



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE QUIMICA

Análisis de Costos del Escalamiento de un Reactor Anaeróbico, Tipo EGSB Piloto, para el Tratamiento de Efluentes del Procesamiento de Productos Marinos y Reuso de Residuos.

T E S I S  
Que para obtener el título de  
QUIMICO DE ALIMENTOS  
p r e s e n t a  
ROGELIO JOEL BAUTISTA GARCIA

27/05/05



México, D.F.



2000

EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Jurado asignado:**

Presidente

Miguel Ángel Hidalgo Torres

Vocal

Lucía Cornejo Barrera

Secretario

Ilangovan Kuppusamy

1er. Suplente

Hilda Elizabeth Calderón Villagómez

2º. Suplente

Landy Irene Ramírez Burgos

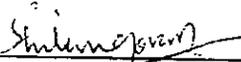
**Sitio donde se desarrolló el tema:**

Instituto de Ingeniería

Edificio 5

Ciudad Universitaria

**Asesor del tema:**



Dr. Ilangovan Kuppusamy

**Supervisor Técnico:**



I.B. Roberto Briones Méndez

**Sustentante:**



Rogelio Joel Bautista García

## **DEDICATORIAS**

*A una persona a la que no he podido comprender: Dios.*

*A mi padre y tío Gilberto (†) con el cual compartí una parte muy importante de mi vida: mi niñez.*

*A la Sra. América (†) la cual siempre creyó y cuidó de mí. Siempre estuvo en el momento en que la necesité para brindarme su cariño y amistad sincera*

*A mi madre quien ha dado su vida para que salga adelante y darme el ejemplo de llevar una vida honesta y responsable.*

*A mi padre por ser el ejemplo de honestidad y trabajo.*

*A mi tía por ser como una madre y la mejor amiga, quien ha compartido su vida conmigo.*

*A mis hermanos por darme su cariño, apoyo.*

*A mi madrina y primos por darme tan gratos recuerdos...*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado un espacio para desarrollar mi intelecto y darme una educación de excelencia.*

*A el Dr. Ilangovan Kuppusamy por su apoyo y la oportunidad dada para la realización este trabajo.*

*A el M. en I. Roberto Briones Méndez por su apoyo y amistad sincera.*

*A el Instituto de Ingeniería de la UNAM por todo el apoyo dado para la realización de este trabajo.*

*A la I.Q. Claudia Bermúdez por su apoyo incondicional y su amistad.*

*A el Biol. René Navarrete por la información, consejos y apoyo dado.*

*A todo el personal del Instituto de Ingeniería de la UNAM por las facilidades dadas para realizar este trabajo.*

*Y en especial a mis jurados, quien me prestaron atención y brindaron su valioso tiempo para la revisión de este trabajo.*

## INDICE

### CAPITULO 1

1. Introducción	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Justificación	4

### CAPITULO 2

2. Antecedentes	
2.1 Operaciones de proceso en la industria pesquera	5
2.1.1 Descarga	5
2.1.2 Aturdimiento	6
2.1.3 Lavado	6
2.1.4 Selección	6
2.1.5 Selección por categoría	7
2.1.6 Separación de materiales similares	7
2.1.7 Orientado	7
2.1.8 Descamado	8
2.1.9 Eliminación de cabeza	8
2.1.10 Desoilado	8
2.1.11 Picado	8
2.1.12 Eliminación del caparazón	9
2.1.13 Eviscerado	9
2.1.14 Fileteado	9
2.1.15 Eliminación de piel	9
2.1.16 Corte	10
2.1.17 Separación de carne del hueso	10
2.2 Generación de residuos en la industria pesquera	10
2.2.1 Generación de residuos durante el proceso	11
2.3 Caracterización del agua residual de la industria pesquera	13
2.3.1 Parámetros contaminantes	13
2.3.1.1 Temperatura	13
2.3.1.2 pH	14
2.3.1.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	14
2.3.1.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	14
2.3.1.5 Sólidos	14
2.3.1.6 Nutrimentos	15
2.3.1.7 Grasas y aceites	15

2.3.1.8 Contenido de humedad	16
2.3.1.9 Alcalinidad	16
2.3.1.10 Relación carbono-nitrógeno	16
2.3.1.11 Otros parámetros	16
2.4 Digestión Anaerobia	18
2.4.1 Etapas de la digestión anaerobia	19
2.4.2 Factores ambientales relacionados con la digestión anaerobia	23
2.4.2.1 Temperatura	23
2.4.2.2 pH y alcalinidad	25
2.4.2.3 Nutrientes	27
2.4.2.4 Nutrientes traza	28
2.4.3 Inhibición de la digestión anaerobia	31
2.4.3.1 Inhibición por ácidos grasos volátiles (AGV's)	32
2.4.3.2 Inhibición por sulfuros	33
2.4.3.3 Inhibición por nitrógeno amoniacal	34
2.4.3.4 Metales pesados	36
2.4.3.5 Compuestos de toxicidad inmediata	39

## CAPITULO 3

### 3. Caso estudio: Congeladora Atlántida del Sur

3.1 Proceso de producción de la empresa Atlántida del Sur	41
3.2 Usos y requerimientos de agua	43
3.3 Características de los efluentes	43

## CAPITULO 4

### 4. Escalamiento del reactor EGSB

4.1 Introducción al escalamiento de procesos biotecnológicos	46
4.2 Descripción del reactor anaerobio EGSB (Expanded Granular Sludge Blanket)	46
4.3 Dimensionamiento del reactor EGSB	50
4.3.1 Volumen del reactor EGSB	51
4.3.2 Producción de metano	51
4.3.3 Velocidad ascendente	52
4.4 Análisis de costos	53

## CAPITULO 5

### 5. Utilización de subproductos

5.1 Introducción al procesado de subproductos	55
5.2 Subproductos pesqueros	56
5.2.1 Surimi	56
5.2.2 Kamaboko	58
5.2.3 Isinglass	58
5.2.4 Harina	59
5.2.5 Aceite	60
5.2.6 Productos hidrolizados de pescado	61
5.2.7 Concentrados de proteína de pescado (FPC)	61
5.2.7.1 FPC tipo A	61
5.2.7.2 FPC tipo B	63
5.2.8 Residuos de la industria del enlatado	63
5.2.9 Huevas de pescado	64
5.2.10 Procesado del agua pegajosa de pescado	64
5.2.11 Piensos para animales	65
5.2.12 Ensilado de pescado	65
5.2.13 Aceites de hígado de pescado	66
5.2.14 Gelatina de pescado	67
5.2.15 Cola de pescado	67
5.2.16 Bloques de pescado	68
5.2.17 Productos farmacéuticos	68
5.2.17.1 Producción de insulina	68
5.2.17.2 Otros productos farmacéuticos	68
5.2.18 Esencia de perlas	69
5.2.19 Quitina y quitosán	70
5.2.20 Empleo de las conchas de moluscos y ostras	72
5.2.21 Otros usos de los residuos de la industria pesquera	72

## CAPITULO 6

6. Conclusiones y recomendaciones	74
Bibliografía	75

## ANEXO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación en la conservación del medio ambiente y el aumento acelerado de la población ha incrementado la importancia en el manejo de residuos, debido al aumento de las actividades para satisfacer un mayor número de necesidades humanas.

Debido a la explosión demográfica, las actividades del hombre van en aumento, y han traído como consecuencia la generación de una gran variedad de residuos, desde los producidos por sus necesidades metabólicas hasta la producción de bienes y servicios. La excesiva actividad humana contribuye al agotamiento de los recursos naturales y como consecuencia el deterioro ambiental.

El agua es uno de los recursos naturales más utilizados por el hombre a, través de su evolución, esta sustancia cubre el 71% de la superficie del planeta. Sin embargo, sólo una mínima parte puede ser utilizada en forma directa.

El uso controlado del agua se ha hecho indispensable; además, es necesario que después de usarla se devuelva al medio ambiente, con las características más cercanamente posible a las originales, para que nuevamente pueda ser utilizada y, por lo tanto, disminuir el desequilibrio ambiental.

En ocasiones los efluentes arrastran microorganismos peligrosos para el medio ambiente y especialmente para el ser humano. Por lo tanto, las aguas residuales representan un grave problema ambiental y de salud pública, por lo cual su tratamiento es necesario para la reducción de contaminantes.

La materia orgánica contenida en el agua residual puede ser reducida mediante la actividad metabólica de los microorganismos (principalmente algas y bacterias), para lo cual se han desarrollado diversos sistemas de tratamiento biológico para las aguas residuales. La utilización de esas células dentro del proceso dependerá de la naturaleza del agua residual,

ya que se debe considerar la fisiología de éstas para que realicen su máxima actividad en la transformación de los contaminantes.

En México, la primera reglamentación para la prevención y control de la contaminación del agua se emite en 1971. Actualmente, el número de plantas de tratamiento es insuficiente puesto que las descargas registradas, tanto domésticas como industriales sólo el 11% se trata (López, 1997).

Se estima que para el procesamiento de estos productos se emplean de 18 a 40 L/Kg de producto (Battistoni, et al., 1992). Considerando el uso de 29 L/Kg de producto en promedio, tenemos que en el procesamiento de 1 tonelada de producto se generan 290000 L de agua residual, cifra realmente alarmante si se considera que estos efluentes arrastran una carga contaminante del orden de 5.5 Kg DQO (Demanda Química de Oxígeno)/m<sup>3</sup>, de acuerdo con la caracterización de diversos efluentes de empresas pesqueras (Carozzi, 1988).

En lo que respecta, a la industria mexicana procesadora de alimentos, en especial la de productos pesqueros, es preocupante ya que sus efluentes son descargados con un elevado contenido de materia orgánica, medida como DQO del orden de los 2-5 g/L, generadas en las distintas etapas de producción. Durante el procesamiento, de las especies marinas, se obtiene una gran cantidad de residuos sólidos (huesos, caparazones, piel, vísceras, etc.) y/o en suspensión junto con las aguas de lavado; los cuales, no reciben el tratamiento adecuado para su descarga a los diferentes cuerpos receptores (ríos, mantos acuíferos, mar). Existen evidencias de muerte de peces debido a la presencia de cuatro compuestos químicos (fenol, 4-metilfenol, indoles y 3-metil indol) contenidos en aguas residuales no tratadas (Shüssler & Ntischke, 1999).

El presente trabajo analiza los costos para el escalamiento de un reactor anaerobio, tipo EGSB (Expanded Granular Sludge Blanket, Lecho de Lodos Granular), para el tratamiento de aguas residuales de la industria pesquera. Así, como la posibilidad de reutilizar los

residuos de las especies marinas que ahí se procesan para convertirlos en alimentos con cierto valor comercial.

## 1.1 OBJETIVOS

### Objetivo Específico

- Realizar el análisis de costos para el escalamiento de un reactor anaerobio, tipo EGSB, para el tratamiento de aguas residuales de la industria pesquera, y proponer alternativas para la reutilización de los residuos generados durante el proceso productivo.

### Objetivos Generales

- Realizar el escalamiento de un reactor tipo EGSB, para la remoción de la carga orgánica en los efluentes que vierte esta industria.
- Definir el uso de los subproductos generados durante el procesamiento de las especies marinas.
- Cumplir con las especificaciones requeridas por la CNA (Comisión Nacional del Agua) según la norma NOM-001-ECOL,1996.

## 1.2 Justificación

La Empresa Atlántida del Sur, localizada en Mérida, Yucatán, realiza actividades de congelamiento y fileteado, de las cuales se generan residuos como: carne, huesos, escamas, piel, vísceras, lodo y soluciones acuosas con partículas solubles y suspensiones de la misma con partículas insolubles. El tratamiento de efluentes, para ésta y otras del sector, se ha hecho necesario, ya que la mayoría de estos sólo reciben pretratamientos antes de ser desechados.

La normatividad, en cuestión ambiental, ha obligado a los industriales de este sector a establecer políticas adecuadas para el tratamiento de sus residuos ya que, actualmente, hay una norma vigente de protección ambiental (NOM-001-ECOL, 1996) la cual, establece límites permisibles de contaminantes que debe contener el efluente para poder desechado. Además, de la recomendación para el reuso de los residuos generados durante el procesamiento, los cuales contienen una elevado contenido proteínico.

Por esta razón, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se dio, a la tarea de realizar el análisis de costos del escalamiento de un reactor anaerobio tipo EGSB (Expanded Granular Sludge Blanket), empleando los datos obtenidos, de un estudio anterior sobre el tratamiento de los efluentes a nivel piloto (Navarrete, 1999). Además, como complemento la posibilidad de reutilizar los residuos generados de la manipulación de las especies marinas a productos comerciales.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Operaciones de proceso en la industria pesquera**

El procesamiento de productos pesqueros tiene algunas limitaciones, requerimientos secuenciales y requerimiento de higiene y sanitización. Las limitaciones son impuestas por los materiales crudos y sus propiedades, el tipo de requerimiento del producto final, requerimientos de mercado, mano de obra, procesamiento requerido, costo capital y de operación. Las limitaciones secuenciales son impuestas por las etapas requeridas para transformar a la materia prima en producto terminado.

El proceso se lleva a cabo en varias etapas (operaciones unitarias) o unidades individuales. Las operaciones unitarias generalmente ejecutan una función en la secuencia total de los eventos requeridos para transformar un producto crudo en un producto terminado. Funciones tales como evisceración, etiquetado, deshollado, fileteado, seleccionado por categoría (peso, especie, etc.) entre otros, son ejemplos de operaciones unitarias, las cuales son, elementos primarios de un sistema de procesamiento, diseño de un nuevo proceso o modificación de uno existente; de tal manera que para producir el producto deseado deben establecerse que operaciones son necesarias. Las necesidades secuenciales y de capacidad productiva son establecidas para finalmente traducir y determinar, a partir del mismo, los materiales que serán necesarios para realizar el diseño del proceso y asegurar el buen funcionamiento de la línea de producción.

#### **2.1.1 Descarga**

La descarga del barco se realiza en varias formas dependiendo de la práctica local y equipo disponible. Muchos sistemas de descarga son manuales y algunos mecánicos.

El método tradicional de descarga se realiza utilizando la grúa del barco y una polea, el transporte de los productos se realiza por medio de un contenedor, el cual se encuentra

atado a la polea y se vacía dentro de otro colocado en tierra. Es cansado para los operarios y lento, sin embargo, garantiza el cuidado de los productos.

Los métodos mecánicos dan mejores resultados debido al gran volumen que manejan, sin embargo, el producto sufre daños físicos en mucha mayor proporción que en el manual.

### **2.1.2 Aturdimiento**

El método previo al procesamiento de los productos pesqueros, es el aturdimiento, el cual tiene como función preparar al animal para las etapas posteriores (evisceración, fileteado, etc). Se realiza mediante el paso de una corriente eléctrica, a través de un contenedor, en el cual los productos vivos son colocados previamente. Esta debe ser lo suficientemente intensa para aturdir o matar al animal instantáneamente.

### **2.1.3 Lavado**

En esta etapa se elimina la mugre e impurezas que traiga consigo el producto. El agua utilizada debe ser potable. Existen varios métodos como el de tambor, el presurizado, el lavado con cepillo, el de chorro y el de tanque. Todos tienen características diferentes, pero el más ampliamente usado es el de tambor, debido a su fácil manejo, buen funcionamiento y bajo costo. El tipo de sistema seleccionado está en función del espacio, las instalaciones disponibles y su costo.

### **2.1.4 Selección**

Tiene como finalidad separar y agrupar las especies, ya que cuando se captura se recolectan diferentes productos. Esta etapa se realiza mediante el uso de tambores, los cuales tienen orificios de diferentes tamaños para permitir la salida de especies pequeñas (mariscos). Además de que también pueden utilizarse criterios de calidad como la frescura, y el olor, entre otros.

### **2.1.5 Selección por categoría**

La selección por categoría es la separación por detalle en una corriente en función de ciertos criterios; estos pueden ser por tamaño, peso, calidad o algún otro parámetro. Se pueden emplear métodos manuales, durante la evaluación sensorial para su selección por calidad, existen pocos aparatos comercialmente disponibles. Sin embargo, para otro tipo de selección, como el realizado por peso, se pueden utilizar tanto manuales como mecánicos; estos últimos tienen grandes ventajas ya que requieren menor mano de obra, lo cual hace que se reduzca el costo de la operación.

### **2.1.6 Separación de materiales similares**

Como su nombre lo indica, consiste en separar material extraño y similar de la corriente de proceso. Es una operación prioritaria para otros procesos. Se realiza manualmente y es llevada a cabo, a veces, como parte de otra etapa por la misma persona que realiza la operación posterior. Debido a su importancia y cuidado, no puede ser mecánica.

### **2.1.7 Orientado**

Es utilizada para orientar adecuadamente al producto crudo antes que la operación unitaria comience. Los ojos y la mente humana son utilizados para reconocer la forma y la orientación inicial de los organismos. Una parte inherente de la orientación es la habilidad para reconocer el producto y sus componentes con precisión. El orientador debe ser capaz de diferenciar entre las distintas partes del pescado.

### **2.1.8 Descamado**

Es el proceso que tiene como objetivo la remoción de las escamas. El descamado manual se realiza mediante la frotación del pescado en una superficie rugosa, lo suficientemente dura para remover las escamas.

### **2.1.9 Eliminación de cabeza**

Tiene como finalidad, eliminar la cabeza del pescado. Antes de que el pescado, entre al proceso, hay una etapa de selección por tamaño. El proceso es mecánico para peces y para camarón puede ser de esta forma o manual.

### **2.1.10 Desollado**

El desollado es el proceso de separación de la carne del caparazón, la cual se realiza sólo en el procesamiento de mariscos; puede llevarse a cabo manualmente, de alto costo, y mecánicamente. Este último tiene desventajas, debido a que hay daño en la carne y pérdida de la misma.

### **2.1.11 Picado**

Consiste en remover la carne del caparazón de cangrejo. Al proceso de decapitado y pelado en el camarón también se le llama picado. Le antecede un proceso de cocido y refrigerado. Es manual para disminuir el daño en la carne que podría causar un daño mecánico.

### **2.1.12 Eliminación del caparazón**

Es el proceso, mediante el cual, se remueve el caparazón de la carne del camarón. Antes de entrar al proceso, el camarón debe ser decapitado. Una vez, extraída la carne, se realiza un lavado con agua potable.

### **2.1.13 Eviscerado**

La evisceración es el proceso, mediante el cual, se remueven los órganos internos de pescados o mariscos u otro organismo acuático. La evisceración es importante, ya que reduce la velocidad de descomposición del producto debido a la remoción de población bacteriana presente en el sistema digestivo y por la eliminación de enzimas, principalmente digestivas, que degradan el tejido muscular. Debe ser muy cuidadosa, ya que, si hay ruptura de los órganos internos, trae como consecuencia, contaminación cruzada del producto.

### **2.1.14 Fileteado**

El fileteado, es el proceso mediante el cual, se realizan cortes de una pieza de pescado entero y la obtención de porciones más pequeñas.

### **2.1.15 Eliminación de piel**

La eliminación de piel, como su nombre lo indica, consiste en la separación de la misma del pescado. Puede ser manual o mecánica. Los métodos manuales y mecánicos aportan residuos a la corriente residual, que consiste en piel; un paso previo utilizado en estos últimos, es la de aplicar un baño de sosa al 9 % y un posterior con ácido acético al 2 %, el cual incrementa la carga contaminante, por las sales generadas en la mezcla y los pigmentos extraídos durante ambas inmersiones.

### **2.1.16 Corte**

El corte se encuentra involucrado en varios procesos, como lo son, el fileteado, eviscerado, entre otros; sin embargo, es tan bien usado, como etapa individual dentro del procesado, el cual sirve para formar piezas o bloques de producto. La pérdida de material es significativa, la cual puede ser, del 8 al 12 % de material comestible. Actualmente, se ha logrado disminuir las pérdidas durante esta actividad.

### **2.1.17 Separación de carne del hueso**

Debido a que, durante los procesos hay generación de huesos con carne, esto se traduce a una gran pérdida de material comestible (20-50 %), por lo cual se hizo necesario el desarrollo de procesos de separación. La carne obtenida puede ser aprovechada para la elaboración de subproductos.

## **2.2 Generación de residuos en la industria pesquera**

Una porción significativa de los pescados y mariscos procesados son residuos. El porcentaje de éstos varía desde 0 %, para pescados que se comercializan totalmente, hasta alrededor del 80-85 % para crustáceos (cangrejo azul). Sumado a este residuo se encuentra el agua residual generada en las operaciones de lavado, destazado (fileteado, eviscerado, por ejemplo) y varios otros procesos llevados a cabo en la planta, como las operaciones de higiene. Los volúmenes de sólidos y líquidos pueden variar en función del tamaño de operación del proceso, el método usado y la especie. Además, las plantas pueden procesar una o más especies a la vez, teniendo como resultado la combinación de residuos, lo cual debe ser considerado (Wheaton & Lawson, 1985).

A continuación, en la tabla 2.1, se presentan algunos porcentajes de residuos generados durante el procesamiento de pescados y mariscos:

Tabla 2.1 Porcentaje aproximado de residuos primarios  
(Wheaton & Lawson, 1985)

Organismo	Porcentaje de residuos (%)
Cangrejo azul	86
Camarón	80
Atún	65
Bacalao	40
Ostra	75
Salmón rosado	35
Langosta	80
Carpa	40
Mero	12
Merluza	0

### 2.2.1 Generación de residuos durante el procesamiento

Los residuos se forman durante las diferentes operaciones del proceso, ya que, durante los procesos mecánicos se elimina, intencional o no intencionalmente, parte del cuerpo de pescados y mariscos; dentro de estos residuos sólidos se encuentran, vísceras, trozos de carne, escamas, entre otros, los cuales pueden provenir de más de una especie, dentro de la corriente residual.

En la figura 2, se observa la etapa básica del fileteado de pescado, así como, los residuos que se generan en cada una de las subetapas.

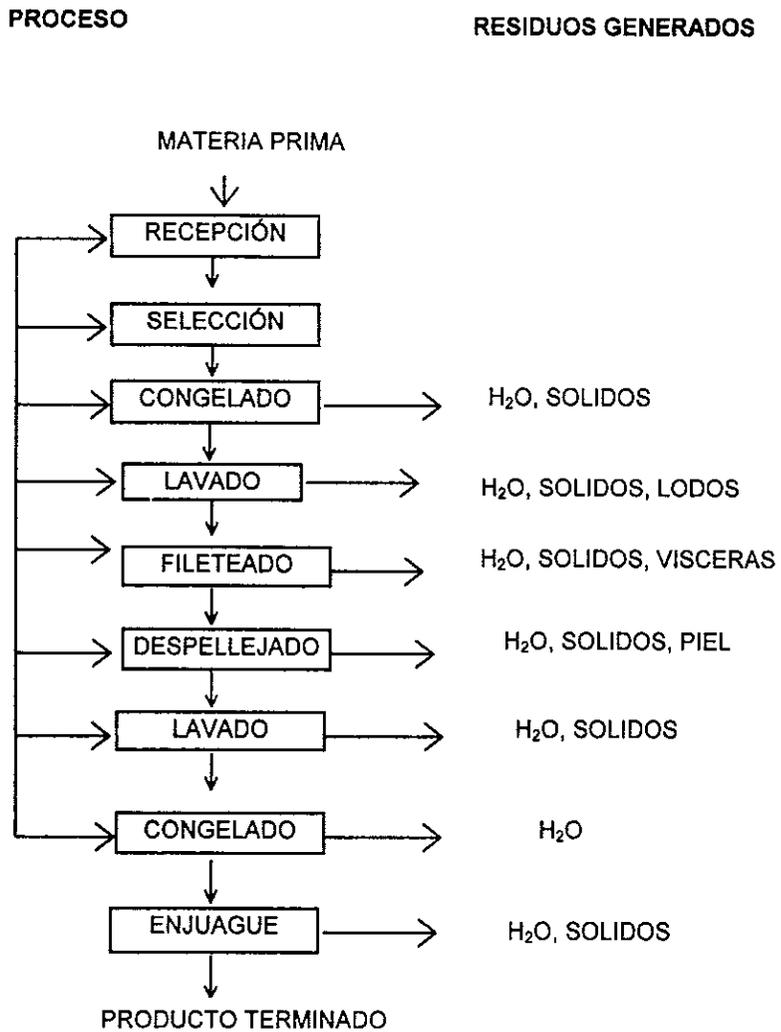


Figura 2.1 Esquema básico del fileteado de pescado, (Wheaton & Lawson, 1985).

## **2.3 Caracterización del agua residual de la industria pesquera**

El procesamiento de los productos pesqueros genera una gran cantidad de residuos, debido a las diferentes etapas del proceso, éstos pueden ser simples pero, si se manejan más de una especie durante la producción, se vuelven complejos, debido a las diferencias, en composición química, que existen entre cada una de ellas, los cuales, pueden ser más difíciles de degradar. La calidad y cantidad de los residuos tiene tanto consecuencias económicas como ambientales con, respecto a su tratamiento y depósito. Las económicas se refieren a la pérdida de producto durante el proceso y el costo del tratamiento. Las ambientales con respecto a, el impacto ecológico que recibirá el receptáculo final en la integridad del agua y los seres vivos existentes. Los parámetros que determinan el costo son el volumen de descarga diaria y la fuerza de los contaminantes.

Las características que más preocupan a la industria procesadora de alimentos, son los parámetros contaminantes, las fuentes y tipos de residuos procesados (Wheaton & Lawson, 1985).

### **2.3.1 Parámetros contaminantes**

#### **2.3.1.1 Temperatura**

El conocimiento de la temperatura de la corriente residual, debido a que intervienen directamente en la cinética de la reacción de degradación, afectando al sistema de tratamiento. Esta puede ser medida directamente.

### **2.3.1.2 pH**

El pH es la concentración del ión hidrógeno en un medio acuoso. Debido a la concentración de éste, el efluente puede ser ácido o alcalino, el cual afecta a los seres vivos del medio que recibe la corriente residual.

### **2.3.1.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno nos mide directamente la cantidad aproximada de oxígeno necesario para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Puede expresarse como DBOs, que es el oxígeno requerido en 5 días para romper una fracción biodegradable a 20°C. La DBO total (DBO<sub>T</sub>) es el oxígeno consumido durante la oxidación total de la fracción biodegradable

### **2.3.1.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Mide el oxígeno que es requerido para oxidar tanto fracción biodegradable como no biodegradable en la corriente residual. La determinación de la DQO es más rápida y menos variable que la de DBO, por lo cual es más utilizada; además si son llevadas a cabo en un mismo residuo es posible relacionarlas. Así que, podemos obtener, la DBO a partir de la DQO.

### **2.3.1.5 Sólidos**

Los residuos en suspensión sólido-líquido son generalmente divididos en totales, sedimentables, suspendidos o filtrables, y sólidos no filtrables. Los sólidos totales miden la cantidad de sólidos en una muestra, ya sea suspendidos o disueltos en la fase líquida. Los sólidos sedimentables miden la cantidad total de sólidos que se situarán en el fondo de un contenedor cuando a una muestra se le permite sedimentar

espontáneamente por un período fijo de tiempo, son una medida de la cantidad de sólidos que pueden ser removidos en un sedimentador.

Los sólidos no filtrables incluyen sólidos que son disueltos o suspendidos como partículas muy finas en el líquido. Los sólidos filtrables son típicamente aquellos que no pueden sedimentarse fácilmente y que son capturados en filtros.

### **2.3.1.6 Nutrimientos**

Los nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, son de interés por tres razones: 1) determinan el potencial eutrófico del agua residual si la descarga se efectúa en aguas naturales, 2) determinan el valor fertilizante del residuo para su aplicación a tierra de cultivo y otros usos, y 3) determinan el valor del agua residual como un sustituto de proteína.

El nitrógeno puede estar presente en la corriente residual como amoníaco, nitrito, nitrato, en estado gaseoso y proteína. Las primeras tres formas pueden tener consecuencias antinutricionales en el ambiente. El fósforo existe en el agua como fosfato (ortofosfato y polifosfato). Cantidades excesivas de fósforo incrementan el florecimiento de algas en ríos, lagos y reservorios. Sumados a éstos se encuentran otros nutrientes de interés como manganeso, potasio y magnesio, entre otros.

### **2.3.1.7 Grasas y aceites**

Son indeseables debido a su aspecto antiestético y su efecto adverso en el ambiente. Una delgada capa de éstos limita el intercambio de oxígeno con el agua, pueden obstruir las branquias de los peces y causar problemas en las aves acuáticas. Las grasas y aceites inhiben las reacciones biológicas y causan una ruptura en el sistema de tratamiento, además de tener una alta demanda de oxígeno durante su oxidación.

### **2.3.1.8 Contenido de humedad**

El contenido de humedad es de interés ya que la cantidad actual de sólidos es la variable importante en muchos casos. Dentro de los sólidos pueden existir compuestos volátiles que pueden perderse si la temperatura aplicada es alta.

### **2.3.1.9 Alcalinidad**

La alcalinidad del residuo es una medida de su capacidad amortiguadora para mantener un intervalo de pH aceptable en el mismo.

### **2.3.1.10 Relación carbono-nitrógeno**

La degradación biológica procede más activamente cuando la relación carbono-nitrógeno se aproxima a la ideal para el sistema.

### **2.3.1.11 Otros parámetros**

Hay algunos otros parámetros que pueden ser de importancia en varios procesos de tratamiento de residuos. Los sólidos volátiles de la suspensión mezclada de agua residual y microorganismos, contenido de proteínas y carbohidratos, contenido de cenizas y celulosa, contenido de grasas y aceites, cuenta microbiana, concentración de algunos compuestos químicos, y algunos otros parámetros son, en ocasiones, de importancia. La importancia de los parámetros variará en función del residuo, del tratamiento en estudio, uso del residuo y los requerimientos regulatorios. La tabla 2.2 nos muestra la caracterización del efluente producido en el procesamiento de atún.

Tabla 2.2 Calidad del efluente del procesamiento del atún  
(Wheaton & Lawson, 1985)

Parámetro	Unidades	Valor	Rango
Velocidad de flujo	m <sup>3</sup> /día	3060	246-11700
Relación de flujo	L/mg	18300	5590-33000
Sólidos sedimentables	mL/L	1.6	0
Relación de sólidos sedimentables	L/mg	29	7.0-5.0
Sólidos filtrables	mg/L	71	0
Relación de sólidos filtrables	kg/mg	1.3	0.95-1.7
Sólidos suspendidos	mg/L	550	0
Relación de sólidos suspendidos	kg/mg	10	3.8-17
DBOs	mg/mL	710	0
Relación de DBOs	kg/mg	13	6.8-20
DQO	mg/L	1900	0
Relación de DQO	kg/mg	35	14-64
Grasas y Aceites	mg/L	320	0
Relación de grasas y aceites	kg/mg	5.8	3.2-13
Nitrógeno orgánico	mg/L	76	0
Relación de nitrógeno orgánico	kg/mg	1.4	0.75-3.0
Nitrógeno amoniacal	mg/L	5.5	0
Relación de nitrógeno amoniacal	kg/mg	0.10	0.0052-0.23
pH	---	6.7	6.2-7.2

## 2.4 Digestión anaerobia

Los sistemas de tratamiento biológico del agua residual, se fundamentan en la capacidad de diversos microorganismos para degradar la materia orgánica presente transformándola en biomasa fácil de retirar por decantación. El tratamiento de las aguas residuales no altera ni modifica los procesos naturales de autopurificación, únicamente, los optimiza mediante el control de las variables que aceleran el proceso natural de la degradación. Los tipos de microorganismos presentes en los procesos de tratamiento de agua residual incluyen virus, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, nemátodos y bacterias.

Las bacterias actúan sobre la materia orgánica degradándola, de donde obtienen la energía necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales y la síntesis celular. Por lo que son de suma importancia en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, puesto que aceleran la descomposición natural de los materiales orgánicos. Los procesos bioquímicos de degradación que se dan en la digestión anaerobia, son responsabilidad de las bacterias que se encuentran en los reactores y el afluente a tratar constituye el sustrato para los microorganismos.

Las reacciones bioquímicas que tienen lugar de forma natural en los cuerpos de agua o bajo condiciones controladas en las plantas de tratamiento, se clasifican con base en el metabolismo que efectúan los microorganismos en tres grandes grupos: aerobios, anaerobios y facultativos. Las aerobias se producen en presencia de oxígeno y las reacciones anaerobias en ausencia del mismo. Los microorganismos facultativos actúan en alguno de los mecanismos anteriores de acuerdo con las condiciones que prevalecen en el medio.

Las reacciones bioquímicas que tienen lugar en los sistemas de tratamiento de agua residual, se ven influenciadas por una serie de factores entre los que se encuentran:

la presencia de nutrimentos, temperatura, pH, contenido de sales y sustancias tóxicas entre otros.

### **2.4.1 Etapas de la digestión anaerobia**

La mineralización de la materia orgánica por un sistema microbiológico mixto en condiciones de ausencia de oxígeno (o fuertemente reductoras), se denomina digestión anaerobia.

El esquema más ampliamente aceptado de la digestión anaerobia de un sustrato complejo con materia orgánica en suspensión, es el que involucra tres etapas: hidrólisis y fermentación, acetogénesis y metanogénesis. El conocimiento de la microbiología de estos ecosistemas, ha mostrado que la degradación anaerobia involucra básicamente tres grupos de bacterias:

Hidrolíticas y fermentativas

Acetógenas (OHPA)

Metanogénas acetoclásicas (MA)

Metanogénas hidrogenófilas (MH)

Posteriormente, se propuso que el flujo de sustratos pasa por seis distintos procesos de conversión, incluidos en las tres etapas:

#### **1. Hidrólisis (ruptura) y fermentación**

- a. Hidrólisis de polímeros (proteínas, carbohidratos y lípidos).
- b. Fermentación de aminoácidos y azúcares

## 2. Acetogénesis (producción de ácido acético)

c. Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes ( $\beta$ -oxidación).

d. Oxidación anaerobia de productos intermedios como ácidos volátiles (AGV's) excepto el acetato.

## 3. Metanogénesis (generación de metano)

e. Conversión de acetato en metano

f. Formación de metano a partir de  $H_2$  y  $CO_2$

El desarrollo de la digestión anaerobia, se establece cuando las bacterias son incapaces de alimentarse del material orgánico particulado, por lo que se deben hidrolizar (romper) inicialmente los polímeros (carbohidratos, proteínas y lípidos) por medio de enzimas extracelulares a polímeros solubles o monómeros como azúcares, aminoácidos y grasas superiores.

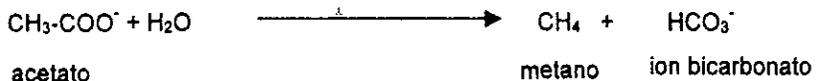
Posteriormente, los azúcares y aminoácidos son utilizados por los organismos fermentadores para producir acetato,  $CO_2$ , hidrógeno y biomasa, mientras que los ácidos grasos superiores son convertidos en ácidos grasos volátiles e hidrógeno, por los oxidadores anaerobios, mediante una reacción de  $\beta$ -oxidación. En la primera etapa los ácidos grasos volátiles (AGV's): acético, propiónico, butírico, isobutírico e iso-valérico, representan los principales intermediarios de la digestión anaerobia. El propionato y el butirato son degradados hasta acetato e hidrógeno por un grupo de bacterias conocido como OHPA (bacterias acetógenas productoras obligadas de hidrógeno), las cuales deben existir en relación sintrófica con las metanógenas que

utilizan hidrógeno. El acetato y el H<sub>2</sub> son los principales sustratos de las bacterias metanógenas.

Un aspecto importante dentro del proceso que merece atención especial es la dependencia de las bacterias OHPA sobre las bacterias hidrogenófilas. El equilibrio entre la oxidación del propionato, descarboxilación del acetato y oxidación del hidrógeno es crucial para tener un proceso de digestión anaerobia estable. Las **bacterias metanógenas** son esenciales para la digestión anaerobia ya que son las únicas que pueden catabolizar la reacción a partir de acetato de hidrógeno para dar como productos gaseosos metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en ausencia de energía luminosa o aceptores de electrones exógenos como oxígeno (O<sub>2</sub>) de nitritos (NO<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), y sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

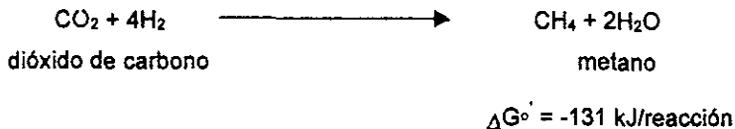
La composición inorgánica de las bacterias metanógenas muestra que contiene los nutrimentos esenciales nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en concentraciones normales, mientras que algunos micronutrientes como níquel (Ni), hierro (Fe) y cobalto (Co), están presentes en concentraciones más altas a diferencia de otros microorganismos, lo que implica un requerimiento particular de estos elementos por dichas bacterias.

Las **bacterias metanógenas acetoclásicas** son las bacterias que producen metano a partir de ácido acético. Normalmente alteran el pH del medio debido a la eliminación del ácido acético y la producción de CO<sub>2</sub> que al disolverse forma una solución amortiguadora de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La reacción de formación de metano es la siguiente:



$$\Delta G^\circ = -31 \text{ kJ/mol}$$

Durante la metanogénesis, la velocidad de crecimiento obtenida con acetato ( $\mu_{\text{HAc}}$ ), es  $0.014\text{h}^{-1}$ . Esta reacción es de suma importancia para la digestión anaerobia dado que produce el 73 % del metano. Las bacterias acetoclásicas frecuentemente encontradas en los digestores anaerobios pertenecen a los siguientes géneros: *Metanosarcina* y *Methanothrix*. Las bacterias metanógenas hidrogenófilas utilizan el hidrógeno producido en la oxidación anaerobia para reducir el  $\text{CO}_2$  que proviene de la etapa de fermentación a  $\text{CH}_4$  según la siguiente reacción:



La velocidad de crecimiento obtenida con hidrógeno ( $\mu_{\text{H}_2}$ ) es de  $0.06 \text{ h}^{-1}$ , durante la metanogénesis. Esta reacción tiene una doble función en el proceso de la digestión anaerobia, por un lado producir metano y, por el otro, eliminar el  $\text{H}_2$  gaseoso.

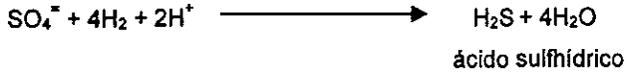
Al consumir hidrógeno regulan la producción de ácidos y la mezcla de éstos generados por las bacterias acidógenas. El hidrógeno también controla las velocidades a las que el ácido propiónico y el butírico son convertidos en ácido acético de acuerdo con la relación sintrófica. Por consiguiente, se puede considerar que las metanobacterias utilizadoras de  $\text{H}_2$  regulan la digestión anaerobia; los géneros más representativos son:

*Methanobrevibacter arboriphilicus*

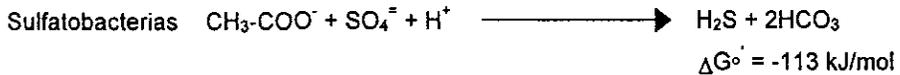
*Methanospirillum hungate*

*Methanobacterium formicicum*

Las **bacterias sulfatoreductoras** están presentes en los digestores anaerobios, especialmente cuando hay presencia de sulfatos, que son organismos capaces de reducir los sulfatos del agua residual a sulfuros de acuerdo a la reacción:



Estas bacterias utilizan, en medio anaerobio, el sulfato como aceptor final de electrones y la materia orgánica como donador. Su importancia es fundamental ya que puede competir con las metanobacterias impidiendo la formación de metano. Aunque en general las sulfatoreductoras utilizan ácido pirúvico y láctico, algunas pueden utilizar también acético en competencia con las metanobacterias.



De estas dos reacciones, la más favorecida termodinámicamente es la sulfatoreductora. Sin embargo, en un digestor anaerobio esta reacción no se lleva a cabo en forma significativa a menos que los sulfatos se encuentren en concentraciones elevadas; en éste caso la producción de  $\text{H}_2\text{S}$  puede provocar problemas de corrosión en los reactores anaerobios.

#### 2.4.2 Factores ambientales relacionados con la digestión anaerobia

Los microorganismos involucrados en la digestión anaerobia requieren condiciones ambientales específicas, para su crecimiento y actividad óptima, que se verán manifestadas en un incremento de la biomasa, así como en altos porcentajes de remoción de materia orgánica. Algunos parámetros están claramente tipificados, no así otros cuyo intervalo no ha sido bien delimitado. Entre los parámetros ambientales

más importantes que inciden en la digestión anaerobia, se encuentran la temperatura, el pH y los nutrimentos.

#### 2.4.2.1 Temperatura

La temperatura a la que opera un reactor influye de manera importante en la actividad de la biomasa, dado que las reacciones bioquímicas son directamente afectadas por este parámetro. Los microorganismos anaerobios se dividen, de acuerdo con su temperatura, en tres categorías: **psicrófilos** (inferior a 20 °C), **mesófilos** (20 a 40 °C) y **termófilos** (45 a 65 °C). Las bacterias metanógenas mesófilas, tienen una temperatura óptima de 37 °C, con límites entre 30 y 40 °C. Sin embargo, estas bacterias pueden adaptarse para operar fuera de ese intervalo, aunque con eficiencias menores. Los microorganismos presentes, así como las características del proceso difieren en cada intervalo de temperatura (Tabla 2.3).

Se sabe que las bacterias metanógenas pueden permanecer activas a temperaturas de 8 y 10 °C, pero la actividad de la biomasa y la eficiencia del tratamiento anaerobio, disminuyen un 10-20 % de los valores obtenidos a 35 °C (Stroach *et al.*, 1987).

Los cambios de temperatura en el intervalo mesófilo pueden tolerarse, pero cuando la temperatura desciende, la carga de un digestor anaerobio debe disminuirse de acuerdo con el descenso de la actividad esperada. No es aconsejable incrementar la temperatura de reactores mesofílicos por encima de 40 °C, ya que a temperaturas más altas ocurre un rápido deterioro de las bacterias. Los procesos anaerobios, generalmente, se operan en el intervalo mesófilo de 25 a 40 °C.

Tabla 2.3 Características del proceso de digestión anaerobia, de acuerdo al intervalo de temperatura en que se efectúa la metanogénesis (Moreno et al., 1993).

Mesofílica (20 a 40 °C)	Termófila (45 a 65 °C)
Menos vapor de agua en el gas	Mayor actividad
Mayor población metanógena	Menor TRH (Tiempo de Retención Hidráulico)
Menos CO <sub>2</sub> en el gas	Menor formación de lodo
Balance energético más favorable	Destrucción de microorganismos patógenos
Mayor experiencia en su aplicación	Equilibrio microbiano frágil
	Mayor actividad metanógena de la biomasa

En el caso de aguas residuales con temperaturas elevadas, la operación termófila a 50 y 60 °C, puede ser adecuada ya que en este intervalo se logran altas velocidades de reacción, pero es poco común por la dificultad de mantener estas temperaturas y por la fragilidad de la población anaerobia que se desarrolla bajo estas condiciones. La temperatura óptima de procesos anaerobios termófilos es de 55 °C con una actividad de la biomasa en un 25 a 50 % mayor que la obtenida en condiciones mesófilas.

Un problema con los procesos termófilos es el bajo rendimiento másico (50 % del rendimiento a 35 °C), que trae como consecuencia arranques y adaptaciones lentos a variaciones de carga orgánica, cambios de sustratos o sustancias tóxicas. Además, las células bacterianas tienen condiciones de crecimiento exponencial. Existen pocas especies capaces de crecer a altas temperaturas.

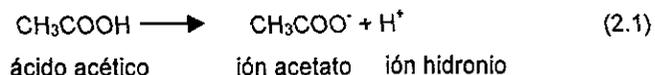
Por otra parte, las bacterias termófilas producen altos niveles de AGV's residuales que llegan a ser del orden de 1000 mg/L en lugar de los 300 mg/L encontrados en condiciones mesófilas.

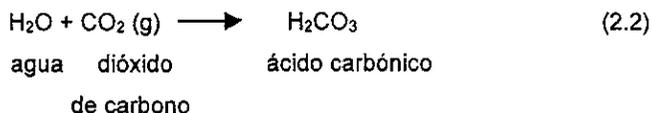
En el caso de la metanogénesis termófila, la respuesta a cambios de temperatura súbitos es el paro temporal de la actividad, lo cual frena el proceso si la carga inicial es alta; pero si el cambio de temperatura es gradual, la actividad no se detiene totalmente. Esto trae como consecuencia, una disminución de la estabilidad ecológica en un proceso termófilo, y lo hace inadecuado como tratamiento en aquellos casos en donde existen cambios continuos de temperatura.

#### 2.4.2.2 pH y alcalinidad

De forma similar a la temperatura, el pH en los reactores anaerobios, tiene gran influencia sobre la actividad de los microorganismos. El pH óptimo para la actividad de los diferentes grupos involucrados en la digestión anaerobia, depende del grupo al que pertenecen; sin embargo, se sabe que el intervalo en el que todas las bacterias pueden interactuar es alrededor de la neutralidad (6.2 a 7.8) con preferencia entre 7.0 y 7.2 (Mc Carty, 1964).

En el caso de las bacterias acidogénicas el pH óptimo esta entre 5 y 6.5 y, para las metanógenas debe estar por arriba de 6.5. Por tanto, el pH de un reactor debe mantenerse en un intervalo de 6.5 a 7.5. Si éste parámetro, se mantiene en el intervalo señalado, se considera que existe una actividad bioquímica balanceada. La influencia del pH sobre la producción de metano, se relaciona principalmente con la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV's) provenientes de la fase acidógena. Si el proceso de la digestión anaerobia no se controla, la producción biológica de los AGV's y del CO<sub>2</sub> tiende a incrementar la acidez en el reactor con la consecuente reducción del pH (ecuaciones 2.1 y 2.2).





La regulación de pH en un reactor anaerobio, se lleva a cabo mediante un sistema ácido-base, que es el resultado de las reacciones que ocurren durante los procesos de degradación con la consecuente generación de alcalinidad. La alcalinidad, es la capacidad amortiguadora de un sistema para mantener un determinado pH, por lo que, para mantener un nivel óptimo de pH es necesario tener una buena capacidad amortiguadora. Esta alcalinidad amortigua los cambios bruscos del pH mediante los sistemas ácido-base, carbónico, ortofosfórico y del amonio ( $\text{NH}_4$ ).

Otro punto de gran importancia, es la influencia del pH sobre la forma y proporción en que se presentan algunos compuestos que son tóxicos para el proceso de la digestión anaerobia como el amoníaco, el  $\text{H}_2\text{S}$  y los AGV's. En aguas residuales que no contienen suficiente alcalinidad, el pH del reactor puede controlarse mediante la medición de materiales alcalinos por medio de un sistema de control automático y monitoreo. Sin embargo, bajo circunstancias específicas se ha logrado tratar aguas residuales ácidas, sin la adición de algún agente químico neutralizante, como es el caso de las vinazas provenientes de la fermentación del alcohol.

Otra forma de adicionar alcalinidad al sistema, se logra mediante la recirculación del efluente neutralizado por el propio sistema, para alcalinizar el afluente. Es importante señalar, el cuidado que se debe tener con el uso de agentes químicos en reactores anaerobios. Por ejemplo, la cal es uno de los álcalis más baratos, pero su precipitación como carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) causa, serios problemas de acumulación de sólidos no deseables. Además, grandes cantidades de un catión simple como  $\text{Na}^+$ , que se agregan para el control de pH, pueden llegar a ser potencialmente tóxicas. En estos casos, es preferible utilizar mezclas de neutralizantes, tales como hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y hidróxido de potasio ( $\text{KOH}$ ) para el control de pH.

### 2.4.2.3 Nutrimientos

La digestión anaerobia por ser un proceso biológico requiere además de la fuente de carbono, nutrientes inorgánicos esenciales para el desarrollo de las bacterias y la síntesis de nueva biomasa, así como para incrementar la actividad específica de utilización del sustrato. Los nutrientes esenciales son el nitrógeno y el fósforo, (también conocidos como macronutrientes).

El requerimiento de nitrógeno para el proceso anaerobio es sólo una pequeña fracción (0.2 a 0.5) de lo requerido en procesos aerobios. Esto se debe a la baja tasa de crecimiento (síntesis celular) de las bacterias anaerobias. La necesidad de fósforo es aproximadamente 15 % con respecto al nitrógeno.

Sin embargo, algunos estudios han comprobado que el requerimiento de nitrógeno depende del volumen de biomasa y la cantidad de carbono; para obtener 60 m<sup>3</sup> de metano se requiere de 1 kg de nitrógeno (Speece & McCarty, 1964). Para una buena operación de la digestión anaerobia se necesita mantener la relación C (Carbono):N (Nitrógeno) en 75:1. La cantidad de nitrógeno y fósforo necesario para el crecimiento anaerobio, se puede estimar por medio de la fórmula empírica de las bacterias, C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>N, donde los constituyentes nitrogenados representan el 18 % de la masa celular en peso seco.

Si se asume que el 10 % de la DQO es biodegradable es convertida a nuevas células (el rendimiento de crecimiento celular es de 0.1 kg SSV/kg DQO removida), se puede entonces, calcular los requerimientos de nitrógeno y fósforo. Por convención, la cantidad de N y P (Fósforo) necesaria para el crecimiento son, expresados como proporciones de DQO, con la cantidad de Nitrógeno normalizada a 7. Así, los nutrientes requeridos pueden ser descritos por la relación DQO: N :P.

Si la adición de nutrientes es necesaria. El nitrógeno generalmente, se agrega como urea, amonio acuoso o cloruro de amonio. Una concentración de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ión amonio) alrededor de 10 a 50 mg/L en el efluente del reactor indica que la concentración de

nitrógeno no es limitante. El fósforo puede adicionarse como ácido fosfórico o como alguna sal fosfatada.

El rendimiento del crecimiento de las bacterias anaerobias, puede variar de acuerdo con las condiciones de operación del proceso. En algunos casos, se ha detectado que los requerimientos de nitrógeno de algunas aguas residuales, pueden ser hasta del 100 %.

#### 2.2.2.4 Nutrimientos traza

Además de la adición de nitrógeno y fósforo, se han identificado otros elementos necesarios para la actividad de las bacterias metanógenas, denominados micronutrimientos o nutrimentos traza, que se requieren en concentraciones de mg/L. La Tabla 2.4 muestra la composición de las bacterias metanógenas.

El hierro, cobalto y níquel se consideran micronutrimientos obligatorios y se requieren en concentraciones de 0.5-1.0, 0.1-0.2 y 0.2-0.4 mg/L respectivamente. El níquel es esencial para las bacterias metanógenas debido a que es constituyente del citocromo de la coenzima  $F_{430}$ . El Fe en concentraciones de 0.3 a 0.9 mM, es importante para la conversión de ácido acético a metano, mientras que el cobalto, es necesario en la formación de Metilcobalamina (coenzima que activa la producción de  $CH_4$ ).

El tungsteno y el selenio también se reportan como elementos traza requeridos pero no son estrictamente indispensables (Speece, 1983). El molibdeno se ha identificado como inhibidor de la actividad de las bacterias sulfatoreductoras a bajas concentraciones. Una concentración de 420 mM estimula la conversión de ácido acético a metano y, además activa a las enzimas involucradas en la degradación de materia orgánica.

Otro elemento esencial para el desarrollo microbiano, es el azufre. Los sulfuros son la mayor fuente de este elemento, la cual juega un doble papel: a bajas concentraciones

estimula la actividad metanogena y, a elevadas concentraciones (100 a 150 mg/L) la inhibe.

La concentración óptima de sulfuro de hidrógeno no ionizado, reportado en la literatura para el crecimiento metanogeno, varía de 1 a 25 mg/L (Speece, 1983). Además los sulfuros pueden causar la precipitación del hierro, cobalto y níquel. Generalmente, estos elementos están presentes en cantidad suficiente en las aguas residuales. Sin embargo, es aconsejable analizar en el afluente del reactor los niveles residuales de estos elementos en forma soluble.

Tabla 2.4 Composición elemental de las bacterias metanógenas (Moreno, et al., 1993)

Elemento	Concentración (mg/ Kg células secas)
N	65000
P	15000
S	10000
Ca	4000
K	10000
Mg	3000
Fe	1800
Ni	100
Co	75
Mo	60
Zn	60
Mn	20
Cu	10

Van Der Berg y Lentz, (1970) reportan que cuando se tratan aguas residuales de industrias alimentarias con alta carga orgánica se requiere adicionar frecuentemente nutrimentos para incrementar la digestión anaerobia, por lo que la adición de 1.5 Kg de levadura/m<sup>3</sup> aumenta la degradación anaerobia en el reactor, ya que al contener una alta fracción de minerales tiene un efecto estimulante. La Tabla 2.5 representa la

concentración de algunos metales nutrientes en función de la DQO del agua residual.

Tabla 2.5 Metales nutrientes requeridos por la biomasa anaerobia en función de la concentración de DQO en el agua (Van Der Berg & Lentz, 1970)

Elementos	Concentración del metal en mg/L	
	10 g DQO/L	50 g DQO/L
Fe	0.5-20	3-100
Ni	0.05-3	0.3-15
Co	0.05-2	0.3-10
Mo	0.01-0.05	0.05-0.2

Por último, debe considerarse que el efecto de algunos cationes sobre los microorganismos, que depende en gran medida, de la concentración y la forma en que se encuentren en el reactor. Una mezcla de estos cationes puede ocasionar efectos más complejos, dado que interactúan de forma antagónica disminuyendo la toxicidad, o bien sinérgica, aumentándola.

### 2.4.3 Inhibición de la digestión anaerobia

La presencia de sustancias tóxicas en los sistemas anaerobios, provocan la inhibición de la actividad de las bacterias metanógenas, y de otros microorganismos involucrados en el proceso de digestión anaerobia. Sin embargo, los tóxicos presentes en el agua residual con frecuencia están en concentraciones bajas, por que el efecto ejercido sobre los organismos metanógenos es bacteriostático reversible. Los compuestos tóxicos se pueden agrupar en tres categorías:

1. Aquellos cuya toxicidad está relacionada con el pH, por ejemplo los ácidos grasos volátiles, amoníaco y ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ).

2. Compuestos con una toxicidad inmediata y/o irreversible, como el tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ), cloruro de etileno ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) y cloruro de metilo ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) en cuyo caso se habla de un efecto bactericida.

3. Sustancias que con un pequeño aumento de su concentración se vuelven tóxicos; como los iones metálicos.

Todos los compuestos anteriores, se consideran los factores más comunes que llevan a la inestabilidad al proceso de digestión anaerobia.

#### 2.4.3.1 Inhibición por ácidos grasos volátiles (AGV's)

El proceso de digestión anaerobia en su fase acidógena involucra la producción de AGV's, los cuales al ser degradados por las bacterias OHPA generan el sustrato (ácido acético) necesario para la producción de metano, mediante la acción de las bacterias metanógenas. Sin embargo, un incremento sustancial de los AGV's puede llevar a una reducción del pH, hasta valores en los cuales la actividad metanógena es seriamente inhibida y la producción de biogás puede cesar por completo. Por lo tanto, el incremento de la concentración de AGV's en un reactor anaerobio, indica un desequilibrio entre las poblaciones microbianas.

Esta falta de equilibrio puede deberse a un incremento súbito de la carga orgánica, que estimula la actividad de las bacterias acidógenas, las cuales no se ven afectadas dada su capacidad para tolerar valores de pH bajos, hasta de 4.5 unidades, lo que no sucede con las bacterias metanógenas. Otra causa puede ser la reducción de nutrientes o la infiltración de sustancias tóxicas en el influente que limitan la actividad metanógena.

De acuerdo con algunos autores, la disminución en la tasa de remoción de los AGV's a pH ácidos puede atribuirse a la existencia de elevadas concentraciones de AGV's

sin ionizar en el sistema. La naturaleza no ionizada de éstos, les permite penetrar la membrana celular más eficientemente que los AGV's ionizados, y una vez asimilados, disminuyen el pH intracelular afectando la actividad bacteriana.

Inaotti & Fisher, (1984) reportan a los ácidos acético y n-butírico como estimulantes de la metanogénesis; sin embargo, el n-butírico a una concentración de 10 g/L inhibe la metanogénesis. El ácido acético es el menos tóxico de los AGV's, pero se ha observado una inhibición notable del crecimiento microbiano cuando la concentración es de 35 g/L.

El ácido propiónico es un indicador del mal funcionamiento del digester y ejerce un efecto inhibitorio mayor al del ácido butírico en algunas bacterias metanógenas, ya que éstas pueden ser inhibidas cuando las concentraciones de propiónico exceden los 3 g/L.

El efecto inhibitorio de los ácidos acético, propiónico y butírico puede reducirse mediante la aclimatación de las bacterias a estos ácidos. Se ha observado que la bacteria *Methanobacterium formicicum* soporta concentraciones de ácidos acético y butírico superiores a 10 g/L, mientras que para el ácido propiónico se presentaron diferentes niveles de toxicidad a concentraciones de 1 y 5 g/L.

#### 2.4.3.2 Inhibición por sulfuros

En los reactores anaerobios los sulfatos, sulfitos y otros compuestos con azufre son reducidos a ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) por las bacterias sulfatoreductoras. Este ácido se puede encontrar dentro el reactor en diferentes formas de acuerdo al pH, la temperatura y la fuerza iónica del medio. A un pH inferior a 6, prácticamente, el total de azufre reducido se encuentra en forma de  $H_2S$  no disociado.

Parte del azufre orgánico e inorgánico es utilizado por las bacterias para la síntesis celular, parte se escapa a la fase gaseosa, hay pérdida en el efluente y una fracción queda disuelta en el agua.

La concentración de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) en solución acuosa, juega un doble papel, a bajas concentraciones fomenta la actividad metanógena y a elevadas concentraciones (150 mg/L, Speece, 1983), la inhibe. Por lo anterior, se debe tener presente que el azufre sólo actúa como nutrimento hasta una determinada concentración, 25 mg/L.

Los sulfuros se pueden encontrar en forma soluble o insoluble dependiendo de su asociación con cationes. Cuando las sales formadas son insolubles como las de algunos sulfuros metálicos, sus efectos son despreciables en la digestión anaerobia. La adición de hierro, por ejemplo, puede reducir la inhibición de sulfuros mediante la remoción del azufre (S) como sulfuro ferroso ( $FeS$ ).

Las bacterias sulfatoreductoras producen sulfuro de hidrógeno. Son consumidoras de acetato, por lo que compiten por el acético con las bacterias metanógenas; ambas son inhibidas a pH inferior a 6 (Widdel, 1988). La cantidad de sulfatos presentes en el agua residual es de suma importancia en la elección del tratamiento anaerobio; éste se propone para residuos industriales con alto contenido de sulfatos, debido a la formación de sulfuros no ionizados en el reactor.

Koster et al., (1986) reportan que una concentración de 250 mg  $H_2S/L$ , en un intervalo de pH entre 6.4 y 7.2, inhibe en un 50 % la actividad metanógena de lodo granular disminuyendo la formación de gas, por tanto la pérdida de la producción de gas es lineal a la concentración de sulfuros. Los mismos autores atribuyen esta resistencia, a la formación de gradientes de pH entre el medio y el inferior del grano anaerobio. Se ha observado que a pH de 7.0 la fracción no ionizada es muy grande, por lo tanto cuando no hay una buena producción de biogás, el  $H_2S$  puede escapar de la solución. Para evitar problemas con los sulfuros, se ha establecido que la relación  $DQO/SO_4$  en el afluente a tratar sea de 7:10 (Lettinga, 1980).

Para la digestión anaerobia se han reportado como concentraciones límites de sulfuro disuelto en el influente de 200 a 300 mg  $H_2S/L$ , mientras que la concentración de  $H_2S$  en el gas de salida no debe sobrepasar el 6 %.

#### 2.4.3.3 Inhibición por nitrógeno amoniacal

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es un compuesto muy común en aguas residuales de origen doméstico, ya que proviene de la degradación de proteínas y aminoácidos y su concentración puede alcanzar hasta 7.0 g/L. Aunque el amonio es un amortiguador importante en la digestión anaerobia, concentraciones elevadas de éste pueden inhibir el proceso. La constante de disociación del sistema es  $1.85 \times 10^{-5}$  molar a 35 °C.

Una de las limitantes para evaluar la concentración del nitrógeno amoniacal, es que el ión amonio, generalmente, se cuantifica como  $\text{N-NH}_3$  (nitrógeno como amoníaco), por lo que no es posible distinguir entre uno y otro; además de no precisar las concentraciones que provocan la inhibición completa. Los efectos inhibitorios del amoníaco hasta ahora conocidos, influyen solamente en la fase metanógena, aunque otras reacciones secuenciales como aquellas donde intervienen las bacterias OHPA podrían directa o indirectamente verse afectadas. Esta inhibición, se manifiesta con la reducción en la producción de biogás y un incremento en los AGV's.

La adaptación de las bacterias metanógenas a elevadas concentraciones de amoníaco, permite mantener el equilibrio bajo choques transitorios de nitrógeno amoniacal, en caso contrario se generaría un incremento rápido de AGV's, con la consecuente incapacidad amortiguadora para compensar una caída de pH. Se sabe que una concentración de nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ) de 1500 a 3000 mg/L, causa la inhibición de las bacterias metanógenas a pH alcalino. Sin embargo, no existen límites que definan el grado de toxicidad causado por el nitrógeno amoniacal. Con datos experimentales de una planta piloto y bibliográficos se ha observado que:

1. La estabilidad operacional no se afecta en forma importante, por concentraciones de amonio y nitrógeno que excedan los niveles del umbral.

2. La adaptación del sistema a concentraciones muy elevadas de amoníaco libre, no es estimada ya que se considera que existe un mecanismo de antagonismo entre el catión y el ión amonio.

3. Las condiciones de equilibrio mejoran la operación del digestor al adaptar inicialmente los lodos a elevadas concentraciones de amonio.

La inhibición de las bacterias metanógenas a concentraciones de 24000 mg/L de amonio con tiempo de exposición de 1 hora, 1 día y 4 días, es altamente reversible debido a que se obtiene una rápida recuperación y altas remociones de amonio del sistema. Por lo general, se acepta que los altos niveles de amoníaco no ionizado en condiciones de anaerobiosis, son más inhibitoras para la digestión que el mismo ión amonio.

Las bacterias *Methanobacterium formicicum*, fueron inhibidas parcialmente en presencia de una concentración total de amoníaco de 3000 mg/L y pH de 7.1; con alguna pérdida en el crecimiento y en la capacidad de formación de CH<sub>4</sub>. Mientras que a 4000 mg/L, los microorganismos fueron completamente inhibidos. En el caso de bacterias anaerobias no metanógenas, se ha detectado una eficiente actividad a concentraciones que exceden los 6000 mg/L y a un valor de pH de 8.0. Así, aunque el amoníaco es inhibitorio para las bacterias metanogénicas de la digestión anaerobia, los efectos son reversibles y pueden ser evitados, en cierta medida, por una adaptación de las bacterias.

#### 2.4.3.4 Metales pesados

Los metales pesados se reportan como los causantes más comunes de inhibición en los digestores de lodos, debido a su carácter tóxico, aun en forma de sales metálicas en pequeñas concentraciones. Las sales tóxicas son: de cobre, zinc, níquel, plomo, aluminio, cromo -hexavalente e hierro. Los efectos principales que producen los metales pesados sobre la digestión anaerobia son: un incremento en la cantidad de ácidos grasos volátiles y por consiguiente la disminución de la producción de gas.

Esto se debe a que las bacterias metanógenas sufren alteraciones metabólicas, originadas por la presencia de sustancias tóxicas.

En condiciones anaerobias, los metales se encuentran en diferentes formas (Gould y Gentelli, 1975):

- Solubles. Son aquellos metales que pueden existir en formas iónicas simples o compuestos orgánicos e inorgánicos solubles.
- Adsorbidos. En forma de asociaciones químicas, como uniones covalentes entre iones y partículas.
- Precipitados. Como sustancias insolubles formadas en solución, resultado de una reacción química, como hidróxidos, carbonatos, fosfatos y sulfuros.
- Asociados a compuestos orgánicos. Son aquellos metales que están unidos a la materia orgánica insoluble, como componentes de células vivas ó formando complejos con productos metabólicos.

Los metales pesados en forma iónica provocan los mayores problemas de inhibición al proceso. Los efectos que se presentan comúnmente a, nivel metabólico, y son:

- a. Alteración en las funciones de la célula, porque disminuyen el potencial energético de la cadena de electrones.
- b. Destrucción del metabolismo enzimático, incluso a la alcohol deshidrogenasa.
- c. Inactivación de las enzimas, ya que los metales pesados reaccionan con los grupos -SH de los aminoácidos.

Los metales pesados en su forma iónica pueden tolerarse en los digestores, si existe una concentración suficiente de sulfuros solubles en el sistema, con los cuales formen sustancias insolubles que no sean tóxicas.

Algunos metales pesados pueden ser removidos de los sistemas anaerobios mediante adsorción, como en el caso de los reactores CSTR (reactor continuamente agitado). Estos reactores, toleran residuos que contienen una elevada concentración de sólidos suspendidos, los cuales proveen sitios de adsorción para la remoción de los metales.

El efecto de los metales pesados (Cr, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Hg, As, etc.) en la digestión anaerobia, depende de la forma o especies en la que los metales son introducidos al sistema. La adición de níquel como sulfato de níquel a 272 mg/L, no produce ningún efecto en la digestión; mientras que 30 mg/L como nitrato de níquel reduce en un 80 % la producción de gas. La adición de 500 mg/L de cloruro de níquel, origina una pequeña reducción en la producción de gas; pero 1000 mg/L disminuye en forma severa la producción de éste.

Por otra parte, la recuperación de un filtro anaerobio, después de los efectos tóxicos del níquel, en función de la concentración del metal y del tiempo de exposición del sistema. A tiempos menores de 1 día, concentraciones de níquel de hasta 800 mg/L, provocaron una pequeña reducción en la producción de gas, pero está cesó por completo cuando se agregaron 2400 mg/L de níquel al sistema por un período de una hora.

Estos resultados muestran una mayor tolerancia al efecto inhibitorio de los metales pesados, por los sistemas de película fija con respecto a los de biomasa suspendida, como el CSTR. Esto se debe a que los tiempos de retención hidráulicos son más cortos y aseguran menos tiempo de exposición al inhibidor. En el caso de los reactores de lecho expandido y fluidizado, la recirculación diluye el afluente, con lo que se disminuye el efecto inhibitor sobre las bacterias anaerobias. El cobre (Cu) también inhibe a la digestión anaerobia, cuando está presente como sulfato de cobre a concentraciones de 200 y 300 mg/L; sin embargo, cuando está presente como hidróxido de cobre, con 520 mg/L los efectos fueron despreciables.

El cromo (Cr) se distingue porque algunas de sus sales, principalmente las de sulfatos, son solubles. Una concentración de 100 mg/L en estado trivalente [Cr (III)],

produjo una reducción del 80 % en la producción de gas, pero el mismo metal Cromo (IV), a 430 mg/L, causó sólo muy pequeñas reducciones en la evolución de gas.

La razón de los efectos variables de los metales pesados y de sus sales en la operación de los digestores anaerobios, no es claro. Una explicación es, que la concentración de agentes- precipitantes como los sulfuros y los carbonatos varía de sistema a sistema, lo cual, altera las cantidades de metales. Se ha observado que una dosificación continua de metales pesados, puede inducir a la adaptación y al incremento de la tolerancia entre las especies microbianas presentes. La toxicidad debida a cationes monovalente ( $K^+$ ,  $Na^+$ ) puede reducirse por cationes divalentes ( $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ).

#### 2.4.3.5 Compuestos de toxicidad inmediata

Los compuestos clorados son frecuentemente tóxicos para las bacterias metanógenas, aun a concentraciones menores o iguales a 1 mg/L. Aquellos que contienen una estructura similar a la del metano ( $CH_4$ ), como el tetracloruro de carbono ( $CCl_4$ ), el tetracloruro de etileno ( $CH_2Cl_2$ ) y el cloruro de metilo ( $CH_3Cl$ ), son los más tóxicos. Una buena producción de gas puede eliminarlos del sistema. Sin embargo, concentraciones en exceso de estos compuestos requieren de varios días para la recuperación de la actividad metanógena.

El cianuro ( $CN^-$ ), al igual que el cloroformo ( $CHCl_3$ ), es muy tóxico para las bacterias metanógenas, pero su toxicidad es menor para los otros organismos anaerobios. Cuando la concentración de éste compuesto no es muy alta, puede ocurrir una adaptación de las bacterias, pero esta adaptación puede perderse si se suspende el contacto del lodo con el cianuro.

El formaldehído es un compuesto orgánico que produce la desnaturalización de las proteínas. Altas concentraciones de este compuesto pueden provocar fallas en un reactor anaerobio. En este caso, la única solución es remover el formaldehído del

agua residual o tratar el agua por un sistema aerobio. Algunas veces es posible transformarlo en azúcar o una mezcla de formato y metanol, mediante el incremento del pH y de la temperatura.

Otro compuesto bastante tóxico para los microorganismos anaerobios obligados, como los productores de metano, es el oxígeno. Su acción tóxica, puede llegar a cambiar las condiciones de funcionamiento de un sistema anaerobio y producir graves problemas, como la disminución de la actividad metanógena del lodo y una reducción del crecimiento de la biomasa. Sin embargo, las bacterias facultativas presentes en el reactor ayudan a eliminarlo del medio, lo cual reduce el riesgo de toxicidad (Espinosa, 1998).

### 3. CASO ESTUDIO: CONGELADORA ATLÁNTIDA DEL SUR

#### 3.1 Proceso de producción de la empresa Atlántida del Sur

Debido a que la Congeladora Atlántida del Sur, S.A. de C.V., es la empresa en el cual, se realiza el estudio para la implantación de un sistema de tratamiento biológico anaerobio (EGSB), para el manejo de los residuos generados durante su actividad productiva, nos enfocaremos a estudiar su proceso de producción, para determinar los parámetros que serán tomados en cuenta para el mismo.

La empresa Atlántida del Sur, S.A. de C.V., inicia sus actividades productivas a partir de la década de los 70's, período durante el cual no contaba con la infraestructura necesaria para efectuar todas sus actividades. Sin embargo, su desarrollo ha sido trascendental, debido a que, actualmente la empresa se preocupa en su optimización, y entra al concepto de calidad que significa "mejora continua", adquiriendo equipo moderno, para satisfacer su demanda.

El proceso de producción inicia con la captura de especies marinas, ésta puede ser de forma manual, con redes, o mecánica, utilizando el dragado con barcos. Para el traslado de especies capturadas a la planta congeladora, en primer lugar, se enhiela y/o se introducen a cámaras de refrigeración. Esto es, con el propósito, de disminuir la actividad microbiana, puesto que los mariscos y pescados son productos muy perecederos; además, de tener en cuenta la higiene durante la captura.

En la recepción, al llegar los productos, se pesan los vehículos, realizando un registro de datos por cada uno de éstos (hora, número de productos, origen y nombre del (introducido), se mide la temperatura en diferentes partes del vehículo, verificando condiciones sépticas del mismo. El producto es descargado de los camiones y son

colocados en charolas limpias y desinfectadas para pasar a la cámara de lavado, la cual se realiza con agua a baja temperatura, posteriormente se colocan en contenedores con hielo para su traslado a la sala de proceso, identificados por su número de lote y cantidad.

En el área de proceso se deben de guardar estrictas medidas de higiene, porque ahí realiza la limpieza de los productos (eliminación de escamas y vísceras), así como de efectuar los cortes necesarios para su presentación comercial.

Todas las actividades realizadas, durante el proceso, deberán efectuarse con extrema higiene (ducha antes de comenzar labores, utilizar uniforme completo, cubreboca, cofia, botas, entre otras). Una vez, concluido el proceso de preparación, el producto se envía a cámaras de refrigeración, almacenados a  $-20^{\circ}\text{C}$ , para su posterior empaqueo y almacenaje. (Figura 3.1).

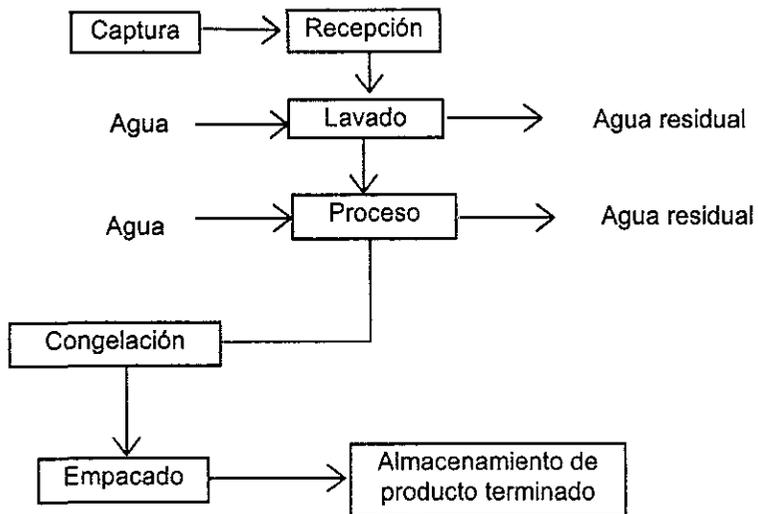


Figura 3.1. Proceso de producción Atlántida, S.A. de C.V. (Navarrete, 1999).

### 3.2 Uso y requerimientos de agua

El agua de abastecimiento de la red municipal que recibe la empresa, Atlántida del Sur, S.A. de C.V. la emplea para el lavado y procesamiento de especies marinas, además de ser utilizada para los servicios sanitarios, comedor y sanitización del equipo de producción (camiones, equipo, etc). Debe de tener baja dureza y libre de microorganismos lo cual, se realiza, mediante resinas de intercambio iónico y desinfección con cloro, respectivamente.

El volumen de agua suministrada a la empresa es de 58.30 m<sup>3</sup>/día de los cuales el 83.28% se emplean para el proceso y el resto en servicios sanitarios, durante la época de baja producción. Sin embargo, cuando existe alta producción, el consumo de agua se incrementa a unos 69 a 70 m<sup>3</sup>/día; dado que la limpieza de 1 kg de producto requiere de 15 a 20 litros de agua. El efluente que se descarga del proceso global tiene como destino final a la planta de tratamiento de aguas.

### 3.3 Características de los efluentes

Las aguas residuales que se generan durante el proceso de producción contienen material utilizable, como pedazos de carne, vísceras, piel, escamas, sangre, entre otros. Las que presenta el agua se muestran en la tabla 3.1, observándose que no cumplen la normatividad vigente, tanto en la entrada como en la salida, de la planta de tratamiento.

Tabla 3.1. Caracterización de las descargas de agua residual de la empresa Atlántida del Sur (Universidad Autónoma de Yucatán, 1996)

Parámetros	Influente	Efluente
Temperatura (°C)	23	23
pH	7.19	7.32
Sólidos sedimentables (mg/L)	0.3	20
Grasas y aceites (mg/L)	24.25	17.17
DQO (mg/L)	563.38	704.22
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	364.07	305.65
SAAM (mg/L)	0.85	0.85
Materia flotante	0	0
Fosfatos (mg/L)	2.23	2.23
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	176	408
Coliformes totales (NMP/100mL)	43X10 <sup>6</sup>	24X10 <sup>7</sup>

La normatividad que se aplica a la industria pesquera es la NOM-001-ECOL, 1996 (Tabla 3.2), en donde se especifican los límites permisibles y el tipo de cuerpo receptor al que se destinan las aguas residuales. En caso que nos ocupa se encuentra localizado en Mérida, Yucatán; por lo cual debe de cumplir con las condiciones particulares de descarga para un cuerpo receptor tipo C.

Tabla 3.2 LIMITES PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS.

PARAMETROS (Miligramos por litro, excepto cuando se especifica)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Producción de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Embarcación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			HUMEDALES NATURALES (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	N.A.	40	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Pelante (3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos Suspensivos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	N.A.	75	125	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	N.A.	75	150	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Ponderado (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.P.D = Promedio Diario. P.M. = Promedio Mensual. N.A. = No es aplicable. (A), (B) y (C). Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

## 4. Escalamiento del reactor EGSB

### 4.1 Introducción al escalamiento de procesos biotecnológicos

El escalamiento es una metodología en la que, a partir de un sistema experimental de prueba, se diseña otro a gran escala. No se puede crear un sistema a gran escala como tal, ya que su comportamiento no puede ser predecido, sobre todo en los procesos biológicos (Braver, 1985). Para el diseño de un biorreactor se deben de considerar los siguientes fenómenos:

- |                             |   |                             |
|-----------------------------|---|-----------------------------|
| 1. Fenómenos termodinámicos | } | Independientes de la escala |
| 2. Fenómenos microcinéticos |   |                             |
| 3. Fenómenos de transporte  |   | Dependiente de la escala    |

### 4.2 Descripción del reactor anaerobio EGSB (Expanded Granular Sludge Blanket)

Este tipo de reactor fue desarrollado por Vallinga et. al. (1986); este sistema es una innovación que consiste en dos o más reactores UASB, uno sobre otro. Vallinga reporta que utilizando un reactor EGSB, se obtienen cargas orgánicas de 3 a 6 veces mayores que los UASB convencionales, con una eficiencia de remoción igual. Con los reactores EGSB también se pueden tratar aguas residuales con alto contenido de lípidos más eficientemente que con los UASB (Speece, 1996). Observaciones de sus ventajas y desventajas en la tabla 4.1.

Con esta de tecnología se puede tratar agua residual que contiene compuestos tóxicos en altas concentraciones y biodegradables en bajas concentraciones o viceversa, soporta cargas orgánicas del orden de los 40 Kg/m<sup>3</sup>d. Esto se logra gracias a la expansión del lecho de lodos, ya que se incrementa el contacto con el sustrato permitiendo una mejor transferencia de masa, así mismo, con la recirculación del efluente se genera una dilución en la concentración de los componentes tóxicos evitando que éstos inhiban el proceso de degradación de la materia orgánica.

La forma de operación del reactor anaerobio EGSB es sencilla, esto es; el agua residual entra al reactor, a través de un sistema de distribución especialmente diseñado para el mismo. Posteriormente, el agua fluye a través del lecho de lodos, el cual contiene bacterias anaerobias. Esas bacterias crecen en forma de gránulos, los cuales se sedimentan muy bien (60-80 m/h). En el lecho de lodos se lleva a cabo la conversión de DQO a biogás. La altura del lecho de lodos esta en función de la altura del reactor y puede variar de 7 a 14 metros. La figura 4 muestra la estructura del reactor anaerobio EGSB.

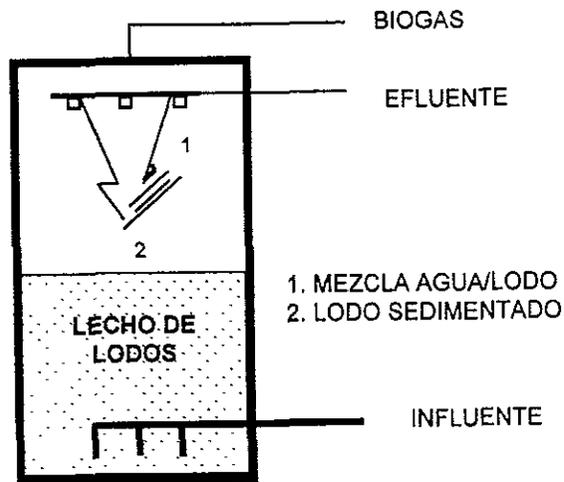


Figura 4.1. Reactor anaerobio EGSB (Zoutberg, G.R., et al., 1998)

La mezcla de lodo, biogás y agua es separada a través de un separador de tres fases (sólido-líquido-gas) situado en la parte superior del reactor. El efluente purificado deja el reactor, el biogás es colectado para su cuantificación y el lodo se sedimenta. Este separador trifásico permite operar al sistema a mayores cargas hidráulicas.

Además, el sistema es afectado por la presencia de altos niveles de sólidos suspendidos, si y sólo si, la velocidad de sedimentación de los sólidos sea menor que la velocidad superficial del líquido en el reactor, esos sólidos pasarán a través del reactor. La velocidad superficial de los líquidos en un EGSB puede ser tan alta como 10 m/h (Zoutberg, G.R., et al., 1998).

Como el reactor EGSB es completamente cerrado hay un completo control en la emisión de olores desagradables. El reactor puede ser operado bajo presión (hasta 1 bar), en cuyo caso no es necesario el uso de un compresor para el biogás. El EGSB puede ser construido de concreto, fibra de vidrio reforzada con poliéster o de acero inoxidable.

Tabla 4.1. Ventajas y desventajas del reactor EGSB (Espinosa, 1998).

Ventajas	Desventajas
<p>Se pueden aplicar elevados flujos de líquido.</p> <p>Se incrementa el contacto del lodo con el agua dentro del reactor.</p> <p>Con el efecto de la recirculación del efluente aumenta la actividad específica del lodo.</p>	<p>La recirculación del efluente cambia desde un flujo tapón hasta que ocurra la mezcla del flujo.</p> <p>Mayor consumo de energía.</p> <p>Su aplicación se limita a tratar influentes con bajo contenido de sólidos suspendidos.</p>

El reactor EGSB es un sistema biológico, los microorganismos contenidos en éste, están realizando el proceso anaerobio para degradar la materia orgánica, el cual es un proceso fisiológico y, a causa de las diferentes condiciones del agua residual (contenido de nutrientes, temperatura, pH, alcalinidad, entre otros) no se sabe como se comportarán durante dicho proceso.

Para probar el comportamiento del sistema anaerobio, se observó la degradación de la materia orgánica en un reactor EGSB de 2.3 m<sup>3</sup> inoculado con lodo granular anaerobio procedente de un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), reactor aerobio de lecho de lodos ascendente, y alimentado con el agua residual procedente de la empresa pesquera Atlántida del Sur, ubicada en Mérida, Yucatán, para que, a partir de los datos experimentales se planteara la posibilidad de aplicarlo a, nivel industrial (Navarrete, 1999).

Las condiciones de operación del sistema estuvieron en función de la evolución que reflejara el reactor EGSB. Estas variaron en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) iniciando con 1.5 días y terminando en 0.75 días (36 a 18 horas respectivamente). De las condiciones mencionadas anteriormente, se observó la mejor eficiencia de remoción de DQO a un TRH de 1.0 día, con período de operación de 24 días. Los resultados se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados promedio del sistema de tratamiento a nivel piloto a 24 días de operación (Navarrete, 1999)

Parámetro	Efluente EGSB
Temperatura (°C)	26.1
pH	7.9
Relación de alcalinidades $\alpha$	0.17
DQO <sub>T</sub> (mg/L)	428
DQO <sub>S</sub> (mg/L)	319
Ef. rem DQO <sub>T</sub> en %	72.32
Ef. rem DQO <sub>S</sub> en %	62.73
TRH (días)	1.01
Caudal (m <sup>3</sup> /d)	2.29
Carga Orgánica (kg/m <sup>3</sup> d)	1.53
Producción de biogás (L/d)	153.3
Contenido de CH <sub>4</sub> (%)	60

Para realizar el escalamiento del reactor EGSB se tomaron los datos, como se mencionó anteriormente, en los cuales se observó la mejor eficiencia en la remoción de DQO.

#### 4.3 Dimensionamiento del reactor EGSB (Maciel, 1997).

Condiciones de operación:

TRH = 1.0 día

Carga Orgánica (CO) = 1.53 kg/m<sup>3</sup>d

DQOINFLUENTE = 1.546 kg/m<sup>3</sup>

Eficiencia de remoción = 72.32 %

DQOREMOVIDA = 1.118 kg/m<sup>3</sup>

DQOEFLUENTE = 0.246 kg/m<sup>3</sup>d

Flujo de diseño (Q<sub>D</sub>) = 60 m<sup>3</sup>

#### 4.3.1 Volumen del reactor EGSB

$$v = \frac{DQOINFLUENTE \times Q_D}{CO}$$

$$v = \frac{1.546 \text{ kg/m}^3 \times 60 \text{ m}^3/\text{d}}{1.53 \text{ kg/m}^3\text{d}} = 60.63 \text{ m}^3$$

Considerando un factor de seguridad del 20 % más: 72.76m<sup>3</sup>. Por razones de manejo en las dimensiones del reactor se fijará en 80 m<sup>3</sup>. Con una altura fija de 6.0 metros.

#### 4.3.2 Producción de metano

$$\text{Litros de CH}_4 = L \text{ CH}_4/\text{d} \times \text{TRH} \times \% \text{ CH}_4$$

$$\text{Litros de CH}_4 = 153.3 \text{ L CH}_4/\text{d} \times 1.0/\text{d} \times 0.60 = 91.98 \text{ L CH}_4$$

$$L \text{ CH}_4 / DQO \text{ REM} = L \text{ CH}_4 / DQO \text{ REM} \times Q_D$$

$$\text{L CH}_4 / \text{DQO REM} = 91.98 \text{ L CH}_4 / 1.12 \text{ Kg DQO REM}$$

$$\text{L CH}_4 / \text{DQO REM} = 82.12$$

#### 4.3.3 Velocidad ascendente ( $V_{ASC}$ )

El volumen del reactor EGSB es de  $80 \text{ m}^3$ , teniendo una altura de  $6.0 \text{ m}$ , por lo tanto, se tiene un área de  $13.33 \text{ m}^2$ . La velocidad ascendente del reactor será la siguiente:

$$V_{ASC} = \frac{Q_{DISEÑO}}{\text{AREA DEL REACTOR}}$$

$$V_{ASC} = \frac{60 \text{ m}^3/\text{d}}{13.33 \text{ m}^2} (1\text{d}/24\text{h}) = 0.19 \text{ m/h}$$

En resumen, los datos finales del escalamiento del reactor piloto EGSB son los siguientes:

Volumen del reactor EGSB =  $80 \text{ m}^3$

Producción teórica de Metano (en litros) por DQO removida =  $82.12$

$V_{ASC} = 0.19 \text{ m/h}$

#### 4.4 Análisis de costos

Para obtener la estimación de costos para este reactor escalado se utilizó el método de la regla del factor de las seis décimas (six-tenths-factor rule), el cual se empleó ya que no se tenían datos de costo disponibles para el tamaño y capacidad requeridos. Con dicha regla se pueden obtener buenos resultados. (Peters & Timmerhaus, 1991).

$$\frac{C2}{C1} = \left[ \frac{S2}{S1} \right]^{0.6} \quad (1)$$

Donde:

S1= capacidad del equipo1

S2= capacidad del equipo 2

C1= es el costo del equipo1

C2= es el costo del equipo 2

Se tiene un reactor EGSB con una capacidad (C1) de 130 m<sup>3</sup>/d, el cual tuvo un costo (S1) de US\$ 315,700 (RAINS, 1999) y se tiene la capacidad del equipo escalado (C2) de 80 m<sup>3</sup>/d. Despejando la ecuación (1), tenemos:

$$C2= C1 \left[ \frac{S2}{S1} \right]^{0.6}$$

Sustituyendo tenemos:

$$C_2 = \text{US\$ } 315,700 \left[ \frac{80 \text{ m}^3/\text{d}}{130 \text{ m}^3/\text{d}} \right]^{0.6}$$

$$C_2 = \text{US \$ } 235918.806$$

Por lo tanto, el costo del reactor EGSB será de **US \$ 235,918.806**

## 5. UTILIZACION DE SUBPRODUCTOS

### 5.1 Introducción al procesado de subproductos

Cuando se procesa un animal, no es convertido totalmente al producto deseado, sino que se genera una gran cantidad de residuos (excepto para los animales que se comercializan totalmente), superando incluso el 50 % del peso inicial, con una gran diversidad de características físicas y químicas.

La economía de las industrias cárnicas, exige el aprovechamiento de los subproductos para poder competir con otras fuentes proteínicas de origen vegetal, elaborando productos de bajo precio y con una calidad proteínica mayor y, de este modo haciendo más eficiente el sistema productivo. Si los subproductos no se aprovechan, además de perderse una valiosa fuente nutricional, se incurre en considerables costos adicionales en la eliminación de residuos de los efluentes industriales y, por lo tanto, involucrarse en problemas legales al descargar corrientes de agua por arriba de los límites permitidos y generando un deterioro ambiental, el cual no es deseable para la imagen de la empresa que se haya involucrado.

Además de los aspectos económicos, la industria cárnica tiene la obligación de evitar la contaminación, aprovechando al máximo la materia prima y generando mayores ingresos.

Existen varios requerimientos para que un subproducto de origen animal pueda ser utilizado:

- Que exista el proceso comercial práctico para convertir el subproducto en un artículo utilizable.
- Que exista un mercado potencial para el producto final.
- Que el producto se obtenga en cantidades suficientemente grandes en un determinado lugar para que sea económico procesarlo.

- Que exista algún procedimiento de conservación que permita el almacenamiento del subproducto antes y después de procesarlo.
- Que existan obreros altamente capacitados para trabajar en esta industria, lo que constituye un requisito crítico.

Que coincidan todos estos factores simultáneamente no es siempre fácil, por lo cual, con demasiada frecuencia, los subproductos están mal aprovechados.

En la industria pesquera, se procesan una gran variedad de especies animales, de los cuales, sólo una parte se emplea como alimento. La cantidad promedio de residuos para todos los pescados y mariscos es de alrededor del 30 %. El resto constituye un subproducto rico en proteínas que se puede transformar en diversos productos útiles.

Cuando se pescan peces y moluscos existen numerosas especies entre la captura que no se consumen como alimento humano, denominado morralla, que también puede transformarse en productos útiles (Ockerman, 1994).

## **5.2 Subproductos pesqueros**

### **5.2.1 Surimi**

El surimi es, básicamente, carne de pescado separada mecánicamente del hueso. La carne es lavada varias veces con agua fría (5-10°C) hasta extraer todas las sustancias solubles como proteínas y otras sustancias indeseables, dando lugar a una alta concentración de actomiosina. Se eliminan escamas, piel y espinas añadiéndose posteriormente el crioprotector (azúcar ó sorbitol al 4%, y el 0.2% de pirofosfato o polifostatos), lo cual, sirve para prevenir la desnaturalización de la actomiosina durante el almacenamiento y congelación.

El surimi se clasifica de acuerdo con diversos factores dependiendo de su uso final. La tabla 5.1 incluye algunos de los factores de calidad considerados o propuestos en la actualidad (Ockerman, 1994).

Tabla 5.1. Factores de calidad para el surimi (Brody, 1965).

<b>Características químicas y visuales</b>
Nivel de humedad
pH
Blancura (medida con el colorímetro de Hunter)
Impurezas (trozos oscuros de piel y espinas)
<b>Propiedades físicas</b>
Jugo exprimible (presión)
Viscosidad (en una solución de NaCl al 3.5%)
<b>Capacidad para formar geles (humedad constante)</b>
Fuerza del gel (punción)
Prueba del doblado (resquebrajamiento al doblarlo)
Firmeza (sensorial)
Masticabilidad (energía empleada en compresión repetida)
Elasticidad (fuerza necesaria para romper láminas)
Retención de agua (pendiente de la resistencia del gel frente a un contenido en humedad)
<b>Almacenamiento en congelación</b>
Ciclos de congelación-descongelación (fluido de presión)

El surimi puede emplearse en la elaboración de muchos productos y prefabricados pesqueros o cárnicos.

Por ejemplo, el surimi sirve para la elaboración de carne de cangrejo artificial, salchichas de pescado, palitos de pescado y productos fibrosos en general.

### 5.2.2 Kamaboko

El Kamaboko, es un pastel de pescado con propiedades de elasticidad, muy popular en Japón. El término genérico "kamaboko", describe una diversidad de productos. Los productos Kamaboko, varían en forma color, tamaño, sabor, y métodos de calentamiento pero todos son elaborados de pescado picado. Varios tipos de Kamaboko se elaboran de una gran variedad de especies de pescado. Los pescado descabezados y eviscerados son lavados para prevenir que, debido al contenido de dichas cavidades, el producto no se oscurezca, además de que las enzimas intestinales, pueden interferir en el desarrollo del "ashi", la textura resistente de alta calidad del Kamaboko. Posteriormente, el pescado libre del material antes mencionado es colocado en un separador de carne del hueso. La carne picada se lava con agua fría de 3-5 veces en la proporción de 4:1 o 10:1. El pH se mantiene en el rango de 6 con HCl, a este pH se forma el "ashi", pero por debajo de este valor no. Para eliminar el agua absorbida durante el lavado se utiliza NaCl al 0.01 a 0.3 %. Los lavados remueven proteínas solubles que interfieren en la formación del ashi. Para eliminar el agua en exceso se centrifuga o se pasa a través de una prensa. La carne deshidrata se pica, nuevamente, para lo cual debe enfriarse, para remover el calor producido durante la operación mecánica. Aditivos como la sal, almidón, azúcar, glutamato monosódico u otros materiales son adicionados para darle propiedades sensoriales atractivas (sabor, olor, textura, entre otros). Posteriormente, la mezcla preparada es moldeada, cocinada a parrilla, freído, al vapor, o hervido, con una temperatura al centro de 75 °C. Es refrigerado y puede ahora ser comercializado (Wheaton & Lawson, 1985).

### 5.2.3 Isinglass

El isinglass es una colágena, la cual es transformada en gelatina mediante un calentamiento con agua. Se obtiene de la vesícula biliar de especies marinas como carpa, salmón, entre otros.

Una vez extraída la vesícula, se lava y se conserva por salación. Posteriormente, son remojadas hasta que se ablandan, son cortadas y finalmente son comprimidas en pequeñas capas y secadas. El isinglass resultante es una gelatina de alta pureza (Idler & Jangaard, 1969).

El principal uso del producto, es en el proceso de clarificación de vinos y otras bebidas (sidra, cerveza y vinagre), producir adhesivos, y tinta (Brody, 1965).

#### 5.2.4 Harina

Las harinas de pescado, son un ingrediente muy popular de los piensos para animales debido a su alto nivel nutritivo. Un estudio realizado, en el Instituto de Investigaciones en Oceanografía y Marina, en Nigeria, para elaborar harina a partir de un camarón llamado "big eye", muestra que el producto posee un perfil de aminoácidos de muy alta calidad, pudiéndose observar su posible utilización para el consumo humano, (Talabi, S.O., et al. 1980).

Una de las limitaciones, para su aplicación en la alimentación tanto humana como animal, es el olor.

Las harinas de pescado, las sustancias solubles de pescado y los aceites de pescado se obtienen por cocción y posterior prensado de pescados enteros del tipo de los arenques, sardinas, bogas, tiburones y rayas, o bien los residuos y restos de las industrias de productos pesqueros enlatados, que quedan después de los procesos de fileteado y enlatado. Los restos de pescado usualmente incluyen, las cabezas, esqueletos y sustancias proteínicas adheridas. Normalmente se obtienen 3 veces más harina que aceite. El rendimiento total se sitúa en torno al 12-18 % del peso original del pescado.

Una vez extraída la vesícula, se lava y se conserva por salación. Posteriormente, son remojadas hasta que se ablandan, son cortadas y finalmente son comprimidas en pequeñas capas y secadas. El isinglass resultante es una gelatina de alta pureza (Idler & Jangaard, 1969).

El principal uso del producto, es en el proceso de clarificación de vinos y otras bebidas (sidra, cerveza y vinagre), producir adhesivos, y tinta (Brody, 1965).

#### 5.2.4 Harina

Las harinas de pescado, son un ingrediente muy popular de los piensos para animales debido a su alto nivel nutritivo. Un estudio realizado, en el Instituto de Investigaciones en Oceanografía y Marina, en Nigeria, para elaborar harina a partir de un camarón llamado "big eye", muestra que el producto muestra un perfil de aminoácidos de muy alta calidad pudiéndose observar su posible utilización para el consumo humano, (Talabi, S.O., et al. 1980).

Una de las limitaciones, para su aplicación en la alimentación tanto humana como animal, es el olor.

Las harinas de pescado, las sustancias solubles de pescado y los aceites de pescado se obtienen por cocción y posterior prensado de pescados enteros del tipo de los arenques, sardinas, bogas, tiburones y rayas, o bien los residuos y restos de las industrias de productos pesqueros enlatados, que quedan después de los procesos de fileteado y enlatado. Los restos de pescado usualmente incluyen, las cabezas, esqueletos y sustancias proteínicas adheridas. Normalmente se obtienen 3 veces más harina que aceite. El rendimiento total se sitúa en torno al 12-18 % del peso original del pescado.

La composición química de las harinas de pescado, depende de las materias primas utilizadas, (de la especie de pescado y de que se emplee el pescado entero o sus residuos) y del proceso de elaboración.

Es necesario en ocasiones, utilizar antioxidantes, particularmente cuando la materia utilizada es pescado graso.

En años recientes, se ha observado que la presencia de harina de pescado en la dieta se produce un mejor crecimiento o una mayor producción de huevos comparadas con dietas que no contienen este producto en los animales. Esta respuesta adicional se encuentra asociada a la presencia de **"factores de crecimiento desconocidos"** en la harina (Windsor & Barlow, 1981). Existe una explicación en términos de nutrición para describir el efecto cuando la harina es adicionada a la dieta, pero, hasta la fecha, no han sido definidos. Se ha observado que aunque existan niveles mínimos en la dieta el fenómeno también es observado.

En los 30's su uso como fertilizante era el más frecuente. Hoy en día se utiliza para alimentación animal (temeros, lechones, peces, visones, mascotas).

#### 5.2.5 Aceite

Como se describió anteriormente, durante la elaboración de harina, hay también producción de aceite, lo cual se realiza para extraer el material por disposiciones legales y comerciales que establecen niveles mínimos y máximos para éste.

El aceite de pescado, se usa en la elaboración de margarinas, principalmente en Europa, y para aceites de cocina. Es usado en algunos cosméticos, pinturas, y en la industria de recubrimientos y lubricantes (Zapata Haynie, 1973). Los aceites hidrogenados de pescado se utilizan como materia prima en la manufactura de ácido esteárico glicerina, jabones y velas. Una pequeña cantidad de aceite de pescado es aplicado directamente en la piel para la elaboración de calzado. El

aceite de pescado se le ha encontrado utilidad en la separación de fierro de bajo grado mediante flotación mineral. Los ácidos grasos del aceite de pescado, son usados como repelentes de agua, particularmente los de cadena larga. Las amidas derivadas, se emplean para el tratamiento de telas y como encerante para pisos y zapatos. Se utilizan en la elaboración de empaques que previene la absorción de agua (Windsor & Barlow, 1981).

#### 5.2.6 Productos hidrolizados de pescado

Los productos hidrolizados de pescado, son producidos utilizando enzimas proteolíticas (catálisis proteolíticas las cuales aceleran la ruptura de proteínas), de origen vegetal o microbiano.

No hay datos claros, sobre las especies adecuadas para elaborar el producto. Algunos de ellos, aptos para consumo humano, se han elaborado usando filetes de pescado blanco como fuente de materia prima. Las proteínas producidas por el proceso de hidrólisis, tienden a tener mejores propiedades funcionales (dispersabilidad, solubilidad en agua, y emulsificabilidad), que aquellas producidas por la harina de pescado, concentrado proteínico o los métodos de ensilado.

La elaboración consiste, en la digestión del residuo de pescado, en presencia de agua, adicionando al medio la enzima proteolítica (papaína, pancreatina o bromelaina) la cantidad depende de su actividad y la concentración de proteína en la muestra. Una parte de enzima por cada 200 de partes de proteína ha sido empleada bajo un rango de temperatura de 25-70 °C en un tiempo de 15 minutos con un ajuste en el pH si es necesario. Posteriormente, se separa el material no digerido y es pasterizada a 80 °C por 15 minutos y secado por métodos convencionales. Se ha observado que al adicionar grasa se facilita la dispersión del concentrado formando un complejo de proteína-grasa que es fácil de secar y previniendo la producción de un polvo excesivamente higroscópico.

aceite de pescado se le ha encontrado utilidad en la separación de fierro de bajo grado mediante flotación mineral. Los ácidos grasos del aceite de pescado, son usados como repelentes de agua, particularmente los de cadena larga. Las amidas derivadas, se emplean para el tratamiento de telas y como encerante para pisos y zapatos. Se utilizan en la elaboración de empaques que previene la absorción de agua (Windsor & Barlow, 1981).

#### 5.2.6 Productos hidrolizados de pescado

Los productos hidrolizados de pescado, son producidos utilizando enzimas proteolíticas (catálisis proteolíticas las cuales aceleran la ruptura de proteínas), de origen vegetal o microbiano.

No hay datos claros, sobre las especies adecuadas para elaborar el producto. Algunos de ellos, aptos para consumo humano, se han elaborado usando filetes de pescado blanco como fuente de materia prima. Las proteínas producidas por el proceso de hidrólisis, tienden a tener mejores propiedades funcionales (dispersabilidad, solubilidad en agua, y emulsificabilidad), que aquellas producidas por la harina de pescado, concentrado proteínico o los métodos de ensilado.

La elaboración consiste, en la digestión del residuo de pescado, en presencia de agua, adicionando al medio la enzima proteolítica (papaína, pancreatina o bromelina) la cantidad depende de su actividad y la concentración de proteína en la muestra. Una parte de enzima por cada 200 de partes de proteína ha sido empleada bajo un rango de temperatura de 25-70 °C en un tiempo de 15 minutos con un ajuste en el pH si es necesario. Posteriormente, se separa el material no digerido y es pasterizada a 80 °C por 15 minutos y secado por métodos convencionales. Se ha observado que al adicionar grasa se facilita la dispersión del concentrado formando un complejo de proteína-grasa que es fácil de secar y previniendo la producción de un polvo excesivamente higroscópico.

El uso que se le da, es como sustituto de leche para alimentación animal. Los inconvenientes son, que el producto presenta olor a pescado y un color ligeramente pardo. Estos problemas, pueden reducirse usando agentes enmascarantes del olor. El color es debido al contenido de fierro en el producto el cual se corrige utilizando agentes quelantes selectivos para el metal.

Debido a las características sensoriales, descritas anteriormente, el consumo en humanos es limitado.

### 5.2.7 Concentrados de proteína de pescado (FPC)

La idea de un concentrado de proteína de pescado, FPC, (del inglés fish protein concentrate) es que un material de pescado estable pueda ser producido, en el cual, la cantidad de proteína esté concentrada en mayor proporción, que en el propio pescado.

Dos principales tipos de FPC son generalmente conocidos:

Tipo "A": polvo de menor olor y sabor desagradables teniendo un máximo contenido de grasa del 0.75%.

Tipo "B": polvo teniendo límites no específicos tanto de olor como sabor pero, con un claro sabor a pescado.

#### 5.2.7.1 FPC tipo A

La elaboración del FPC tipo A consiste de tres extracciones, utilizando disolventes apolares (propanol, etanol, entre otros), para remover mayor cantidad de grasa, agua y sabores de pescado. Posteriormente el material se reduce a un tamaño de partícula a gusto del productor. Los disolventes se recuperan durante el proceso. La

extracción, tiende a afectar las propiedades funcionales del producto, como la de emulsificación y capacidad de retención de agua.

A pesar del efecto de la extracción, se han desarrollado productos en los cuales el nivel en el que son agregados no afecten sus propiedades normales. Entre los productos se incluyen pan, pasta, sopa, alimentos infantiles, cereales para desayuno, salsa de spaghetti, entre otros. Se ha comprobado efectos favorables en el crecimiento de niños, madres embarazadas o madres enfermas.

#### 5.2.7.2 FPC tipo B

Los hidrolizados pueden ser considerados FPC del tipo B. Durante su proceso no se realizan extracciones, ya que no existen restricciones para este tipo de productos.

El proceso para elaborar un FPC del tipo B, se basa en la producción de harina de pescado, pero los materiales de construcción, diseño y proyecto de la planta son reorganizados para el establecimiento de estándares de higiene y buenas prácticas de manufactura. Tiene una composición similar a la de la harina de pescado (70-75 % de proteína, 10 % de humedad, y un máximo de grasa del 10 %). Es particularmente efectivo en la suplementación para dietas basadas en cereales y vegetales. En aquellas regiones donde los productos con fuerte sabor a pescado son parte de la dieta normal.

#### 5.2.8 Residuos de la industria del enlatado

Los residuos de la industria del enlatado, (cabezas, branquias, colas, aletas, hígados, huevas, testículos, tracto digestivo y corazón), pueden emplearse directamente como alimento para visones o procesado para alimento para perros. Las cabezas pueden utilizarse como sebo para la pesca del halibut. Se han empleado

en la alimentación inicial de los cerdos en su fase de crecimiento. El aceite de la cabeza del salmón puede emplearse como ingrediente en su enlatado.

### 5.2.9 Huevas de pescado

Las huevas son generalmente consideradas como un producto especial y de esta manera tiende a poseer un valor elevado. Se le han atribuido cientos propiedades haciendo que el producto sea cada vez más comercializado. Por ejemplo, a las huevas de erizo de mar se le han dado propiedades de virilidad (Griffin, 1981).

Las huevas de pescado, tienen un sustancial valor nutrimental. Su contenido en base seca es de 45-84 % de proteína, 32 % de lípidos y 4.5 % de cenizas (Vuorela, 1971). La variedad de productos que existen incluyen productos tipo caviar y pastas de hueva. En algunas áreas, las huevas no son comercializadas en productos para consumo humano, pero son transformadas en pienso para animales.

Por ejemplo, las huevas del salmón pueden transformarse en caviar o se pueden emplear como materia prima para la obtención de colesterol, lípidos y proteínas.

### 5.2.10 Procesado del agua pegajosa de pescado

El agua pegajosa, es un subproducto de la industria del enlatado. Las cabezas, aletas, colas, vísceras y pescados enteros desechados se cuecen al vapor (0.35 kg/cm<sup>2</sup> por 15 minutos) y se prensan en un equipo de tornillo. El prensado contiene aproximadamente un 50 % de humedad y se puede desecar para obtener harina de pescado. El filtrado se conoce como agua de prensado, la cual se calienta a 88 °C y se centrifuga para eliminar el aceite (agua pegajosa). Posteriormente, se reduce el pH a 4 o 5, se evapora a 82 °C hasta conseguir una concentración de sólidos del 50 %, a los cuales se les conoce como solubles de pescado.

### 5.2.11 Piensos para animales

Los restos de pescado (cabeza, espinas, branquias, pieles e intestinos) se pueden mezclar con paja, almidón de papa u otros carbohidratos. Además de mezclarse, con otros subproductos de molinería, como el salvado y las harinas de desecho, se fermenta a temperaturas elevadas para conseguir un alimento para animales (Gillies, 1975). Debido al fuerte olor a pescado, se han desarrollado otros métodos. Por ejemplo, uno de éstos consiste, en elaborar un caldo de pescado, concentrarlo hasta un 40% de sólidos y entonces mezclarlo con las harinas y fermentarlo a 16-25°C para reducir olores. Los solubles de pescado pueden fermentarse para obtener un pienso para animales aromatizado. El pescado morralla también es utilizado en la elaboración de piensos.

### 5.2.12 Ensilado de pescado

El ensilado de pescado, al igual que el ensilado de subproductos de origen animal, se ha practicado en escala limitada durante mucho tiempo.

Existen dos métodos principales para la producción de ensilado y son el ensilado conservado con ácido y el fermentado.

El ensilado, puede emplearse como suplemento proteínico en pienso para animales y puede suministrarse en forma líquida o mezclados con carbohidratos. Si el pescado tiene un elevado contenido de grasa hay que eliminarlo ya que de otra forma el se imparte olor y sabor desagradable en el producto final.

La alternativa natural del ensilado es la harina de pescado, pero el ensilado tiene ciertas ventajas (Raa y Gildberg, 1982):

- El ensilado de pescado no se pudre cuando se almacena a temperatura elevada y se plantean menos problemas de contaminación durante su elaboración.
- El ensilado es prácticamente estéril y se destruyen las *Salmonellas*.
- La escala de producción del ensilado se puede variar sin que se afecte la economía de producción.
- Las necesidades energéticas para su obtención son muy reducidas con relación a la elaboración de harinas.

El ensilado mezclado con carbohidratos se puede desecar al sol sin que se generen problemas con las moscas.

Los inconvenientes del ensilado son:

- El ensilado es voluminoso y caro de transportar.
- Existen desventajas nutritivas del ensilado, en particular si se emplea en cantidades elevadas en los piensos.

#### 5.2.13 Aceites de hígado de pescado

El aceite de hígado de todos los pescados es rico en vitaminas A y D y se han empleado durante mucho tiempo para el tratamiento del raquitismo y de la ceguera nocturna. La fracción insaponificable de los aceites de pescado contiene las dos vitaminas A (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>) y las del complejo D (D<sub>1</sub> , D<sub>2</sub> calciferol y D<sub>3</sub> o dehidrocolesterol activado). También estos aceites contienen colesterol, lecitina,

pigmentos (astaxantina, fucoxantina, xantofila, caroteno, taraxantina, zeaxantina y clorofila), ésteres de monoglicéridos e hidrocarburos (escualeno).

Debido a las diferencias en la composición de los hígados de pescado, los procedimientos de extracción pueden variar.

#### 5.2.14 Gelatina de pescado

Para fabricar gelatina de pescado, se emplean pieles y las espinas de pescado mediante extracción alcalina. Este producto no tiene tan buenas propiedades gelificantes como las de origen terrestre. Tanto a partir de la gelatina de pescado como la de animales terrestres se puede elaborar se puede elaborar cola de alta calidad empleada en la fabricación de películas fotográficas.

#### 5 2.15 Cola de pescado

La materia prima para la elaboración de cola de pescado son las pieles y cabezas. Para la obtención de una cola de buena calidad se necesita que las cabezas utilizadas estén frescas. Las colas de menor calidad son las que son preparadas a partir de las cabezas.

La elaboración de cola se realiza, eliminando la sal de las pieles hasta un 0.1 %, después se les aplica un tratamiento alcalino (NaOH al 0.2 % y posterior neutralización con HCl al 0.2 %) e inmediato enjuague con agua. Se cuecen a vapor (se les adiciona 1.9 L de ácido acético por cada 100 L de mezcla) durante 8 horas. El residuo insoluble se puede desecar y utilizar en la elaboración de piensos.

La elaboración de cola, a partir de cabezas, se realiza incrementando la cantidad de reactivos y adicionando decolorantes.

### 5.2.16 Bloques de pescado

Los residuos obtenidos durante la preparación del pescado para su procesamiento, están constituidos por trozos de carne y morralla pueden ser utilizados para la elaboración de bloques de pescado congelado, a partir de una o más especies. Esto se realiza mediante un picado, mezclado y la adición de agentes estabilizantes para obtener un producto de muy alta calidad.

## 5.17 Productos Farmacéuticos

### 5.2.17.1 Producción de insulina

La insulina puede ser extraída de distintas especies de pescado. El bonito y el atún parecen ser los preferidos, pero el bacalao, el cola amarilla y el salmón han sido también utilizados. El páncreas de la ballena también ha sido utilizado como fuente de insulina (Tanikawa, 1971). La insulina de pescado es más estable después de la muerte del animal que la del páncreas del bovino.

La extracción consiste en, fijar químicamente, componentes de la insulina, obteniendo derivados fáciles de extraer y purificar. Para asegurar un buen rendimiento la materia prima debe estar lo más fresca posible.

### 5.2.17.2 Otros productos farmacéuticos

Hay algunos otros fármacos que podrían producirse de pescado o de sus residuos, incluyendo ácidos nucleicos, protamina, estreptogenina, glutatión, cortisona, sales

biliares, enzimas proteolíticas. Desitin™, (ungüento utilizado para las irritaciones de la piel) es elaborado a partir de aceite de pescado (Brody, 1965).

### 5.2.18 Esencia de perlas

La cuanina es una sustancia iridiscente, que se encuentra en la capa epidérmica y en las escamas de las especies de pescado que viven en las proximidades de la superficie del agua (por ej. arenque y bonito). Esta sustancia se puede aislar y emplearse en el revestimiento de objetos a los que imparte un efecto lustroso.

La esencia de perlas se emplea también para recubrir objetos en los que se desea un acabado iridiscente. Esta sustancia puede obtenerse de las escamas de muchos peces pelágicos.

En la tabla 5.2 se incluye una lista de los muchos peces que se han empleado comercialmente.

Tabla 5.2. Fuentes de la esencia de perlas, (Brody, 1965).

Area	Escamas empleadas
California	Sardina
Florida, agua dulce	Alosa, sábalo
Grandes Lagos	Arenque de lago y corégono
Maine	Sardina y arenque
Valle del Mississippi	Carpa plateada
Costa del Pacífico	Arenque de Alaska, lachas del Atlántico, salmón, Lisa del Sur
Otras áreas	Barracuda, bonito, pámpano, caballa, lisa, sábalo

5.2.19 Quitina y quitosán

La quitina y el quitosán, son polímeros acetilados de glucosamina con características alcalinas. El quitosán, es un término colectivo aplicado a las quitinas en varios estados de diacetilación y despolimerización. El quitosán es, fundamentalmente, una poliamida alifática. El polisacárido quitina, se encuentra en una gran variedad de especies animales (véase la tabla 5.3) y, de hecho, es la segunda sustancia más abundante sobre la Tierra, después de la celulosa. La producción de quitina se realiza a partir de residuos de los mariscos, siendo las materias más comunes las gambas y cangrejos.

Sin embargo, debido al alto contenido de minerales hay que anteceder un proceso de eliminación para la posterior extracción del compuesto.

El hueso de los calamares es una de las formas más puras de la quitina, pero sólo representa el 1 % del peso de los animales. La etapa de desmineralización se puede eliminar ya que no contiene sales la materia prima.

Tabla 5.3. Porcentaje de quitina en base seca en residuos de elaboración de pescado (Ockerman, 1994)

Origen del residuo	Quitina (%)
Almejas, ostras	3-6
Hongos	10-25
Insectos	0-8
Krill	3-7 (24 % en ocasiones)
Crustáceos	14-35 (25 % de media)
Cefalópodos	1-2 (40% en el esqueleto interno)

Los empleos propuestos para el quitosán y la quitina son los siguientes:

La quitina se puede emplear en:

1. Aditivos y acabados para piel y textiles.
2. Materiales para envasado.
3. Absorbentes para iones metálicos.
4. Adhesivos para el cuero.
5. Revestimiento para lonas.
6. Productos fotográficos.
7. Coagulantes empleados en la floculación de suspensiones.
8. Agentes reparadores de las heridas.
9. Producción de proteínas microbianas.

El quitosán tiene las siguientes posibilidades:

1. Coagulación de productos biodegradables para uso en piensos.
2. Eliminación de suspensiones en el agua.
3. Purificación del agua.
4. Intercambio iónico.
5. Quelación de sólidos para cromatografía.
6. Películas duras y flexibles.
7. Agentes favorecedores de la curación de heridas.
8. Adhesivos.
9. Membranas de Intercambio iónico.
10. Control del encogido en lavandería.

#### 5.2.20 Empleo de las conchas de moluscos y ostras

Las conchas se han empleado, para elevar el pH de los suelos agrícolas (encalado), como aditivo en piensos para aportar calcio y otros minerales a las dietas, para construir carreteras y utilizadas en decoración. Empleando partes iguales de conchas de almejas, cal, arena y agua se obtiene un tipo de material de construcción que ha sido empleado durante muchos años en las zonas costeras para edificar y hacer barreras frente al mar.

El residuo del procesamiento del cangrejo azul, puede ser tratado aeróbicamente producir fertilizante, con la adición de una fuente de carbono y un buffer para formar un producto estable sin olor. El producto resultante parece tener un efecto beneficioso para los suelos (Cathcart et al., 1982).

#### 5.2.21 Otros usos de los residuos de la industria pesquera

Durante el procesamiento de las diferentes especies capturadas, se generan una gran cantidad de residuos utilizables, en este caso vamos a hablar de la preparación de jugo de ostra a partir del agua del lavado de las misma durante su procesamiento (Hood & Zall, 1980).

El proceso consiste, en la concentración del agua de lavado y su posterior desecación con el objeto de obtener un producto más estable y fácil de manejar (Hood & Zall, 1980). El producto obtenido posee una aceptable dispersibilidad y solubilidad la cual es aprovechada para su utilización como agente saborizante. Las escamas es otro producto utilizable como coagulante.

Las salmueras utilizadas para el proceso de curación, son otra fuente de interés, ya que en estas las proteínas están solubilizadas y se han realizado estudios para su recuperación (Hood & Zall, 1980).

Para conseguir el máximo aprovechamiento de los residuos, deben ser lo más frescos posibles por lo cual se ha planteado la utilización de ácido propiónico (Tatterson et al., 1980). La aplicación de esta sustancia ha dado buenos resultados contra la contaminación microbiana. Los resultados obtenidos fueron el incremento en la vida de anaquel en función de la adición del ácido propiónico y la disminución de la temperatura. Sin embargo, todavía no se sabe cual será el efecto durante el procesamiento.

Como se observa, dentro de la corriente residual de la industria pesquera, existe una gran diversidad de sustancias, que pueden ser aprovechadas para generar una gran variedad de productos. La explotación de este tipo de recursos, no sólo trae beneficios a nivel legal, sino que también a nivel económico, por lo cual debe dársele importancia dentro de la industria para realizar nuevas investigaciones y encontrar otras aplicaciones y hacer de la industria un sistema más eficiente y limpio.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a lo expuesto a lo largo de este trabajo, se puede establecer lo siguiente:

- El reactor escalado tiene un volumen de  $80 \text{ m}^3$ , tendrá una producción de metano y una velocidad ascendente teórica de  $82.12 \text{ LCH}_4/\text{DQO}_{\text{REM}}$  y  $0.19 \text{ m/h}$ , respectivamente. Es importante mencionar que bajo estos criterios obtenidos del escalamiento del reactor se hará posible la reducción de la materia orgánica contenida en los efluentes de la Congeladora Atlántida del Sur, disminuyendo así, su impacto ambiental.
- El costo del reactor anaerobio, tipo EGSB, escalado es de US\$ 235,918.81 (el cual incluye aspectos como son: proyecto ejecutivo, obra civil, accesorios y puesta en marcha).
- Con el objeto de reducir el impacto ambiental de los residuos generados, por esta industria, durante el proceso, se propone evaluar las características fisicoquímicas y sensoriales de los mismos, con el fin de utilizarlos en la elaboración de otros productos de valor comercial, que estarán en función del tipo, composición y costo para su procesamiento.
- Debe establecerse la creación de industrias con tecnologías limpias, es decir, que en su proceso se considere el saneamiento, reuso de aguas residuales y el procesamiento de residuos para tener un sistema productivo más eficiente y limpio.
- Debido a la apertura de mercados y al deterioro ocasionado en el ambiente por la industria pesquera, ésta deberá contar con un adecuado sistema de administración de calidad y Ecología, por lo cual será necesaria la implementación de las normas ISO-9000 e ISO-14000.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Battistoni, P, Fava, G. and Gatto A. (1992). Fishing processing wastewater: Emission factors and high load trickling filters evaluation. *Wat. Sci. Tech.* **25**(1): 1-8.
2. Braver, H. (1985). *Biotechnology*. Edited by Rehm, J.-H. & Reed, G. VHC, Federal Republic Germany, **2**: 581-582.
3. Brody, J. (1965). *Fishery by-products technology*. Wesport, Conneticut, AVI.
4. Carozzi, A. (1988). Anaerobic treatment of fish processing waste. *Procededing of the Fifth International Symposium on Anaerobic Digestion*, Bologna (Italy), May 22-26, 547-549.
5. Cathcart, T., Wheaton, F. and Brinsfield, R. (1982). Compositing of blue crab scrap: Problems and solutions. Paper presented at the National Shellfisheries Association Meeting, Baltimore, MD.
6. Espinosa, N. L. (1998). *Proceso biológico para el tratamiento de agua residual de la industria textil*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, U.N.A.M. Ciudad Universitaria, D.F. México.
7. Gillies, M. T. (1975). *Fish and shellfish processing*. Park Ridge, New Jersey, Noyes Data Corporation.
8. Gould, M. and Genetelli, E. (1975). Heavy metal distribution in anaerobically digested sludges. In: *Proc. 30<sup>th</sup> Industrial Waste Conference*. Purdue University, May 1975, Ann Arbur Science, Ann Arbor, Mich.

9. Griffin, Vern. (1981). Sea urchins. *Sea Food American*. 1(4).
10. Hood, L. F. and Zall, R. R. (1980). Recovery and treatment of seafood processing wastes. in *Advances in Fish Science and Technology*. Pages: 355-361.
11. Ianotti, E. and Fisher, J. (1984). Effects of ammonia, volatil acids, ph and sodium on growth of bacteria isolated from swine manure digester. In: *Developments in industrial microbiology. Proc. 40<sup>th</sup> Gen Meeting Soc. Ind. Microbiol. Sarasota, Florida, Aug. 14-19. Victor Graphics, Batimore p.p. 741.*
12. Idler, D. R. and Jangaard, P. M. (1969). Cod Fishery, in Frank E. Firth, ed. *The Encyclopedia of Marine Resources. Van Nostrand Reinhold, New york.*
13. Koster, I. S. (1986). Characteristic of the pH-influenced adaptation of methanogenic sludge to amoniun toxicity. *J. Chem. Biotechnology*, p. 445-446.
14. Lettinga, G., et al. (1980). Use of Upflow Sludge Blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22: 669-734.
15. López R. A. (1997). Efecto de los micronutrientes (Fe, Co, Mo y Ni) en la degradación anaerobia de ácidos grasos volátiles. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, U.N.A.M., Ciudad Universitaria, D.F. México.
16. Maciel, M. A. (1997). Tratamiento biológico de aguas residuales del procesamiento de cempasúchil, estudio de factibilidad. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, U.N.A.M., Ciudad Universitaria, D.F. México.
17. McCarthy, P. (1964). *Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Works*, 95:9-12.

18. Moreno R. G., Espinosa F. A. y Briones, M. R. (1993). Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, D.F., p. 170-182. México.
19. Navarrete, R. (1999). Tratamiento biológico anaerobio de efluentes del procesamiento de alimentos marinos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Córdoba Veracruz.
20. Norma Oficial Mexicana 001- ECOL-1996. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de Junio.
21. Ockerman, Herbert W. (1994). Industrialización de subproductos de origen animal. Acribia. Zaragoza, España.
22. Peters, M. and Timmerhaus, K. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 5<sup>th</sup> Ed. Mc. Graw-Hill. Singapur.
23. Raa, J. and Gildberg, A. (1982). Fish silage; A review CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. CRC Press. Boca Raton, Florida, p.p. 383-419.
24. Rains, S.A. DE C.V. (1999). Comunicación personal.
25. Shüssler, W. and Nitschke, L. (1999). Death of fish due to surface water pollution by liquid manure or untreated wastewater: Analytical preservation of evidence by HPLC. *Wat. Res.* **33**(12):2884-2887.

26. Speece, R. and McCarthy, P. (1964). Nutrient requirements and biological solids accumulation in anaerobic digestion. *Adv. Wat. Pollut. Res. Proc. Of the International Conference on Water Pollution Research*, 2:305-322.
27. Speece, R. (1983). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *Environmental Science and Technology*, 17:416A-427A.
28. Speece, R. (1983). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *JWPCF*, 37(1): 416-427.
29. Speece, R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*, Published by Archae Press, Nashville, Tennessee. U.S.A.
30. Stroach, S., Rudd, T., and Lester, J. (1986). Anaerobic digestion processes in industrial wastewater treatment. Ed. Springer-Verlag. New York. U.S.A.
31. Takinawa, E. (1971). *Marine products in Japan*. Koseisha-Koseikaku Company, Tokyo.
32. Talabi, S. O., Fetuga, B. L. and Ologhobo A. (1980). Utilization of "big-eye" fish (*Brachydeuterus auritus*) for fish protein concentrate production. A preliminary biochemical and nutritional evaluation. in *Advances in Fish Science and Technology*: 335-343
33. Tatterson, I., Pollit, S. and Wignall J. (1980). Propionic acid as a preservative for industrial fish. in *Advances in Fish Science and Technology*: 343-349
34. UADY. (1996). Reporte de caracterización de aguas residuales en la empresa Atlántida del Sur. Laboratorio de Análisis Industriales de la Facultad e Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán.

35. Vallinga, S. H. J., Hack, P. J. F. M. and Vander Vlugt (1986). New type high rate anaerobic reactor. Proc. Anaerobic Treatment-A Grown-Up Technology, p. 547-562.
36. Van Den Berg L. and Lentz, C. P. (1970). Food processing waste treatment by anaerobic digestion. Natl. Res. Council of Canada, 15981: 47-53.
37. Vuorela, R., Kaitaranta, J. and Linko, R. (1979). Proximate composition of fish roe in relation to maturity. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. **12**(4), 186-188.
38. Widdel, F. (1998). Microbiology and ecology of sulfate and sulfur reducing bacteria, Biol. of anaerobic microorganism, Ed. Zehnder, , Wiley Interscience. p. 469-586
39. Winsord, M. and Barlow, S. (1981). Introduction of fishery by-products. Fishing News (Books) Ltd., Surrey, England.
40. Zapata Haynie Corporation. (1973). Leadership in Fishing. Baltimore, Md.
41. Zoutberg, G. R., et al., (1998). Anaerobic treatment of chemical waste water in Biobed © EGSB Reactors. In Proc. 8<sup>th</sup> International Conf. On Anaerobic Digestion, Sandai (Japan), 2: May 25-29,167-174.

**ESTA TESIS NO PUEDE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## **ANEXO I**

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE,  
RECURSOS NATURALES Y PESCA.**

**NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-001-ECOL-1996.**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS  
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

**JULIA CARABIAS LILLO**, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 5o. fracciones VIII y XV, 8o. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41 45, 46 fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente **Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; y**

#### **CONSIDERANDO**

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Av. Revolución 1425, mezanina planta alta, Colonia Tiacopac, Código Postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del Ordenamiento Legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

## ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio
11. Anexo I

### 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

### 2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas - Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación por diluciones, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 26 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales- Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de abril de 1986.

Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos- Agua potable, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de febrero de 1987.

### **3. DEFINICIONES**

#### **3.1 Aguas costeras**

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

#### **3.2 Aguas nacionales**

Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

#### **3.3 Aguas residuales**

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

#### **3.4 Aguas pluviales**

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

#### **3.5 Bienes nacionales**

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

#### **3.6 Carga contaminante**

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

#### **3.7 Condiciones particulares de descarga**

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

#### **3.8 Contaminantes básicos**

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

#### **3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios**

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma

Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

### **3.10 Cuerpo receptor**

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

### **3.11 Descarga**

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

### **3.12 Embalse artificial**

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

### **3.13 Embalse natural**

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

### **3.14 Estuario**

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde

la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

### **3.15 Humedales naturales**

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

### **3.16 Límite máximo permisible**

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

### **3.17 Metales pesados y cianuros**

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

### **3.18 Muestra compuesta**

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al

caudal de la descarga en el momento de su toma.

T A B L A 1

FRECUENCIA DE MUESTREO			
HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO N.E.	MÁXIMO N.E.
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E. = No especificado.

**3.19 Muestra simple.**- La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \times (Q_i / Q_t)$$

Donde:

VMS<sub>i</sub> = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Q<sub>i</sub> = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Q<sub>t</sub> =  $\sum Q_i$  hasta Q<sub>n</sub>, litros por segundo

### 3.20 Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

### 3.21 Promedio diario (P.D.)

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las

muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples.

### **3.22 Promedio mensual (P.M.)**

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

### **3.23 Riego no restringido**

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

### **3.24 Riego restringido**

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

### **3.25 Río**

Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.

### **3.26 Suelo**

Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas.

### **3.27 Tratamiento convencional**

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

### **3.28 Uso en riego agrícola**

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

### **3.29 Uso público urbano**

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

## **4. ESPECIFICACIONES**

**4.1** La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

**4.2** Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

TABLA 2

PARÁMETROS <small>(Influencia por tipo, tiempo de exposición y profundidad)</small>		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS												SUELO <small>Usos en agua agrícola (A)</small>			PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN (B)			
		RIOS						AGUAS COSTERAS												
		Usos en agua agrícola (A)		Usos públicos urbanos (B)		Protección de vida acuática (C)		Usos en agua agrícola (A)		Usos públicos urbanos (C)		Destribación, recreación y otros usos (A)								Recreación (B)
P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.			
Temperatura (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40	
Oxígeno y Amoníaco (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Plástica (3)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Bacterias Coliformes Totales (4)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Bacterias Escherichia Coli (5)	100	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	200	75	125	75	125	75	125	75	125
Densidad de Bacterias de Origen Fecal (6)	100	200	75	125	30	60	75	125	30	60	100	200	75	125	75	125	75	125	75	125
Residuos Totales	40	60	40	60	10	20	40	60	10	20	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo  
 (2) Muestra Simple Promedio Ponderado  
 (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-008.  
 P.D. = Promedio Diario, P.M. = Promedio Mensual  
 N.A. = No es aplicable.  
 (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

**TABLA 3**

Categoría (A)	Mediciones Mensuales (B)												Mediciones Diarias (C)												Mediciones por Hora (D)																							
	Una en tiempo regular (A)				Una en tiempo regular (B)				Una pública ordinaria (C)				Bebidas, pasajes, manutención y otros gastos (D)				Reservación (E)				Estaciones (F)				Una en tiempo regular (A)				Una en tiempo regular (B)				Una pública ordinaria (C)				Bebidas, pasajes, manutención y otros gastos (D)				Reservación (E)				Estaciones (F)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.										
Alcalde	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2							
Consejo	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2							
Comisario	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0							
Cooperativa	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0								
Coronel	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								
Comodoro	0.51	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008	0.01	0.006	0.01	0.02	0.008								
Comandante	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4								
Comodoro	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4								
Comodoro	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20								

(\*) Medidos de manera total. P.M. = Promedio Mensual P.D. = Promedio Diario (A), (B) y (C); Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. N.A. = No es aplicable

4.4. Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes

corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno, (DBO<sub>5</sub>) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

**T A B L A 4**

<b>DESCARGAS MUNICIPALES</b>	
<b>FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:</b>	<b>RANGO DE POBLACIÓN</b>
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

**T A B L A 5**

<b>DESCARGAS NO MUNICIPALES</b>		
<b>FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:</b>	<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	
	<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, t/d (toneladas/día)</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)</b>
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad

del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

**T A B L A 6**

<b>DESCARGAS MUNICIPALES</b>	
<b>RANGO DE POBLACIÓN</b>	<b>FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES</b>
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

**T A B L A 7**

<b>CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES</b>	
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b> <b>t/d (toneladas/día)</b>	<b>FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES</b>
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican

en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo

humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los

registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un período de tres años posteriores a su realización.

**T A B L A 8**

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

**T A B L A 9**

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la

presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a

exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

**4.10** En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

**4.11** Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

**4.12** El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su

caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

## **5. MÉTODOS DE PRUEBA**

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

## **6. VERIFICACIÓN**

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

## **7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES**

**7.1** No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en

esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- 8.1 APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19ª Edición. E.U.A.).
- 8.2 Code of Federal Regulations. Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992 JSA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente. E.U.A )
- 8.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.
- 8.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edición McGraw-Hill International Editions. E.U.A.)
- 8.5 Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4 México.
- 8.6 Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.
- 8.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).
- 8.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.
- 8.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I y II. E.U.A )
- 8.10 Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3rd Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E U A )
- 8.11 Estudio de Factibilidad del Saneamiento del Valle de México Informe Final Dic 1995. Comisión Nacional del Agua, Departamento del

- Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.
- 8.12** Guía Para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento Municipales. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- 8.13** Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994
- 8.14** Impact of Wastewater Reuse on Groundwater In The Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. Overseas Development Administration. Phase 1, Report - February 1995.
- 8.15** Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.
- 8.16** Tratabilidad del Agua Residual Mediante el Proceso Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.
- 8.17** Estudio de la Desinfección del Efluente Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.
- 8.18** Formación y Migración de Compuestos Organoclorados a través de Columnas Empaquetadas con Suelo de la Zona de Tula-Mezquital-Actopan. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.19** Estudio de Calidad y Suministro del Agua para Consumo Doméstico del Valle del Mezquital. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.20** Estudio de Impacto Ambiental Asociado al Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.21** Proyecto de Normatividad Integral para Mejorar la Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.22** Estudio de Disponibilidad de Agua en México en Función del Uso, Calidad y Cantidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 8.23** Cost - Effective Water Pollution Control in The Northern Border Of Mexico. Institute For Applied Environmental Economics (Tme), 1995.
- 8.24** XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI / CONAPO 1990

- 8.25 Normas Oficiales Mexicanas para descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores: NOM-001-ECOL/1993 a NOM-033-ECOL/1993, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993; NOM-063-ECOL/1994 a NOM-065-ECOL/1994 publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 5 de enero de 1995; NOM-066-ECOL/1994 a NOM-068-ECOL-1994, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1995; NOM-069-ECOL/1994 y NOM-070-ECOL /1994, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1995; y NOM-071-ECOL-1994 a NOM-073-ECOL-1994, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1995.
- 8.26 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEMARNAP. Instituto de Ecología México, D.F.
- 8.27 Catálogo Oficial de Plaguicidas Control Intersectorial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. SARH, SEDESOL, SSA y SECOFI. México, D.F. 1994.
- 8.28 Indicadores Socioeconómicos e Índice de Marginación Municipal 1990. CONAPO/CNA.
- 8.29 Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 8.30 Manejando las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Reporte 1993. EUA. Comité Sobre el Manejo de las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Consejo de Ciencia y Tecnología sobre Agua Comisión de Sistemas Técnicos e Ingeniería. Consejo Nacional de Investigación.
- 8.31 NMX-AA-087-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea-Cladocera).- Método de Prueba).
- 8.32 NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de Agua - Evaluación de Toxicidad Aguda con *Artemia franciscana* Kellogs (Crustacea-Anostraca) - Método de Prueba.
- 8.33 NMX-AA-112-1995-SCFI Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con *Photobacterium phosphoreum*.- Método de Prueba.
9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA
- 9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas

atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**9.2** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

**9.3** Se abrogan las normas oficiales mexicanas que a continuación se indican:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria productora de azúcar de caña

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica

Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de fertilizantes excepto la que produzca ácido fosfórico como producto intermedio.

Norma Oficial Mexicana NOM-005-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.

Norma Oficial Mexicana NOM-006-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de harinas.

Norma Oficial Mexicana NOM-007-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la cerveza y de la malta.

Norma Oficial Mexicana NOM-008-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de asbestos de construcción.

Norma Oficial Mexicana NOM-009-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las

descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de leche y sus derivados.

Norma Oficial Mexicana NOM-010-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos de vidrio prensado y soplado.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria hulera.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del hierro y del acero.

Norma Oficial Mexicana NOM-014-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria textil.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la celulosa y el papel.

Norma Oficial Mexicana NOM-016-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de bebidas gaseosas.

Norma Oficial Mexicana NOM-017-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de acabados metálicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-018-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones.

Norma Oficial Mexicana NOM-019-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de impregnación de productos de aserradero.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del curtido y acabado en pieles.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de matanza de animales y empacado de cármicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de envasado de conservas alimenticias

Norma Oficial Mexicana NOM-024-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen

Norma Oficial Mexicana NOM-025-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada

Norma Oficial Mexicana NOM-026-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos

receptores, provenientes de restaurantes o de hoteles.

Norma Oficial Mexicana NOM-027-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del beneficio del café.

Norma Oficial Mexicana NOM-028-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado.

Norma Oficial Mexicana NOM-029-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de hospitales

Norma Oficial Mexicana NOM-030-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de jabones y detergentes.

Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL-1993, que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de

la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, en el nego de hortalizas y productos hortofrutícolas. Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 18 de octubre de 1993.

La nomenclatura de las Normas Oficiales Mexicanas antes citadas está en términos del Acuerdo por el que se reforma la nomenclatura de 58 Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de noviembre de 1994.

Asimismo se abrogan las siguientes normas oficiales mexicanas:

Norma Oficial Mexicana NOM-063-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria vinícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-064-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la destilería

Norma Oficial Mexicana NOM-065-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de pigmentos y colorantes. Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-066-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las

descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la galvanoplastia.

Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal

Norma Oficial Mexicana NOM-068-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-070-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación, conservación y envasado de frutas, verduras y legumbres en fresco y/o congelados, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 9 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-071-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos

Norma Oficial Mexicana NOM-072-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de fertilizantes fosfatados, fosfatos, polifosfatos, ácido fosfórico, productos químicos inorgánicos fosfatados, exceptuando a los fabricantes de ácido fosfórico por el proceso de vía húmeda.

Norma Oficial Mexicana NOM-073-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias farmacéutica y farmoquímica, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1995.

### TRANSITORIO

ÚNICO. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

- 1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.

Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga,

previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las Tablas 6 y 7, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las Tablas 4 y 5, según le corresponda.

Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.

- 2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia, quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo

conducente a la Ley Federal de Derechos.

- 3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese período si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite máximo permisible en esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.
- 4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.
- 5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe

cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

- 6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.

México., Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y seis La Secretaria de Medio Ambiente,

Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.- Rúbrica.

## ANEXO 1

### TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTO

#### 1. OBJETIVO

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

#### 2. CAMPO DE APLICACIÓN

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

#### 3. DEFINICIONES

**3.1 Helminto:** término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

**3.2 Platyhelminetos:** gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. diminuta*, entre otros.

**3.3 Nematelmintos:** gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

**3.4 Método difásico:** técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

**3.5 Método de flotación:** técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

#### 4. FUNDAMENTO

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir

de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de *Ascaris*.

## 5. EQUIPO

**Centrífuga:** Con intervalos de operación de 1000 a 2500 revoluciones por minuto  
Períodos de operación de 1 a 3 minutos  
Temperatura de operación 20 a 28 °C

**Bomba de vacío:** Adaptada para control de velocidad de succión  
1/3 hp

**Microscopio óptico:** Con iluminación Köheler  
Aumentos de 10 a 100X; Platina móvil;  
Sistema de microfotografía

**Aglitador de tubos:** Automático  
Adaptable con control de velocidad

**Parrilla eléctrica:** Con agitación

**Hidrómetro:** Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm<sup>3</sup>

**Temperatura de operación:** 0 a 4 °C

## 6. REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Acido sulfúrico
- Eter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

## 6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

### Preparación

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua según sea el caso.

## 6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

### Preparación

Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético

## 7. MATERIAL

- Garrafones de 8 litros
- Tamiz de 160 µm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml

Pipetas de 10 ml de plástico

- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwick-Rafter

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

#### 8. CONDICIONES DE LA MUESTRA

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo
3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

#### 9. INTERFERENCIAS

#### 10. PRECAUCIONES

1. Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

#### 11. PROCEDIMIENTO

- 1 Muestreo
  - a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada
  - b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).
  - c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.

- d) Tomar X gramos de matena fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.
2. Concentrado y centrifugado de la muestra
- a) La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
- c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160  $\mu\text{m}$  (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
- d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
- e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
- f) Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros
- h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga)
- i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de  $\text{ZnSO}_4$  con una densidad de 1.3.
- j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- k) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
- l) Recuperar el sobrenadantevirtiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada
- m) Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
- n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
- ñ) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga)
- o) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).
- p) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1

N) + C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.

- q) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
  - r) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
  - s) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.
3. Identificación y cuantificación de la muestra
- a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwick-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
  - b) Realizar un barrido total al microscopio.

## 12. CÁLCULOS

- 1 Para determinar los rpm de la centrífuga utilizada, la fórmula es:

$$r p m = \sqrt{\frac{K g}{r}} \text{ |Error!Argument}$$

o de modificador no especificado.

Donde:

- g: fuerza relativa de centrifugación
- K: constante cuyo valor es 89,456
- r: radio de la centrífuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r (rpm)^2}{K} \text{ |Error!Argument de modificador no especificado.}$$

2. Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de la muestra analizada.
13. **FORMATO**

No aplica.

## 14. BIBLIOGRAFIA

1. APHA, AWWA, WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed., Washington.
2. CETESB, São Paulo, 1989 Helintos e Protozoários Patogénicos Contagem de Ovos e Cistos em Amostras Ambientais.
3. Schwartzbrod, J., 1996 Traitement des Eaux Usees de Mexico en Vue d'une Reutilisation a des Fins Agricoles. Reunión de Expertos para el Análisis del Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería UNAM, 86 p.