grasas y aceites, dependiendo del proceso productivo y de sistemas de recuperación, se analizan los procesos de tratamientos recomendados para este tipo de agua, y son los sistemas de sedimentación primaria, flotación con aire disuelto, coagulación química y flotación con aire disuelto y ayuda química, los procesos que fueron sometidos a prueba de tratabilidad con la finalidad de determinar la factibilidad técnica que cada de uno de estos procesos ofrece, considerando los efluentes de la industria procesadora de harina de pescado y de la industria de enlatado.
  
- De los resultados de remoción de contaminantes obtenidos en las pruebas de tratabilidad efectuadas a los efluentes de la industria harinera de pescado, utilizando los sistemas de tratamiento mencionados anteriormente, resultó que el sistema que proporciona mejor calidad en el efluente es el de flotación con aire disuelto y ayuda química.

- Las eficiencias obtenidas con este sistema, en el cual se utilizó una dosis de 250 mg/l, de alumbre como coagulante, proporcionan resultados máximos de remoción del 93% para sólidos suspendidos totales, 87% para grasas y aceites, 86% para demanda bioquímica de oxígeno, 72% para nitrógeno orgánico y 76% para fósforo total, considerándose que la unidad de flotación opera con 30 minutos de tiempo de flotación, con una presión de 4.5 atmósferas y un 100% de recirculación del efluente para su presurización.
  
- Considerando los resultados obtenidos en el programa de aforo y caracterización, al aplicarse este sistema de tratamiento, el agua tratada presentaría los siguientes niveles de concentración de contaminantes: 1,065 mg/l de demanda bioquímica de oxígeno, 1253 mg/l de nitrógeno orgánico y 10.0 de fósforo total.
  
- En relación con el efluente procedente de la industria enlatadora, se tiene también, que los mejores niveles de remoción de contaminantes se logran mediante el sistema de flotación con aire disuelto y ayuda química.
  
- Aplicando una dosis de 175 mg/l de alumbre como coagulante y operando el sistema de flotación con presiones de 4 a 5 atmósferas, las eficiencias obtenidas en la remoción de contaminantes son: 89% de sólidos suspendidos totales, 91% de grasas y aceites, 83% en demanda bioquímica de oxígeno, 69% en nitrógeno y 74% en fósforo total.



- Lo anterior implicaría que la calidad del agua esperada en el efluente del tratamiento es: para sólidos totales 797 mg/l, 194 mg/l, para grasas y aceites, 559 mg/l de demanda bioquímica de oxígeno, 41% mg/l, de nitrógeno orgánico y 11 mg/l de fósforo total.
  
- Una vez que se ha determinado el sistema de tratamiento que representa la mejor alternativa, conviene mencionar que de acuerdo a la naturaleza de los procesos productores estudiados y sus fases involucradas, el uso de agua no es el óptimo, toda vez que se carece de pila de control o recirculación de agua. Se recomienda que se construya, a la brevedad posible, dicha pila, ya que representa un factor importante para el control y abatimiento de volúmenes de agua utilizados, propiamente en las fases de descarga y recepción de pescado.
  
- Se recomienda por último, el uso de evaporadores, debido a que la operación de éstos reduce significativamente el contenido de materia orgánica, respecto a las cantidades en las aguas denominadas aguas de cola, procedentes, específicamente, del procesado de harina de pescado.

## **RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

**Minerva Elizabeth Araujo Moreno**

**Candidata para el Grado de  
Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

**TESIS: TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL GENERADA POR LA INDUSTRIA PESQUERA UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL RODOLFO SANCHEZ, EN GUAYMAS, SONORA, MEXICO.**

### **BIBLIOGRAFÍA:**

**DATOS PERSONALES:** Nacida en San Blas, Sinaloa el 10 de Marzo de 1964. Hija de Francisco Araujo Bojorquez y Mercedes Moreno López.

### **EDUCACIÓN:**

Egresada de la Universidad de Sonora, grado obtenido Ingeniero Químico en 1987.

### **EXPERIENCIA PROFESIONAL:**

Maestra de asignatura en la Universidad de Sonora desde 1987, dictaminador técnico de la Profuraduría Federal de Protección al Ambiente de Enero de 1994 a Marzo de 1997. Actualmente me desempeño como Asesor Ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Subdelegación de pesca en el Estado de Sonora, 1996, Manual Estadístico sobre la Actividad Pesquera. Guaymas, Sonora, México. Páginas 22, 23 y 26.
2. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras, 1996, Manual de operación sobre la captura de especies del mar. Guaymas, Sonora, México. Páginas 18, 48 y 151.
3. Saavedra R. Luis, 1988, Procesos fisicoquímicos para tratamiento de aguas, México, D.F. páginas 18, 48 y 151.
4. Claggert, F.C. J. Wong; 1990. Treatment of Fish Processing Plant Wastewater. Bolletín of the fisheries Research boards of Canadá. Páginas 72, 73 y 75.
5. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 15<sup>th</sup> Edition, 1980.
6. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECO1-1996. Publicada el 6 de Enero de 1997 en Diario Oficial de la Federación.
7. Información verbal proporcionada por empresas considerada en el presente estudio.
8. Universidad de Sonora. Laboratorio del Departamento de Ingeniería Ambiental. Agosto – Septiembre de 1997.

9. Ecken Felder, W.W. D.F. Ford 1970, Water Pollution Control. The Pember Ion Press, Jenkins Publishing Company, Austin and New York, U.S.A Páginas 127, 128, 658, 659, 772 y 778.
  
10. Ramalho Rubens S, 1997, Introduction to Water Treatment Processes Academic Press, Inc, Austin Texas, E.U.A. Páginas 48, 49, 57, 238, 239, 240 y 255.
  
11. Matcarf 8 Eddy, Inc, 1985, Tratamiento, Evaluación y Reutilización de aguas Residuales. Barcelona, España. Segunda edición. Páginas 64, 65, 68, 77, 79, 219, 221, 226, 243, 282, 283, 430 y 433.
  
12. Araujo M. M Elizabeth, 1988. Diseño de una unidad de flotación para tratamiento de agua residual de un rastro. Tesis de Licenciatura. Hermosillo, Sonora, México. Páginas 37, 38, 40, 47, 48, 50 y 52.

