



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA
AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)**

Beatriz Adriana Valle Oliva

Asesorado por el Ing. Francisco Aben Rosales Cerezo

Coasesorado por el Ing. Adolfo Macario Castro

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA
AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BEATRIZ ADRIANA VALLE OLIVA

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO ABEN ROSALES CEREZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

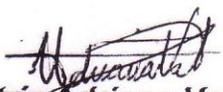
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 13 de julio de 2011.


Beatriz Adriana Valle Oliva

Guatemala, 20 de febrero de 2011

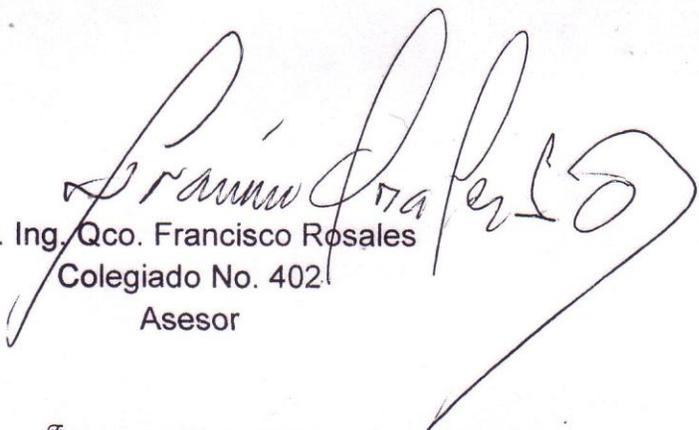
Ing. Williams Álvarez,
Director de la Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Presente.

Estimado Ing. Álvarez:

Saludos cordiales. Por medio de la presente **HAGO CONSTAR** que he revisado y dado mi aprobación al informe final de trabajo de graduación titulado **"PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)"**, de la estudiante de Ingeniería Química Beatriz Adriana Valle Oliva quien se identifica con el carné número 2006-11059.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente;



Dr. Ing. Qco. Francisco Rosales
Colegiado No. 402
Asesor

Francisco A. Rosales Cerezo
Ing. Químico Colegiado 402 Dr. en Educación Colegiado 600



Guatemala, 27 de febrero de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.006.2012

Señores
Área de Lingüística
Facultad de Ingeniería

Estimados Señores:

Como consta en el Acta TG-003-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Titulado: **"Evaluación de parámetros prioritarios en aguas residuales para el sector industrial de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, basados en el acuerdo gubernativo 236-2006"**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Beatriz Adriana Valle Oliva.**

Identificada con número de carné: **2006-11059**

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero: **Francisco Aben Rósaes**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Jaime Domingo Carranza González
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012



ACAAI



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **BEATRIZ ADRIANA VALLE OLIVA** titulado: "**PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, abril de 2012



Cc: Archivo
WGAM/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **PRIORIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 PARA AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR CÁRNICO (CIU 1511)**, presentado por la estudiante universitaria **Beatriz Adriana Valle Oliva**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, abril de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme alcanzar esta meta y por ser el guía y centro de mi vida.
- Virgen María** Por cuidarme y guiarme por el camino correcto.
- Mis padres** Juan Salvador Valle Palacios y Angela Aracely Oliva de Valle, con todo mi amor y admiración por ser ejemplos de compromiso, superación y amor con cada uno de sus hijos.
- Mis hermanos** Angelita Aracely, Juan Salvador, Margarita María y Fernando Rafael, por el apoyo y motivación brindada a lo largo de mi vida. Los quiero.
- Mis abuelas** Margarita Estrada y Romelia Palacios, con todo mi cariño y admiración por su fortaleza.
- Los señores** Félix Bran y Francisco Jacinto Ruiz, por el apoyo recibido durante mi carrera universitaria.
- Mis amigos** Por compartir conmigo tantas experiencias y por la amistad que nos une; especialmente a Geraldina García, Elena Pineda, Susana Lizama, Doris Vega y Estuardo Chavarría.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por todas las bendiciones recibidas durante mi vida y por permitirme culminar esta carrera.
Mis padres	Por todo su esfuerzo, confianza, apoyo incondicional y por todas sus enseñanzas.
Mis asesores	Ingeniero Francisco Rosales e Ingeniero Adolfo Macario Castro, por su valioso tiempo y por la asesoría recibida durante el desarrollo de esta investigación.
Mi revisor	Ingeniero Jaime Carranza, por su apoyo y tiempo invertido en la revisión de esta investigación.
URHC del MARN	Por el apoyo técnico, científico y administrativo fundamental para la realización de esta investigación.
La Escuela de Ingeniería Química	A cada uno de los profesores, por compartir sus conocimientos.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y permitirme formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Agua	5
2.1.1. Propiedades fisicoquímicas del agua	6
2.1.1.1. Acción disolvente.....	6
2.1.1.2. Tensión superficial.....	7
2.1.1.3. Alto calor específico.....	7
2.1.1.4. Elevado calor de vaporización.....	7
2.1.1.5. Elevada constante dieléctrica	8
2.1.1.6. Viscosidad	8
2.2. Usos del agua a nivel industrial	8
2.2.1. Transferencia de calor	9
2.2.1.1. Calentamiento	9
2.2.1.2. Enfriamiento	9
2.2.2. Generación de energía	10
2.2.3. Aplicación a procesos.....	10
2.2.3.1. Agua como materia prima.....	11

	2.2.3.2.	Transporte.....	11	
	2.2.3.3.	Agua para lavado	12	
2.3.		Calidad del agua	12	
2.4.		Agua residual	12	
	2.4.1.	Agua residual de tipo especial.....	13	
	2.4.2.	Agua residual de tipo ordinario.....	13	
2.5.		Características de las aguas residuales.....	14	
	2.5.1.	Parámetros de aguas residuales según acuerdo gubernativo 236-2006	14	
		2.5.1.1.	Temperatura.....	14
		2.5.1.2.	Potencial de hidrógeno.....	15
		2.5.1.3.	Aceites y grasas.....	16
		2.5.1.4.	Materia flotante.....	16
		2.5.1.5.	Sólidos suspendidos totales.....	17
		2.5.1.6.	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, a veinte grados Celsius	18
		2.5.1.7.	Demanda química de oxígeno	19
		2.5.1.8.	Nitrógeno total.....	19
		2.5.1.9.	Fósforo total	20
		2.5.1.10.	Metales pesados y cianuro total.....	20
		2.5.1.11.	Color.....	21
		2.5.1.12.	Coliformes fecales.....	22
2.6.		Sistemas de tratamiento de agua residual	23	
2.7.		Descarga de agua residual	24	
	2.7.1.	Cuerpo receptor	24	
	2.7.2.	Alcantarillado público	25	
2.8.		CIIU.....	25	
	2.8.1.	Ámbito de la clasificación	26	

2.8.2.	Jerarquía de clasificación	26
2.8.2.1.	Sección: D – industrias manufactureras.....	26
2.8.2.2.	División: 15 – elaboración de productos alimenticios y bebidas.....	27
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	29
3.1.	Variables.....	29
3.1.1.	Caracterización del efluente de aguas residuales ..	29
3.2.	Delimitación del campo de estudio	32
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	33
3.4.	Recursos materiales disponibles	34
3.4.1.	Determinación de parámetros (procesamiento de la información)	34
3.4.1.1.	Equipo	34
3.5.	Técnica cualitativa	35
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	36
3.6.1.	Información de entes generadores	36
3.6.2.	Obtención de muestras de agua residual	36
3.6.2.1.	Procedimiento de visita a empresas.....	37
3.6.2.2.	Procedimiento para toma de muestras de agua.....	38
3.6.3.	Análisis de calidad del agua residual.....	39
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	40
3.7.1.	Datos originales.....	40
3.7.1.1.	Tablas de tabulación de datos.....	40
3.7.2.	Datos calculados	48

3.8.	Análisis estadístico.....	66
4.	RESULTADOS.....	69
4.1.	Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas.....	69
4.2.	Determinación de parámetros prioritarios	74
4.3.	Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	76
4.4.	Propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales...	78
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
5.1.	Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas.....	81
5.2.	Determinación de parámetros prioritarios	83
5.3.	Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	85
5.4.	Propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales...	86
	CONCLUSIONES.....	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APÉNDICE	99
	ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Puentes de hidrógeno	6
2. Identificación de sólidos suspendidos totales	18
3. Diagrama de técnica cualitativa.....	35
4. Diagrama de procedimiento de una visita a empresas.....	37
5. Diagrama de procedimiento para la toma de una muestra de agua	38
6. Comparación de pH con límites permisibles de descarga.....	48
7. Comparación de temperatura con límite permisible de descarga.....	49
8. Comparación de grasas y aceites con límite permisible de descarga	49
9. Comparación de sólidos suspendidos totales con límite permisible de descarga	50
10. Comparación de DBO5 con límite permisible de descarga	50
11. Comparación de DQO con límite permisible de descarga	51
12. Comparación de nitrógeno total con límite permisible de descarga	51
13. Comparación de fósforo total con límite permisible de descarga	52
14. Comparación de color con límite permisible de descarga	52
15. Comparación de coliformes fecales con límite permisible de descarga ...	53
16. Comparación de arsénico con límite permisible de descarga	53
17. Comparación de cadmio con límite permisible de descarga	54
18. Comparación de cianuro total con límite permisible de descarga	54
19. Comparación de cobre con límite permisible de descarga	55
20. Comparación de cromo hexavalente con límite permisible de descarga.....	55
21. Comparación de mercurio con límite permisible de descarga	56

22.	Comparación de níquel con límite permisible de descarga	56
23.	Comparación de plomo con límite permisible de descarga	57
24.	Comparación de zinc con límite permisible de descarga	57
25.	Porcentaje de empresas que cumplen con los límites nacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte I	61
26.	Porcentaje de empresas que cumplen con los límites nacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte II	61
27.	Porcentaje de empresas que cumplen con los límites internacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte I	62
28.	Porcentaje de empresas que cumplen con los límites internacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte II	62
29.	Diagrama de proceso de producción de carne en cortes.....	69
30.	Diagrama de proceso de mataderos de ganado porcino	70
31.	Diagrama de proceso de mataderos de aves de corral.....	71
32.	Diagrama de proceso de elaboración de embutidos	72
33.	Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles nacionales de descarga de aguas residuales.....	75
34.	Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles internacionales de descarga de aguas residuales.....	76
35.	Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales identificados en porcentaje (total de 13 empresas)	77
36.	Principales tipos de operaciones identificadas en los tratamiento de agua residual en porcentaje (total de 13 empresas).....	77
37.	Principales tipos de unidades de tratamiento de agua residual identificados en porcentaje (total de 13 empresas)	78

TABLAS

I. Variables dependientes, independientes, monitoreables y no monitoreables a tomar en cuenta.....	31
II. Principales lugares de descarga de agua residual.....	40
III. Caracterización de aguas residuales sector 1511 CIIU versión 3.1, descarga a cuerpo receptor	41
IV. Caracterización de aguas residuales sector 1511 CIIU versión 3.1, descarga a alcantarillado público.....	42
V. Límites permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpo receptor, otros países	44
VI. Límites permisibles de descarga de aguas residuales a alcantarillado público, otros países	45
VII. Límites permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpo receptor y alcantarillado público.....	46
VIII. Fuentes de abastecimiento de agua	47
IX. Porcentaje de empresas que cumplen con límites permisibles de descarga a cuerpo receptor (total de 4 empresas)	58
X. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga a alcantarillado público (total de 9 empresas)	59
XI. Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles nacionales e internacionales (total de 13 empresas)....	60
XII. Porcentaje de empresas que no cumplen con el límite nacional permisible de cromo hexavalente, por tipo de proceso.....	63
XIII. Lugar de abastecimiento de agua, en porcentaje	63
XIV. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales identificados.....	64
XV. Principales tipos de operaciones identificadas en los tratamientos de agua residual.....	64

XVI. Principales unidades de tratamiento de agua residual identificadas.....	65
XVII. Resultados estimados del sector 1511 del CIIU versión 3.1.....	67
XVIII. Identificación de materias primas y su efecto en aguas residuales.....	73
XIX. Principales fuentes de generación de parámetros de aguas residuales.....	74
XX. Unidades de tratamiento y parámetros que reducen.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cal	Caloría
CF	Coliformes fecales
°D	Debye
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grado Celsius
g	Gramo
G Y A	Grasas y aceites
kg	Kilogramo
L	Litro
MF	Materia flotante

Me	Mediana
m	Metro
mg	Miligramo
mL	Mililitro
NMP	Número más probable
ppm	Partes por millón
Pa	Pascales
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
s	Segundos
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura
Pt-Co	Unidades platino-cobalto

GLOSARIO

Aerobio	Proceso que tiene lugar en presencia de oxígeno.
Afluente	Agua captada por un ente generador.
Anaerobio	Proceso que tiene lugar en ausencia de oxígeno.
Anóxico	Sistema en el que la ausencia de O_2 y la presencia de NO_3^- hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en N_2 , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).
Área metropolitana	Región urbana que incluye la ciudad de Guatemala y ciudades satélites que funcionan como ciudades dormitorio, como Villa Nueva, San Miguel Petapa, Mixco, San Juan Sacatepéquez, Amatitlán y Chinautla.
Biodegradable	Producto o sustancia que puede descomponerse en sus elementos químicos que los conforman, debido a la acción de agentes biológicos bajo condiciones ambientales naturales.

Carga	Es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración, determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.
Carne en canal	Parte del cuerpo del animal desangrado, desprovisto de piel, cabeza, vísceras y patas, abierto a lo largo de la línea media; en el caso de los porcinos con las extremidades y la cabeza adherida por los tejidos blandos al resto del cuerpo.
CIIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas.
Coloidal	Sistema fisicoquímico formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.
Efluente o descarga	Aguas residuales emitidas por un ente generador.
Ente generador	Persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.
Estudio técnico	Estudio realizado para caracterizar efluentes, descargas, aguas para reúso y lodos.

Etapas de cumplimiento	Plazo de cumplimiento de los límites permisibles de descarga de aguas residuales.
Eutrofización	Proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.
JICA	Agencia de Cooperación Internacional de Japón.
Límite permisible	Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reúso y lodos.
LNS	Laboratorio Nacional de Salud
Lodos	Sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del tratamiento de aguas residuales.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Monitoreo	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reúso y lodos.

MSPAS

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Parámetro

Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.

URHC

Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es la priorización de parámetros de aguas residuales con base en el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el sector industrial de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos. Para la priorización de los parámetros se trabajó con los entes generadores ubicados en el área metropolitana registrados en la base de datos de la URHC del MARN, se obtuvo información de los estudios técnicos y monitoreos y de visitas, a empresas en las que se realizaron tomas de muestras, mismas que se analizaron en el LNS del MSPAS.

De los veinte parámetros indicados en el reglamento y según los resultados obtenidos, los de mayor representatividad y prioridad para su constante monitoreo son once, quedando excluidos los metales pesados y cianuro total a excepción del cromo hexavalente, que debe tener un seguimiento, debido a su detección en las aguas residuales. Los procesos productivos del sector incluyen mataderos de ganado porcino y de aves, cortes de carnes y elaboración de embutidos; identificando que la generación de aguas residuales se debe principalmente al lavado de la materia prima cárnica, escaldado, cocción y lavado de equipo.

Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, el 76,92% de las industrias aplica únicamente un pretratamiento, conformado por la separación de sólidos gruesos y de grasas y aceites. Para disminuir los parámetros prioritarios se propone el empleo al inicio de un pretratamiento hasta tratamiento terciario.

OBJETIVOS

General

Priorizar los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, para el sector industrial de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, y proponer unidades de tratamiento de agua residual que los reduzcan.

Específicos

1. Determinar los procesos de generación de aguas residuales en las industrias del sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, analizando la materia prima del proceso.
2. Determinar los parámetros prioritarios en aguas residuales para el sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos.
3. Identificar los sistemas de tratamiento de agua residual aplicados en las industrias del sector en estudio y proponer unidades de tratamiento de aguas residuales que reduzcan los parámetros prioritarios.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aquellas que han sufrido una alteración física, química y biológica, ya sea por procesos industriales o domésticos y cuyas calidades han sido modificadas. Al referirse a calidad del agua se habla de las características de ésta en su estado natural o después de ser alterada por la acción del hombre.

Debido a las propiedades del agua como acción disolvente, calor específico, entre otros, y a los usos que se le da principalmente en el sector industrial como solvente o en operaciones de lavado, enfriamiento, calentamiento, etc., esta tiende a modificar sus características, por ello es importante mantener un control de su calidad.

Lo anterior implica el establecimiento de criterios de calidad para definir los requisitos mínimos que debe satisfacer para que sea apropiada a un uso determinado. Estos criterios constituyen los parámetros de calidad del agua y deben estar especificados y clasificados por actividad industrial, para obtener datos representativos del sector.

Con el presente estudio se realizó la priorización de los parámetros en aguas residuales con base en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en el sector industrial de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, en el área metropolitana, según el CIU versión 3.1 y registro de entes generadores de la URHC del MARN.

Además, se realizó la identificación de los sistemas de tratamiento de agua residual que utilizan las industrias del sector y con base en los parámetros prioritarios obtenidos, se propusieron las unidades de tratamiento de agua residual que los reducen.

La presentación de este estudio está dividida en cinco capítulos. En el capítulo uno, se detalla los antecedentes al presente trabajo, en cuanto a investigaciones realizadas y las normativas nacionales sobre aguas residuales. En el capítulo dos, se desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación realizada. En el capítulo tres, se describe la metodología empleada en el desarrollo de la investigación y en los capítulos cuatro y cinco, se presentan los resultados obtenidos e interpretación de los mismos, respectivamente.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala existen acuerdos gubernativos en materia de calidad de agua residual que son aplicados tanto a nivel industrial como a nivel doméstico. Se han realizado diversas investigaciones, en lo que a calidad del agua se refiere; las mismas han sido realizadas por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el año 2006 entró en vigencia el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Este reglamento establece los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos, el cual se complementa con el Acuerdo Ministerial número 105-2008: Manual General del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

En enero de 2011 entró en vigencia el Acuerdo Gubernativo 12-2011: Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del Lago de Atitlán. El cual fija los parámetros y establece una reducción progresiva de los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores en la cuenca del lago de Atitlán, ya sea de forma directa o indirecta.

Dichos acuerdos tienen por objetivo lograr establecer un proceso continuo que permita: proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana, recuperar los cuerpos receptores de agua en procesos de eutrofización y promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

En el 2006 el Gobierno de Guatemala solicitó al Gobierno de Japón la implementación de un proyecto para la mejora de la calidad de agua del lago Amatitlán. En respuesta a esta solicitud la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), acordó con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), la implementación del “Proyecto para el Desarrollo de la Capacidad para la Conservación del Ambiente Hídrico en el Área Metropolitana”. JICA seleccionó como consultores para el Proyecto a la empresa CTI Engineering Co. International, Ltd., quien formó el equipo para el proyecto.

La Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del MARN fue la responsable del proceso de implementación y coordinación de todos los procesos del Proyecto, con el soporte del Equipo Consultor de JICA.

Los resultados del proyecto JICA permitieron fortalecer la capacidad de formulación de estrategias para lograr una efectiva aplicación del reglamento de aguas residuales; se estableció el sistema de monitoreo, evaluación y seguimiento para la implementación del mismo y se estableció un sistema sostenible para la implementación y administración de información, relativa al ambiente acuático.

En octubre de 2007, Ednar Ramírez Lorenzana realizó el estudio de tesis denominado “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas de una industria farmacéutica nacional, según el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos y propuesta para el aprovechamiento de desechos”. Se realizaron análisis del agua residual utilizando para el efecto métodos normalizados de aguas de desecho para la caracterización de los parámetros requeridos. Se compararon los resultados de análisis contra el reglamento y se determinó que ninguno de los parámetros excedía los límites máximos permisibles.

Para el reúso del agua tratada, se determinó que dadas sus características y según lo dispuesto en el reglamento, el efluente se podía utilizar debido a que los nutrientes que posee, son propicios para riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento del suelo, y como fertilizante de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial.

En noviembre de 2008, Heidi Páez Chávez realizó el estudio de tesis denominado “Evaluación de la calidad del agua de proceso, en un ingenio azucarero”. El estudio tenía como objetivo evaluar si se estaba trabajando con agua que no contaminara el producto y que no representara un riesgo para el consumo humano. Se realizó el reconocimiento de las aguas con las que se trabajaba en el proceso, para establecer los puntos de muestreo.

Se determinaron las características físicas, químicas y biológicas de las aguas en estudio, las cuales provenía de condensados que se recolectaban en los procesos de evaporación y cristalización, agua clarificada proveniente del río Cristóbal y agua potable. Con los resultados obtenidos se determinó que el agua de condensados y el agua clarificada no es biológicamente segura, pero aún así, es adecuada al proceso.

En el 2009, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo - CCAD en el marco del Acuerdo de Cooperación CCAD/USAID/DR-CAFTA solicitó una Consultoría para la realización del Proyecto de “Elaboración de Estándares de Desempeño en Calidad del Agua en Sectores Prioritarios a nivel de Centro América y de República Dominicana”. Con este proyecto se asistió a las autoridades competentes en la identificación, selección de tecnologías, prácticas, métodos de producción industriales y tratamiento de aguas residuales que fueran técnica y económicamente sostenibles y sirvió de base técnica para la recomendación de límites de calidad y estándares de desempeño, para los sectores de mataderos de ganado, porquerizas, beneficios de café y lácteos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua

El agua es un elemento de la naturaleza, que se encuentra en tres formas o estados: sólido, líquido y gaseoso. El estado líquido se encuentra en los ríos, lagos, mares y lluvia; el estado sólido en el hielo, el granizo y la nieve; y el estado gaseoso en el vapor y las nubes.

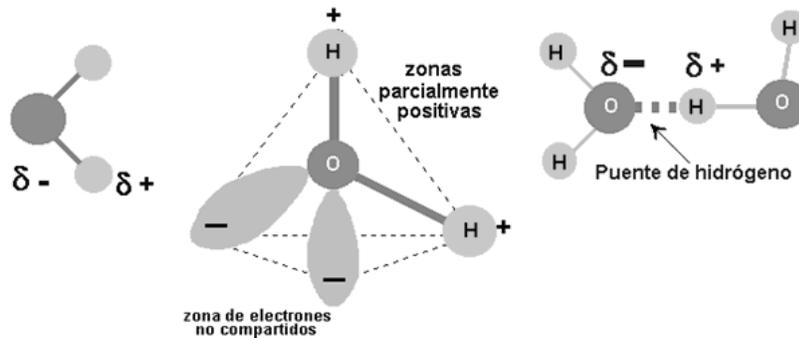
“El agua en estado líquido es incolora, inodora e insípida, con punto de fusión 0 °C, punto de ebullición 100 °C, densidad 1000 kg/m³ (a 4 °C), presión crítica 217.5 atm y temperatura crítica 374 °C”¹.

Una molécula de agua está compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno y su fórmula química se expresa como H₂O. “Los dos átomos de hidrógeno están separados entre sí por 104.65 °D, adyacentes al átomo de oxígeno, de forma que la molécula es asimétrica, cargada positivamente del lado del hidrógeno y negativamente del lado del oxígeno. Por esta razón se dice que el agua es dipolar”². Esto hace que las moléculas se aglomeren, el hidrógeno de una molécula atrae al oxígeno de la molécula vecina y la unión de las moléculas como resultado de esta fuerza de atracción recibe el nombre de puente de hidrógeno. (Ver figura 1).

¹KEMMER, Frank N.; McCALLION, John. *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. p. 5.

² Ídem.

Figura 1. Puentes de hidrógeno



Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>.

[Consulta: 25 de marzo de 2011].

2.1.1. Propiedades fisicoquímicas del agua

El agua es esencial para la vida y posee muchas propiedades por las cuales es de gran utilidad en todos los ámbitos.

2.1.1.1. Acción disolvente

El agua es el líquido que más sustancias disuelve, por lo que es conocido como solvente universal. Esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interaccionan con las moléculas polares del agua.

2.1.1.2. Tensión superficial

La tensión superficial actúa como una fuerza que se opone al aumento de área del líquido. En el agua, los puentes de hidrógeno mantienen a las moléculas fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible; este fenómeno se debe a las fuerzas de cohesión. Las fuerzas de adhesión se establecen entre los puentes de hidrógeno y otras moléculas polares. Tanto la adhesión como la cohesión son las fuerzas responsables de la capilaridad y la tensión superficial. A 20°C el agua tiene una tensión superficial de 72,8 dinas cm⁻¹.

2.1.1.3. Alto calor específico

El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno. Su temperatura desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. El calor específico del agua es 1 cal/(g°C).

2.1.1.4. Elevado calor de vaporización

A 20°C se precisan 540 calorías para evaporar un gramo de agua; lo que da idea de la energía necesaria para romper los puentes de hidrógeno establecidos entre las moléculas del agua líquida y, posteriormente, para dotar a estas moléculas de la energía cinética suficiente para abandonar la fase líquida y pasar al estado de vapor.

2.1.1.5. Elevada constante dieléctrica

Por tener moléculas dipolares, el agua es un gran medio disolvente de compuestos iónicos, como las sales minerales, y de compuestos covalentes polares como los glúcidos. A 25°C la constante dieléctrica del agua tiene un valor de 78,5.

2.1.1.6. Viscosidad

Es una propiedad del agua que afecta su tratamiento y su empleo. “Es una medida de la fricción interna, es decir de la fricción de una capa de moléculas que se mueven sobre otra”³. Al aumentar la temperatura del agua esta fricción interna disminuye. A 25 °C la viscosidad del agua líquida es 1,003E-6 Pa-s.

2.2. Usos del agua a nivel industrial

Los usos industriales del agua son muy diversos y están en gran medida condicionados por el proceso de producción. De los muchos servicios que puede prestar el agua a nuestra sociedad, los que pueden definirse como básicos para la industria son: la transferencia de calor, la generación de energía, y la aplicación a procesos.

³ KEMMER, Frank N.; McCALLION, John. *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones.* p. 7.

2.2.1. Transferencia de calor

“La industria capitaliza la gran capacidad calorífica del agua para aprovecharla en unidades de procesos económicos para calentamiento o enfriamiento”⁴. El agua se prefiere sobre otros elementos debido a su facilidad de manejo, bajo costo, y a sus propiedades fisicoquímicas.

2.2.1.1. Calentamiento

“La forma tradicional de suministrar energía calorífica a diversas zonas de un complejo industrial es la generación de vapor”⁵. El vapor se produce generalmente en una caldera y se distribuye a toda la planta a presión y velocidad relativamente altas. La temperatura en cada unidad se controla regulando el flujo a la presión.

2.2.1.2. Enfriamiento

En las industrias se utiliza agua en los sistemas de enfriamiento que principalmente están constituidos por torres. Estos sistemas son necesarios debido a que por lo general la temperatura del agua recirculada será mayor que la de la fuente original. La temperatura de bulbo húmedo del aire limitará la temperatura hasta la cual podrá enfriarse el agua.

⁴ American Society for Testing and Materials. *Manual de aguas para usos industriales*. p. 15.

⁵ Ídem

2.2.2. Generación de energía

El agua es utilizada para la generación de energía, por lo general en una estación generadora; pero también se utiliza para este fin en una planta industrial o en hidroeléctricas.

Las estaciones generadoras recuperan el vapor por medio de condensadores, por lo que el agua de reemplazo es relativamente baja en comparación con la planta industrial que tiene pérdidas de agua mayores; por lo que requiere una mayor cantidad de agua de reemplazo. Tanto la estación generadora como la planta industrial utilizan el agua para producción de vapor y a partir de este accionar maquinaria, producir energía eléctrica, etc.

El agua también es utilizada para generar energía mecánica a partir de agua que fluye por turbinas hidráulicas, y para la generación de energía eléctrica.

2.2.3. Aplicación a procesos

El agua es de gran importancia en los procesos industriales, en los cuales tiene principal aplicación como materia prima, solvente, o para lavado y transporte, entre otros.

2.2.3.1. Agua como materia prima

El agua se utiliza como materia prima para la fabricación de numerosos productos industriales. En la industria alimenticia el agua es una materia prima importante, se utiliza en productos cárnicos, panadería, bebidas embotelladas, conservas, etc.; y se encuentra en una mayor proporción sobre el producto terminado.

También es utilizada en la industria farmacéutica y en la industria química en general, ya que “son numerosos los procesos en los que, para la obtención del producto, se aporta agua, tanto en fase líquida como en fase gaseosa”⁶.

2.2.3.2. Transporte

Las corrientes de agua que circulan dentro de tuberías o de canaletas en una fábrica pueden transportar materiales de un área a otra, dentro de la misma planta. En la producción de papel es ampliamente utilizado este procedimiento.

En la industria alimenticia también se aplica este procedimiento por ejemplo en las plantas enlatadoras, las verduras se transportan mediante corrientes de agua. En la fase de vapor, el agua también es un medio de transporte eficiente, como es el caso del proceso de destilación por arrastre de vapor.

⁶ American Society for Testing and Materials. *Manual de aguas para usos industriales*. p. 17.

2.2.3.3. Agua para lavado

El agua es un medio adecuado y económico para el lavado general de equipos industriales.

En muchas industrias se utiliza agua para el lavado de las materias primas, como es el caso de la industria textil, que además utiliza agua para teñir las hilaturas de fibras textiles. Con el propósito de lavado, también se utiliza agua en la industria del papel, azúcar, galvanoplástica, etc.

2.3. Calidad del agua

La calidad del agua es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas de esta en su estado natural o después de ser alterada por la acción del hombre, que hacen que sea apropiada para un uso determinado.

La calidad del agua se ve afectada principalmente por la incorporación de materias extrañas, entre las que se mencionan: microorganismos, residuos industriales como productos químicos, etc.

2.4. Agua residual

“Las aguas residuales son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas”⁷.

⁷ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* p. 2.

En las diferentes actividades humanas se generan residuos, tanto líquidos como sólidos. La fracción líquida es principalmente agua residual y está constituida, por el agua de abastecimiento, después de haber sido modificada su calidad por los diversos usos a que ha sido sometida. Las aguas residuales pueden estar constituidas por la combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, presenta una clasificación de estas según su origen.

2.4.1. Agua residual de tipo especial

Son las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

2.4.2. Agua residual de tipo ordinario

Las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

2.5. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales poseen características que varían ampliamente de industria a industria, pero existen características generales en las que se agrupan las sustancias de iguales efectos sobre la calidad de las mismas⁸.

2.5.1. Parámetros de aguas residuales según Acuerdo Gubernativo 236-2006

El Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, requiere la caracterización del efluente de agua residual para determinar las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el reglamento. Dichos parámetros son las variables que identifican cada una de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.

2.5.1.1. Temperatura

Las aguas residuales industriales tienden a presentar una temperatura superior a la de los cursos de agua. La mayoría de los procesos biológicos se aceleran cuando la temperatura se incrementa y se desaceleran cuando la temperatura disminuye. Debido a que la utilización del oxígeno es provocada por el metabolismo de los microorganismos, la tasa de utilización es afectada de igual forma por la temperatura.

⁸POOT DELGADO, Carlos A.; CORREAL S., Magda Carolina.
<www.itescham.com/Syllabus/Doctos/r1340.PPT> [Consulta: 16 de marzo de 2011].

Es importante controlar las causas que pueden modificar significativamente la temperatura. En este sentido, juegan un papel importante los vertidos industriales que llevan “aguas utilizadas en intercambio de calor en diferentes etapas de los procesos industriales y que son eliminadas directamente, provocando grandes desequilibrios en los ecosistemas”⁹.

2.5.1.2. Potencial de hidrógeno

Las aguas residuales deben tener valores de pH entre 6 y 9 para que provoquen un mínimo impacto ambiental. Necesitan ser controladas a través del proceso de tratamiento. Las aguas residuales con valores de pH inferiores a 6 tenderán a ser corrosivas debido al exceso de iones hidrógeno. “Las aguas que presentan un pH superior a 9 tenderán a ser incrustantes”¹⁰.

Los cambios drásticos en el pH pueden afectar a los microorganismos en el sistema de tratamiento y la vida acuática de los cuerpos receptores. La mayoría de los organismos no los toleran.

En los cuerpos receptores, la acidez excesiva permite la liberación de metales tóxicos que de otra manera hubiesen quedado fijados al sedimento (y así pudiesen haber sido removidos más fácilmente por los sistemas de tratamiento de agua potable).

⁹ SEOÁNEZ CALVO, Mariano. *Ingeniería medioambiental aplicada. Casos prácticos.* p. 24.

¹⁰ PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. *Manual del ingeniero químico.* p. 77.

“La acidez es atribuible a las fracciones no ionizadas de ácidos débilmente ionizables, a la hidrólisis de sales y a la acidez mineral libre”¹¹. La alcalinidad es una medida de la habilidad del agua para aceptar electrones, y por lo tanto es producida por bases débilmente ionizables y por bases fuertes. Es necesario evaluar su valor, pues, aunque el proceso de oxidación biológica contribuye a amortiguar el sistema al producir dióxido de carbono como producto final, en algunos casos se requiere neutralización para que el proceso biológico opere bien.

2.5.1.3. Aceites y grasas

Se incluyen los aceites, grasas, ceras y otros compuestos relacionados. Interfieren con la actividad biológica en el sistema de tratamiento y en los cuerpos receptores. Estos compuestos tienden a flotar sobre la superficie del agua y limitan la transferencia de oxígeno.

2.5.1.4. Materia flotante

La determinación de materia flotante en aguas residuales es de gran importancia para el control y tratamiento de las descargas. Es un método cualitativo y se basa en la observación de la materia flotante en una muestra de aguas residuales en el sitio de muestreo.

¹¹ VALENCIA MONTOYA, Guillermo. *Características de aguas residuales y lodos*. <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>>. [Consulta: 25 de marzo de 2011].

2.5.1.5. Sólidos suspendidos totales

La presencia de sólidos en las aguas residuales provocan aumento en la turbidez, menor penetración de luz en las aguas lo que reduce la fotosíntesis. Pueden afectar la capacidad visual de los peces, también tapan sus branquias y afectan su crecimiento.

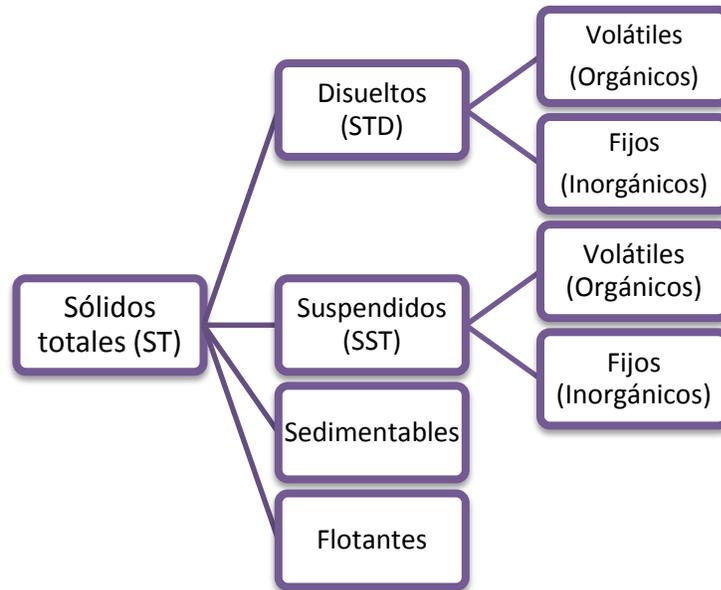
Los sólidos suspendidos totales de una muestra de agua residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, previamente pesado, que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos.

Los sólidos volátiles son aquella fracción que se volatiliza a 550 °C. La concentración de sólidos volátiles se suele considerar como una medida aproximada del contenido de materia orgánica, o en ciertos casos, de las concentraciones de sólidos biológicos tales como bacterias o protozoos.

Los sólidos fijos pueden determinarse por incineración en una mufla del residuo obtenido en el análisis de los sólidos totales y “constituyen una medida aproximada del contenido mineral del agua residual”¹².

¹² VALENCIA MONTOYA, Guillermo. *Características de aguas residuales y lodos*. <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>>. [Consulta: 25 de marzo de 2011].

Figura 2. **Identificación de sólidos suspendidos totales**



Fuente: PERRY, Robert H.; GREEN Don W. *Manual del ingeniero químico*. p. 79.

2.5.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, a veinte grados Celsius

“La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius”¹³.

La DBO es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica.

¹³ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. p. 3.

2.5.1.7. Demanda química de oxígeno

“La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química”¹⁴.

Parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables. Estos materiales son los pesticidas, insecticidas y herbicidas.

2.5.1.8. Nitrógeno total

Está constituido por el nitrógeno orgánico o albuminoideo, nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-). Las formas predominantes en las aguas residuales son nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal.

Cuando la materia orgánica contiene nitrógeno reducido, este se degrada produciendo amonio, el cual está en equilibrio químico con amoníaco. En las reacciones aerobias, el amonio es oxidado por las bacterias nitrificantes a nitrito. La oxidación posterior del nitrito por las bacterias nitrobáctera produce nitrato.

¹⁴ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* p. 3.

El nitrógeno y el fósforo, son nutrientes los cuales causan problemas importantes en el medio ambiente y requieren una especial atención en los vertidos de aguas residuales industriales. El nitrógeno, fósforo o ambos pueden provocar un aumento de la productividad biológica, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto, dando lugar a la eutrofización de lagos, ríos, etc.

2.5.1.9. Fósforo total

Está constituido por las formas usuales en solución acuosa: fósforo orgánico, polifosfato y ortofosfato. Con el tiempo, el fósforo orgánico y el polifosfato se degradan a ortofosfato, la cual se asume es la forma principal presente en las aguas residuales.

2.5.1.10. Metales pesados y cianuro total

El reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, incluye los siguientes metales dentro de los parámetros a analizar: arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc. La presencia de cualquiera de estos metales en cantidades excesivas interferirá con muchos usos beneficiosos del agua, debido a su toxicidad; por consiguiente, es frecuentemente deseable medir y controlar las concentraciones de estas sustancias.

Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más, descargan en sus aguas residuales diversos metales en forma de sales.

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio, son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben; llegan al ser humano por las cadenas alimenticias.

El cadmio se acumula en tejidos blandos y puede interferir en el metabolismo; el cromo es cancerígeno para el sistema respiratorio y venenoso para los peces; el plomo es un inhibidor de las enzimas e influye en el metabolismo celular y el mercurio es altamente tóxico a niveles relativamente bajos y se acumula en los peces.

2.5.1.11. Color

La naturaleza de las sustancias presentes en el agua residual, varía en función del uso que se le haya dado con anterioridad o de los materiales con que haya estado en contacto, muchos de los cuales producen una coloración característica que facilita su identificación. El color en el agua se debe a la existencia de sustancias disueltas o en suspensión o a la presencia de material coloidal.

Las aguas residuales industriales contienen algunos productos de desecho que alteran considerablemente el color de las aguas. Esto tiene como consecuencia dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambio de oxígeno en los cuerpos de agua.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece límites para el parámetro de color medido en unidades de platino-cobalto. Esta unidad de color es adoptada internacionalmente como referencia; el método se basa en la medición del color verdadero y/o aparente en una muestra de agua residual, mediante su comparación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto.

La unidad platino-cobalto es la equivalente a una solución de cloroplatinato de sodio que contenga 1,0 mg de platino por litro de solución. Estas unidades reciben este nombre debido a que a las soluciones de platino, generalmente se les adiciona una pequeña cantidad de cloruro de cobalto, con el objeto de intensificar el color y el brillo de las soluciones de cloroplatino.

2.5.1.12. Coliformes fecales

Se consideran organismos exclusivamente fecales, *Escherichia coli*, coliformes fecales y estreptococos fecales. “El término coliformes agrupa a diversas especies bacterianas que pertenecen a la familia de las Enterobacteriáceas, y cuya característica fundamental es la fermentación de la lactosa con producción de gas”¹⁵.

El interés indicador de este grupo de organismos, obedece a la presencia de gran número de ellos en las materias fecales de los animales de sangre caliente y a su resistencia a los agentes antisépticos, sobre todo al cloro y sus derivados.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 incluye como característica biológica del agua residual las coliformes fecales. Este es el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

¹⁵ SEOÁNEZ CALVO, Mariano. *Ingeniería medioambiental aplicada. Casos prácticos*. p. 24.

2.6. Sistemas de tratamiento de agua residual

Las aguas residuales industriales presentan una alta heterogeneidad en cuanto a los componentes (disueltos, coloidales, en forma particulada, inorgánicos, orgánicos) que poseen. En general, para el tratamiento de agua residual se combinan varios procesos con el fin de conseguir el grado de depuración más alto al costo más bajo.

Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen:

- **Pretratamiento:** implica la remoción física de objetos grandes. Incluye homogeneización, neutralización, eliminación de grasas y aceites y cribado, para la remoción de material de mayor tamaño.
- **Tratamiento primario:** es necesario para retirar materiales flotantes o pesados de las aguas residuales, colocando una malla u otro mecanismo para lograr separar los desechos suspendidos. En este tipo de tratamiento se incluyen tamices, cámaras de arena o desarenadores, sedimentación por gravedad y precipitación química.
- **Tratamiento secundario:** este tipo de tratamiento persigue la estabilización de distintos compuestos presentes en las aguas residuales mediante la acción de microorganismos, principalmente bacterias. Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios; en general, para aguas con alta carga orgánica se emplean sistemas aerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas anaerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria.

Los tratamientos biológicos incluyen digestión biológica, usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos o lagunas.

- Tratamiento terciario: el objetivo principal de los tratamientos terciarios es la eliminación de sustancias que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario; son tratamientos específicos y costosos. Los procesos y las unidades de proceso que entran dentro de esta categoría incluyen la adsorción, el intercambio iónico, el arrastre, la oxidación química y la separación a través de membrana.

2.7. Descarga de agua residual

Esta descarga puede realizarse directamente sobre un cuerpo receptor o estar conectada al alcantarillado público. En este último caso implica que tendrá un tratamiento por parte de la municipalidad o ente encargado, previo a descargarlo a un cuerpo receptor.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 reconoce dos destinos para las descargas de agua residual:

2.7.1. Cuerpo receptor

Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

2.7.2. Alcantarillado público

Es el conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.

2.8. CIIU

La Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU), es una clasificación sistemática realizada por la División de Estadística de las Naciones Unidas, que tiene como propósito agrupar las actividades similares por categorías que facilitan el manejo de información para el análisis estadístico y económico del sector empresarial. Por consiguiente, la CIIU se propone presentar ese conjunto de categorías de actividad de modo tal, que las entidades se puedan clasificar en función de la actividad económica que realizan.

La definición de las categorías de la CIIU versión 3.1 se ha vinculado en la medida de lo posible con la forma en que está estructurado en unidades el proceso económico y con la manera en que se describe ese proceso en las estadísticas económicas.

2.8.1. Ámbito de la clasificación

La CIIU es una clasificación por tipos de actividades económicas, por lo que su ámbito de aplicación se ha restringido históricamente a la clasificación de las unidades dedicadas a actividades de producción económica, según la siguiente definición, “la producción económica puede definirse como una actividad realizada bajo el control y la responsabilidad de una unidad institucional que utiliza insumos de mano de obra, capital y bienes y servicios para obtener otros bienes y servicios”¹⁶.

2.8.2. Jerarquía de clasificación

El CIIU versión 3.1 clasifica los sectores industriales por jerarquía incluyendo sección, división, grupo y clase de sector; abarcando desde lo más general hasta lo más específico en cuanto a actividad económica.

2.8.2.1. Sección: D – Industrias manufactureras

La industria manufacturera incluye las actividades de las unidades que se dedican a la transformación física y química de materiales, sustancias o componentes en productos nuevos. Las materias primas que se utilizan son procedentes de la ganadería, pesca, agricultura, entre otras actividades manufactureras.

¹⁶ United Nations Statistics Division. *CIIU revisión 3.1 Estructura detallada y notas explicativas*. <<http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=17&Lg=3>> [Consulta: 13 de marzo de 2011].

Las unidades de la sección de industrias manufactureras se suelen describir como plantas, factorías o fábricas y se caracterizan por la utilización de maquinaria y equipo de manipulación de materiales que funcionan con electricidad.

2.8.2.2. División: 15 – elaboración de productos alimenticios y bebidas

La industria alimentaria es la encargada de la elaboración y conservación de alimentos y bebidas para consumo humano y animal. Utiliza como materias primas productos de la agricultura, la ganadería y la pesca y comprende la producción de varios productos intermedios que no son directamente productos alimenticios. La actividad suele generar productos asociados de valor superior o inferior.

Dentro de esta división se contempla grupo y clase de industria:

- Grupo 151 - Producción, procesamiento y conservación de carne, pescado, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas.
 - Clase: 1511 - Producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos.

Las actividades que corresponden al sector D1511 del CIIU versión 3.1 son:

- Explotación de mataderos que realizan actividades de matanza, preparación y envasado de carne.
- Producción de carne fresca, refrigerada o congelada, en canales.

- Producción de carne fresca, refrigerada o congelada, en cortes.
- Matanza de aves de corral.
- Preparación de carne de aves de corral.
- Producción de carne de aves de corral fresca o congelada en porciones individuales.
- Producción de carne seca, salada o ahumada.
- Producción de productos cárnicos: embutidos.
- Producción de platos preparados de carne fresca.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Constituyen las variables dependientes e independientes objeto de medición y/o control en el desarrollo de la investigación.

3.1.1. Caracterización del efluente de aguas residuales

Los parámetros de calidad del agua están basados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, e incluyen los siguientes:

Variables independientes

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Materia flotante
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo

- Zinc
- Coliformes fecales
- Demanda química de oxígeno

Variables dependientes

- Grasas y aceites
- Sólidos suspendidos totales
- Color
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, a veinte grados Celsius

Tabla I. Variables dependientes, independientes, monitoreables y no monitoreables a tomar en cuenta

Variable	Independiente	Dependiente	Monitoreable	No Monitoreable
pH	X		X	
Temperatura °C	X		X	
G Y A mg/L		X	X	
MF	X		X	
SST mg/L		X	X	
DBO5 mg/L		X	X	
DQO mg/L	X		X	
N Total mg/L	X		X	
P Total mg/L	X		X	
As mg/L	X		X	
Cd mg/L	X		X	
CN mg/L	X		X	
Cu mg/L	X		X	
Cr hexavalente mg/L	X		X	
Hg mg/L	X		X	
Ni mg/L	X		X	
Pb mg/L	X		X	
Zn mg/L	X		X	
COLOR Pt-Co		X	X	
CF NMP/100 mL	X		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Se revisó la información de los estudios técnicos y monitoreos de 13 empresas ubicadas en el área metropolitana del sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos el CIU y la base de datos de la URHC del MARN. Se determinó que únicamente 2 empresas contaban con la información completa y se llenó el formulario de inspección que incluía descripción del proceso de producción y de la materia prima, e identificación del uso de agua en el proceso, de las etapas de generación de agua residual y de los sistemas de tratamiento aplicados.

Se acompañó a los técnicos de la URHC del MARN a realizar la evaluación del estudio técnico y monitoreo a las empresas restantes del sector. En la visita se completó el formulario de inspección.

Se realizó la toma de muestras de agua residual, en las empresas visitadas. Durante la toma de muestras se realizó la medición de los parámetros *in situ*. Las pruebas para la caracterización del agua residual se realizaron en el Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Por motivos ajenos a la investigación, a dos de las industrias monitoreadas no fue posible realizarles el análisis de coliformes fecales.

Con base en los parámetros prioritarios obtenidos, se realizó la propuesta de las unidades de tratamiento de agua residual que los reduzcan.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Persona que realiza el estudio: Beatriz Adriana Valle Oliva
- Asesor: Ingeniero Químico Francisco Aben Rosales Cerezo
Colegiado No. 402
- Coasesor: Ingeniero Químico Adolfo Macario Castro
Colegiado No. 1,465
- Personal Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Técnicos encargados de Evaluación de Estudio Técnico y Monitoreos de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

3.4. Recursos materiales disponibles

Se refiere a los recursos materiales que fueron utilizados en las diferentes etapas de la investigación.

3.4.1. Determinación de parámetros (procesamiento de la información)

- Equipo de cómputo para procesamiento de la información
- Formulario de inspección de industria
- Resultados de análisis de agua residual

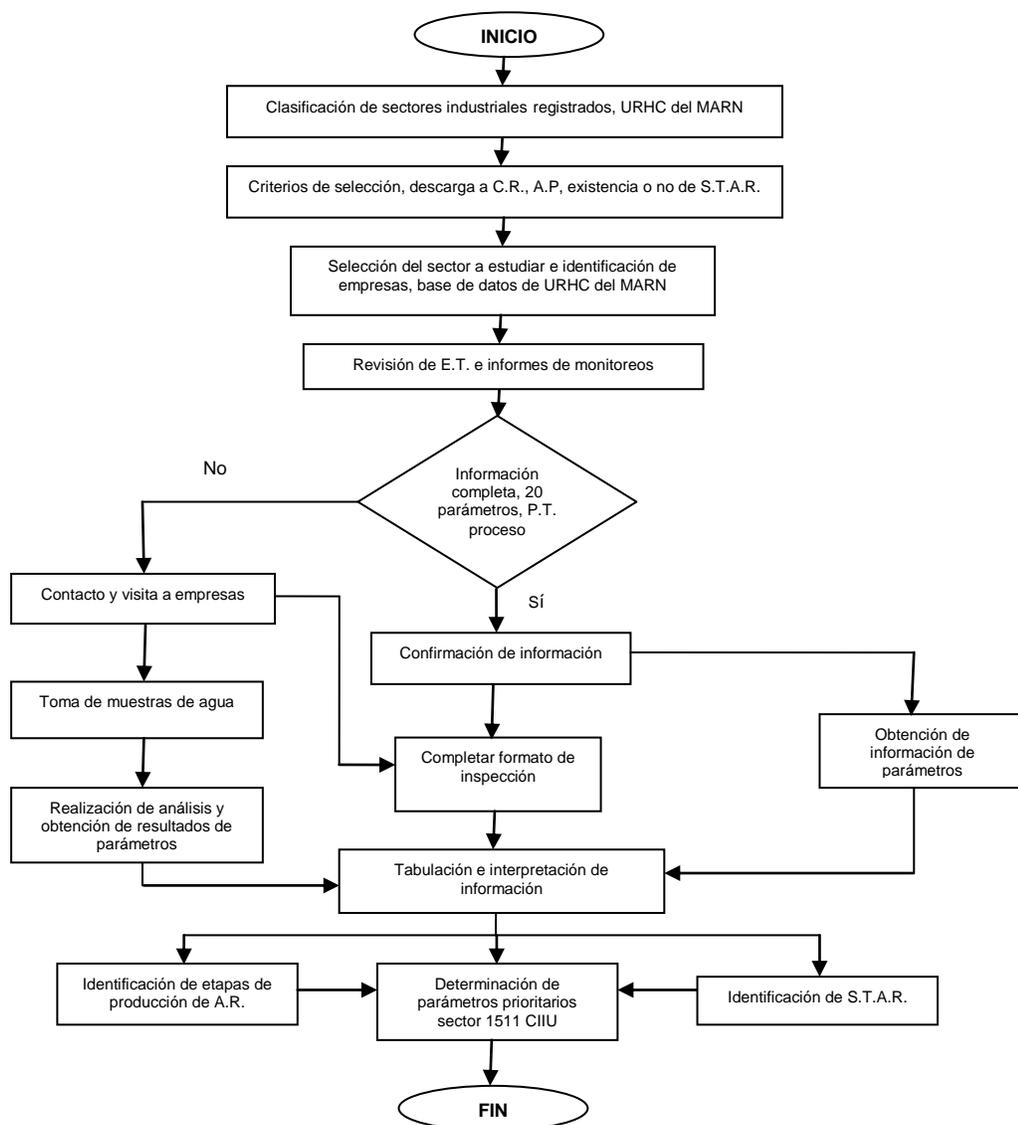
3.4.1.1. Equipo

- Frascos plásticos para toma de muestras
- Beacker plástico de 250 mL
- Hielera
- Equipo automático para toma de muestras
 - Sistema de muestreo ISCO GLS
 - Volumen de muestra variable en el rango de 10 mL a 9,9 L
 - Batería de Níquel-Cadmio recargable
 - Manguera de vinyl (50 pies)
 - Sonda de acero inoxidable
 - Acople
- Potenciómetro portable
 - Marca Hach
 - Electrodo digital

3.5. Técnica cualitativa

La técnica cualitativa es una explicación secuencial y ordenada de las etapas de la investigación para la obtención de los resultados.

Figura 3. Diagrama de técnica cualitativa



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se obtuvo información de los procesos productivos y se recolectaron muestras de aguas residuales para su posterior análisis.

3.6.1. Información de entes generadores

La información de los entes generadores, se obtuvo del registro existente en la URHC del MARN. Dicho registro está constituido por los estudios técnicos y monitoreos. Los entes generadores se encuentran clasificados por sector industrial según la CIU, versión 3.1.

Para el sector de producción, procesamiento y conservación de carne, ubicado en el área metropolitana, existe el registro de 13 empresas monitoreadas previamente; de las cuales 2 contenían información completa y 11 requirieron de visita de campo. En dichas visitas se completó el formulario de inspección que incluye la descripción del proceso, en cuanto a actividades, etapas y materia prima; así como la identificación de las etapas en las cuales se usa agua y se produce agua residual.

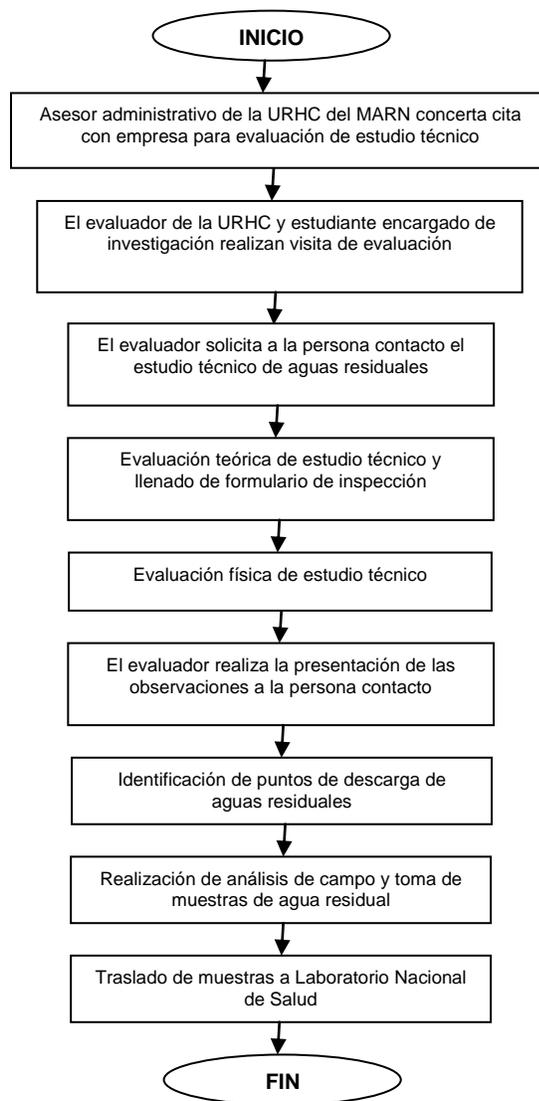
3.6.2. Obtención de muestras de agua residual

Se tomaron muestras de agua de las empresas del sector que lo ameritaron, para completar la información en el registro de la URHC del MARN. Dichas muestras se tomaron en la descarga final de las aguas residuales.

3.6.2.1. Procedimiento de visita a empresas

La visita a cada una de las empresas del sector se realizó siguiendo el procedimiento establecido en la URHC del MARN.

Figura 4. Diagrama de procedimiento de una visita a empresas

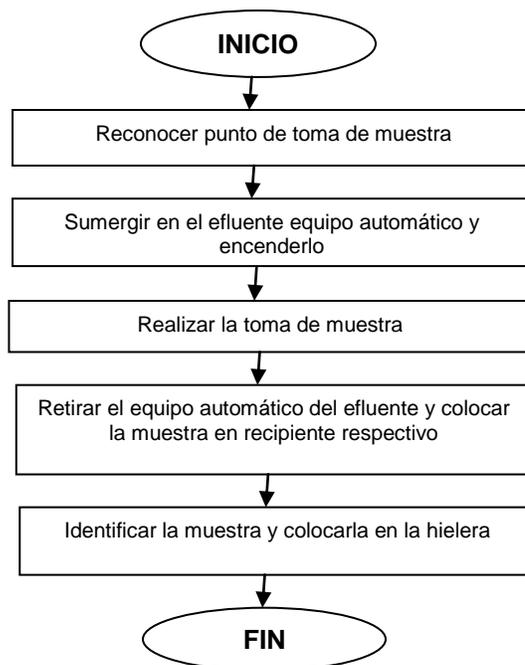


Fuente: elaboración propia.

3.6.2.2. Procedimiento para toma de muestras de agua

La toma de muestras de agua residual se realizó en la descarga final de las mismas, siguiendo el procedimiento establecido en la URHC del MARN.

Figura 5. Diagrama de procedimiento para la toma de una muestra de agua



Fuente: elaboración propia.

- Procedimiento para análisis en campo

Fue necesario obtener valores de los parámetros de calidad de agua en el momento de la toma de muestras, ya que podían cambiar durante el transporte hacia el laboratorio. Los siguientes análisis se realizaron *in situ*:

- Medición de pH y temperatura
 - El *beacker* con capacidad de 250 mL se sumergió en el efluente;
 - Dentro del *beacker* se sumergió el electrodo, el potenciómetro estaba calibrado previamente con una solución *buffer*;
 - Se tomó la lectura de pH y temperatura cuando se estabilizó.

3.6.3. Análisis de calidad del agua residual

Las muestras de agua residual se enviaron al Laboratorio Nacional de Salud para ser analizadas. Se obtuvieron los resultados de los análisis y se clasificaron por empresas del sector industrial objeto de estudio.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información recopilada para las 13 empresas estudiadas, se tabuló y ordenó para la determinación de los resultados.

3.7.1. Datos originales

Los datos originales se obtuvieron de los resultados de análisis del Laboratorio Nacional de Salud.

3.7.1.1. Tablas de tabulación de datos

Se tabularon los datos de los análisis de agua residual para cada empresa del sector industrial de la manera siguiente:

Tabla II. Principales lugares de descarga de agua residual

CIU	Descripción	Número de industrias a monitorear		Número de monitoreos
		Cuerpo receptor	Alcantarillado público	
1511	Producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos.	4	9	13

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Caracterización de aguas residuales sector 1511 CIU versión 3.1, descarga a cuerpo receptor**

Parámetro	No. de empresa			
	I	II	III	IV
pH	6,510	6,500	6,500	6,920
Temperatura °C	25,300	31,000	25,000	19,500
G Y A mg/L	11,200	10,400	58,400	10,000
MF	Presente	Ausente	Presente	Presente
SST mg/L	70,000	464,300	509,900	111,200
DBO5 mg/L	369,000	1 554,000	5 580,000	850,000
DQO mg/L	556,000	1 995,000	5 820,000	1 311,000
N total mg/L	7,600	2,200	0,700	0,500
P total mg/L	14,400	37,500	240,000	68,500
As mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Cd mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002
CN mg/L	0,050	0,160	0,138	0,079
Cu mg/L	0,350	0,350	0,350	0,350
Cr hexavalente mg/L	0,050	0,480	0,200	0,350
Hg mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001
Ni mg/L	0,500	0,500	0,500	0,500
Pb mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Zn mg/L	0,540	0,350	0,580	0,350
Color Pt-Co	760,000	2 518,000	7 966,500	1 833,400
CF NMP/100 mL	15 000 000,000	240 000 000,000	30,000	21 000,000

Fuente: elaboración propia. Con base en resultados de análisis del LNS.

Tabla IV. **Caracterización de aguas residuales sector 1511 CIU versión 3.1, descarga a alcantarillado público**

Parámetro	No. de empresa			
	V	VI	VII	VIII
pH	7,000	7,500	6,000	7,500
Temperatura °C	24,000	22,000	22,000	22,000
G Y A mg/L	181,600	1 194,800	54,800	221,200
MF	Presente	Presente	Presente	Presente
SST mg/L	250,200	296,100	266,600	41,900
DBO5 mg/L	400,000	825,000	885,000	155,000
DQO mg/L	726,000	1 592,000	1 576,000	255,000
N total mg/L	0,500	4,900	10,500	7,900
P total mg/L	14,600	8,800	13,900	18,550
As mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Cd mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002
CN mg/L	0,180	0,167	0,168	0,043
Cu mg/L	0,350	0,350	0,350	0,350
Cr hexavalente mg/L	0,190	0,230	0,060	0,050
Hg mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001
Ni mg/L	0,500	0,500	0,500	0,500
Pb mg/L	0,008	0,005	0,005	0,005
Zn mg/L	0,760	0,640	0,350	0,350
Color Pt-Co	2 287,800	1 349,800	1 389,000	277,000
CF NMP/100 mL	24 000 000,000	46 000 000,000	110 000,000	2 400 000,000

Continuación de la tabla IV.

Parámetro	No. de empresa				
	IX	X	XI	XII	XIII
pH	7,500	5,500	7,500	7,200	7,150
Temperatura °C	37,000	23,000	23,500	25,700	22,600
G Y A mg/L	25 542,400	49,600	37,000	38,000	117,000
MF	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
SST mg/L	120,000	1 900,400	80,200	512,000	588,000
DBO5 mg/L	989,000	6 000,000	394,000	1 220,000	1 110,000
DQO mg/L	1 670,000	6 392,000	766,000	2 080,000	1 499,000
N total mg/L	94,000	965,000	24,000	63,000	23,000
P total mg/L	33,000	25,000	21,000	27,800	16,300
As mg/L	0,005	0,005	0,005	0,018	0,005
Cd mg/L	0,002	0,002	0,002	0,025	0,100
CN mg/L	0,040	0,400	0,068	0,010	0,050
Cu mg/L	0,350	0,350	0,350	0,030	0,030
Cr hexavalente mg/L	0,980	0,050	0,080	0,009	0,050
Hg mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0002	0,0002
Ni mg/L	0,500	0,500	0,500	5,550	0,008
Pb mg/L	0,005	0,009	0,005	0,100	0,100
Zn mg/L	0,810	0,470	0,350	0,180	0,140
Color Pt-Co	2 324,000	20 152,000	655,000	396,000	561,000
CF NMP/100 mL	---	---	460 000,000	2 400,000	11 000 000,000

Fuente: elaboración propia. Con base en resultados de análisis del LNS.

Tabla V. Límites permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpo receptor, otros países

Parámetro	Costa Rica	Honduras	México	República Dominicana
pH	5 a 9	6 a 9	--	6,5 a 9
Temperatura (°C)	15≤T≤40	<25	40	--
G Y A (mg/L)	30	10	25	--
MF	Ausente	Ausente	Ausente	--
SST (mg/L)	125	100	60	--
DBO5 (mg/L)	200	50	60	35
DQO (mg/L)	400	200	--	130
N total (mg/L)	--	--	25	20
P total (mg/L)	--	5	10	3
As (mg/L)	0,1	0,1	0.2	--
Cd (mg/L)	0,1	0,05	--	--
CN (mg/L)	1	0,5	2	--
Cu (mg/L)	0,5	0,5	6	--
Cr hexavalente (mg/L)	1,5	0,1	1	--
Hg (mg/L)	0,01	0,01	0,01	--
Ni (mg/L)	1	2	4	--
Pb (mg/L)	0,5	0.5	0,4	--
Zn (mg/L)	5	2	20	--
Color Pt-Co	50	--	--	--
CF NMP/100 mL	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia. Basada en normativas de aguas residuales de cada país, seleccionados por similitudes con regulación nacional.

Tabla VI. Límites permisibles de descarga de aguas residuales a alcantarillado público, otros países

Parámetro	Costa Rica	Honduras	México	República Dominicana
pH	6 a 9	5 a 9	5,5 a 10	6 a 9
Temperatura (°C)	≤40	<40	--	--
G Y A (mg/L)	100	--	100	--
MF	---	--	--	--
SST (mg/L)	500	--	--	--
DBO5 (mg/L)	300	--	--	350
DQO (mg/L)	1000	--	--	900
N total (mg/L)	--	--	--	40
P total (mg/L)	10	--	--	10
As (mg/L)	0,5	0,1	1	--
Cd (mg/L)	0,1	0,1	1	--
CN (mg/L)	2	0,5	2	--
Cu (mg/L)	2	1	20	--
Cr hexavalente (mg/L)	0,5	0,5	1	--
Hg (mg/L)	0,01	0,05	0,02	--
Ni (mg/L)	2	2	8	--
Pb (mg/L)	0,5	0,5	2	--
Zn (mg/L)	10	2	12	--
Color Pt-Co	--	--	--	--
CF NMP/100 mL	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia. Basada en normativas de aguas residuales de cada país, seleccionados por similitudes con regulación nacional.

Tabla VII. **Límites permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpo receptor y alcantarillado público**

Parámetro	Descarga a cuerpo receptor		Descarga a alcantarillado público	
	4ta. etapa A.G. 236-2006 *	Parámetros internacionales **	4ta. etapa A.G. 236-2006 *	Parámetros internacionales **
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	15≤T≤40	<40	<40
G Y A (mg/L)	10	10	60	60
MF	Ausente	Ausente	Ausente	--
SST (mg/L)	100	60	200	200
DBO5 (mg/L)	100	35	200	200
DQO (mg/L)	cuantificar	130	cuantificar	900
N total (mg/L)	20	20	40	40
P total (mg/L)	10	3	10	10
As (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
Cd (mg/L)	0,1	0,05	0,1	0,1
CN (mg/L)	1	0,5	1	0,5
Cu (mg/L)	3	0,5	3	1
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
Hg (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni (mg/L)	2	1	2	2
Pb (mg/L)	0,4	0,4	0,4	0,4
Zn (mg/L)	10	2	10	2
Color Pt-Co	500	50	500	--
CF NMP/100 mL	10 000	--	10 000	--

* Límites permisibles cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo 236-2006.

** Valor seleccionado a partir de límites permisibles de otros países.

Fuente: elaboración propia. Basada en normativas nacionales e internacionales.

Tabla VIII. **Fuentes de abastecimiento de agua**

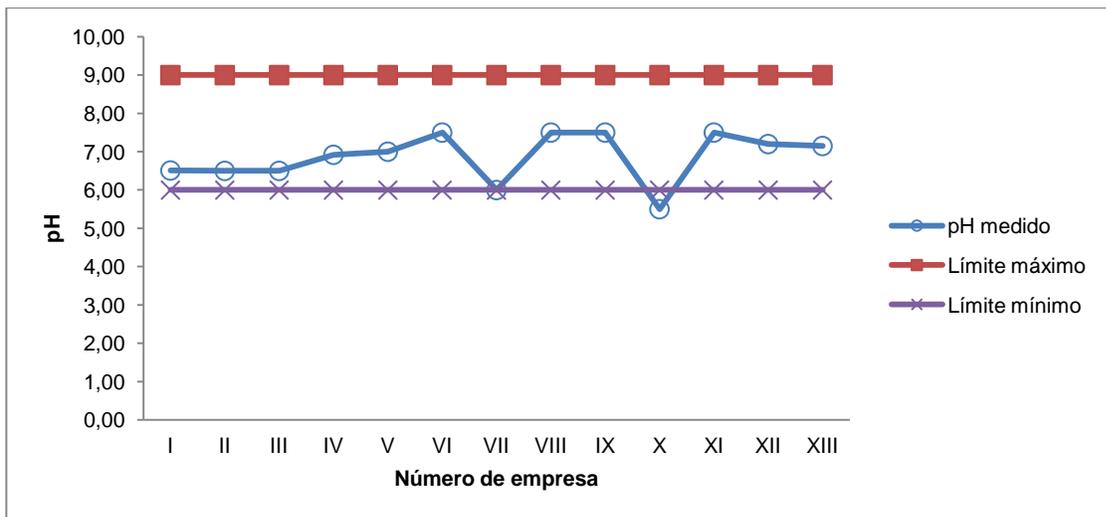
No. de empresa	Fuente de abastecimiento de agua
I	Municipal
II	Pozo propio
III	Pozo propio
IV	Pozo propio
V	Pozo propio
VI	Pozo propio
VII	Pozo propio
VIII	Pozo propio
IX	Pozo propio
X	Pozo propio
XI	Pozo propio
XII	Pozo propio
XIII	Pozo propio

Fuente: elaboración propia. Con base en formularios de inspección.

3.7.2. Datos calculados

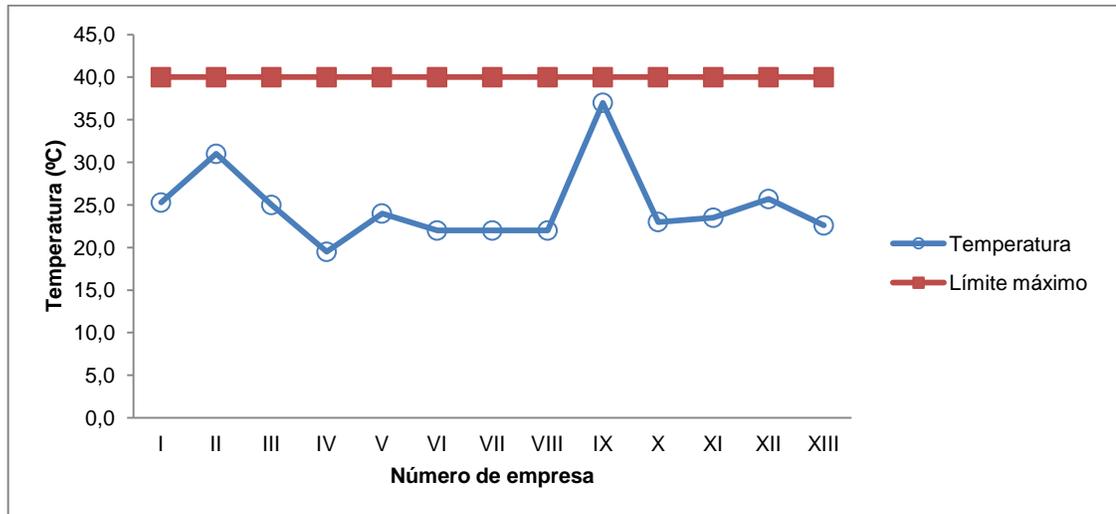
Se realizó un análisis gráfico comparando los valores de los parámetros monitoreados en cada una de las empresas, con los límites permisibles más bajos establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para identificar la representatividad de los parámetros.

Figura 6. Comparación de pH con límites permisibles de descarga



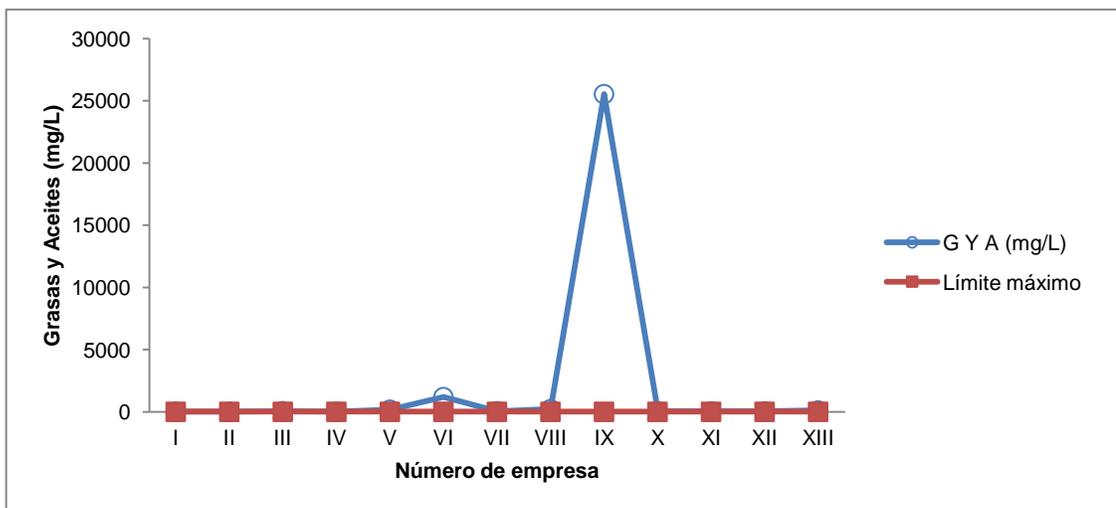
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 7. **Comparación de temperatura con límite permisible de descarga**



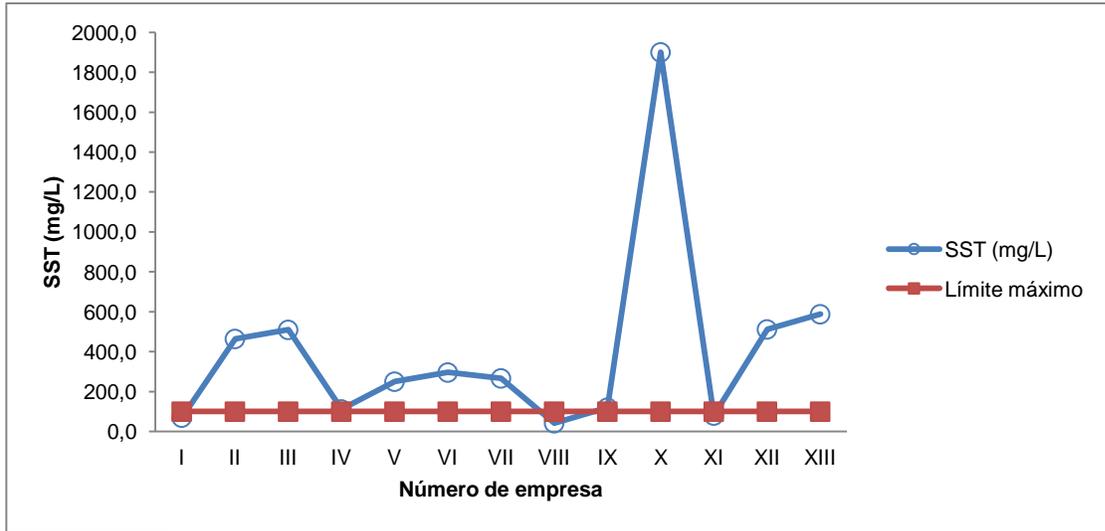
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 8. **Comparación de grasas y aceites con límite permisible de descarga**



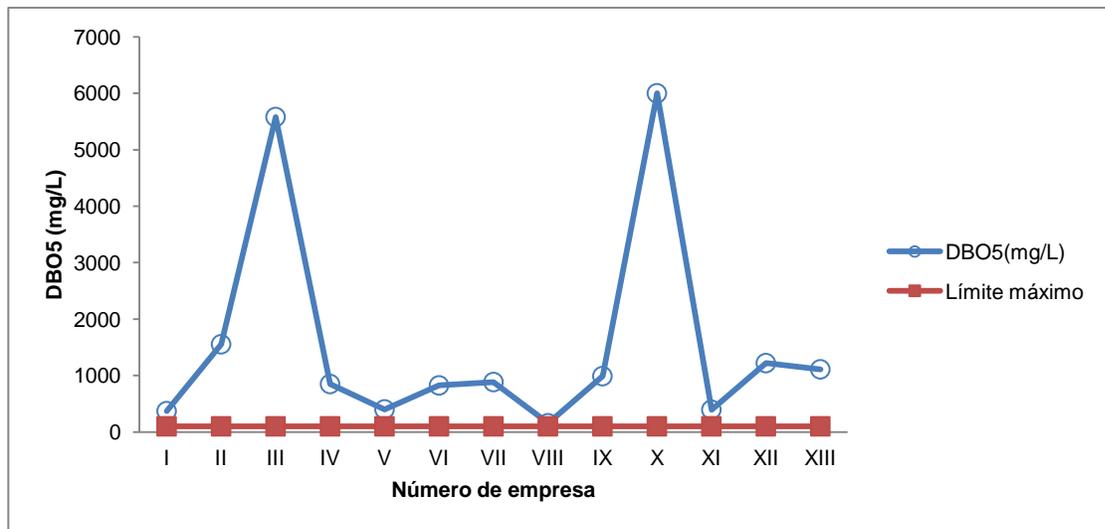
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 9. **Comparación de sólidos suspendidos totales con límite permisible de descarga**



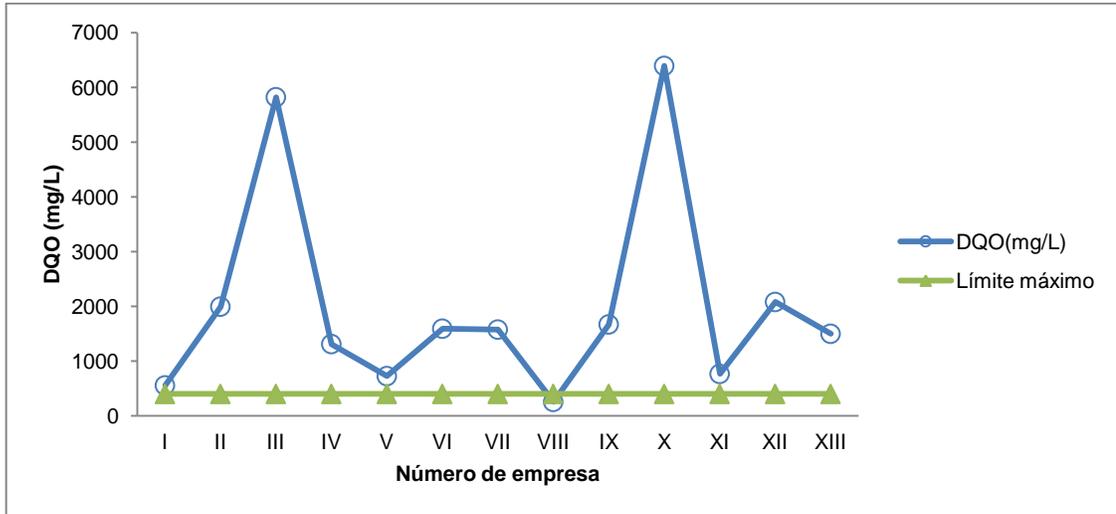
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 10. **Comparación de DBO5 con límite permisible de descarga**



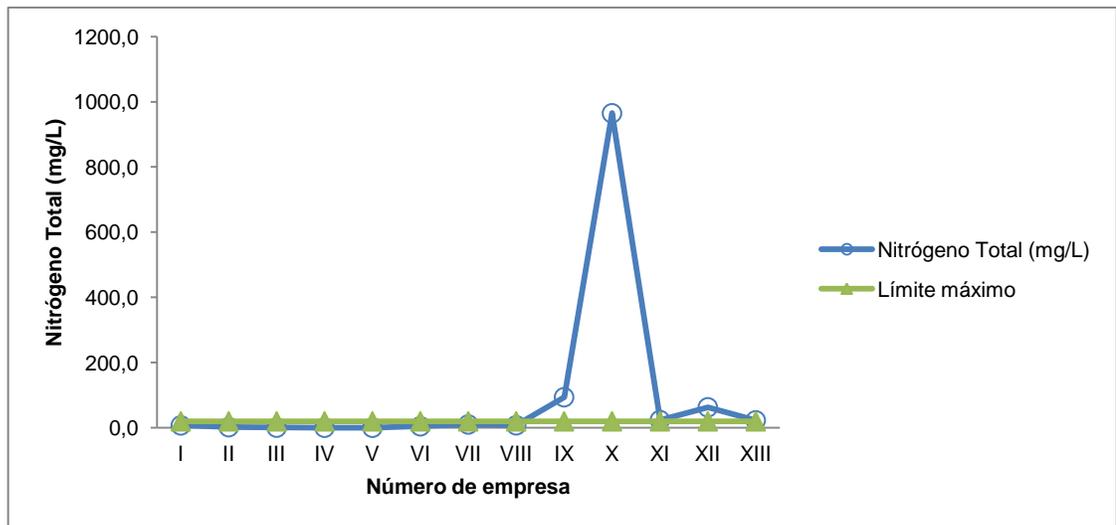
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 11. **Comparación de DQO con límite permisible de descarga**



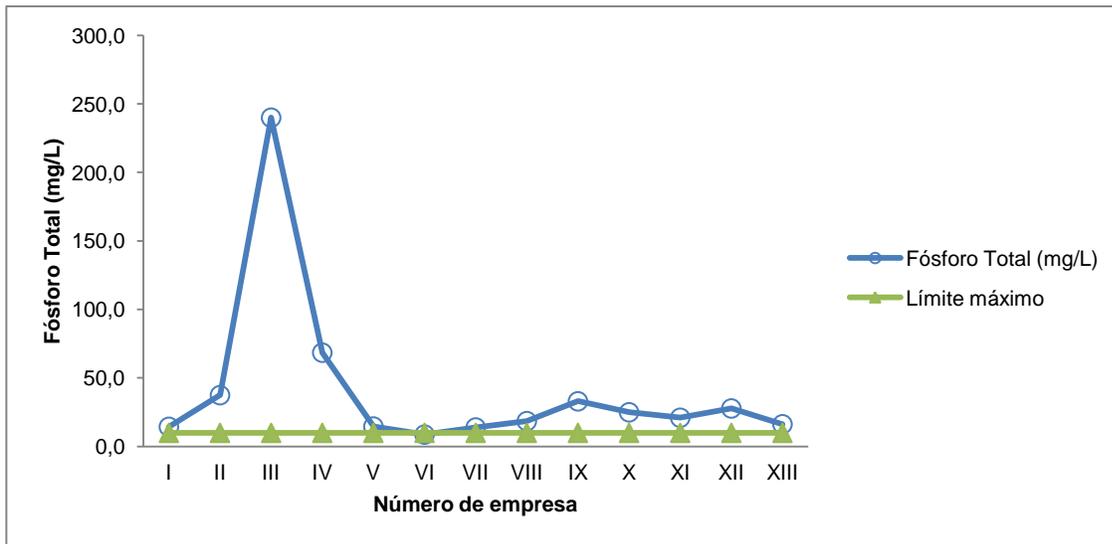
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 12. **Comparación de nitrógeno total con límite permisible de descarga**



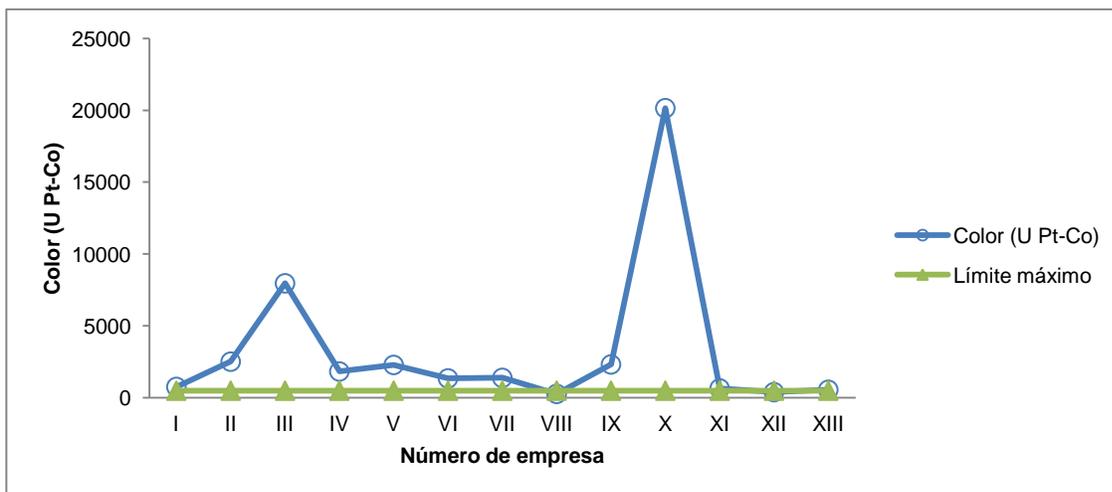
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 13. **Comparación de fósforo total con límite permisible de descarga**



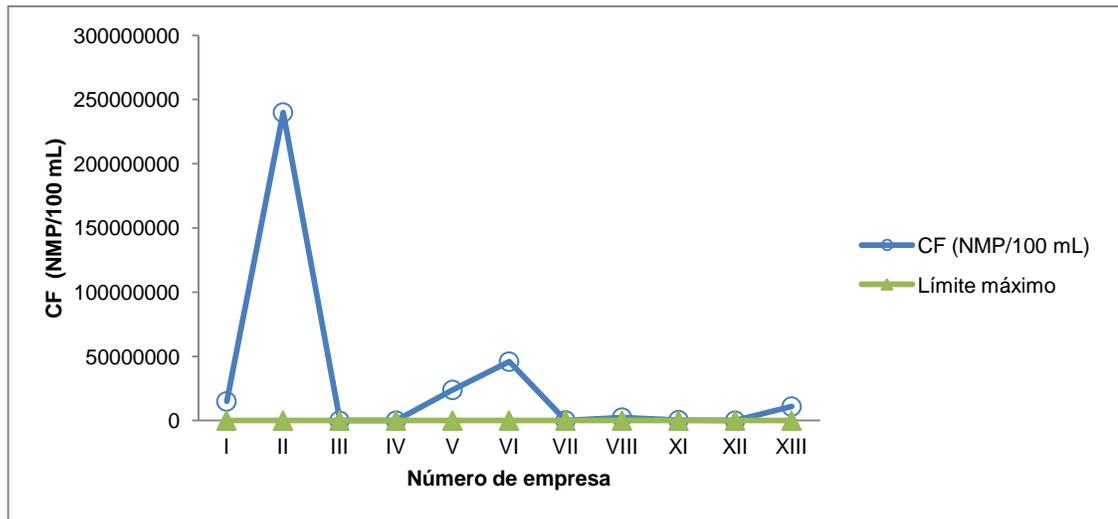
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 14. **Comparación de color con límite permisible de descarga**



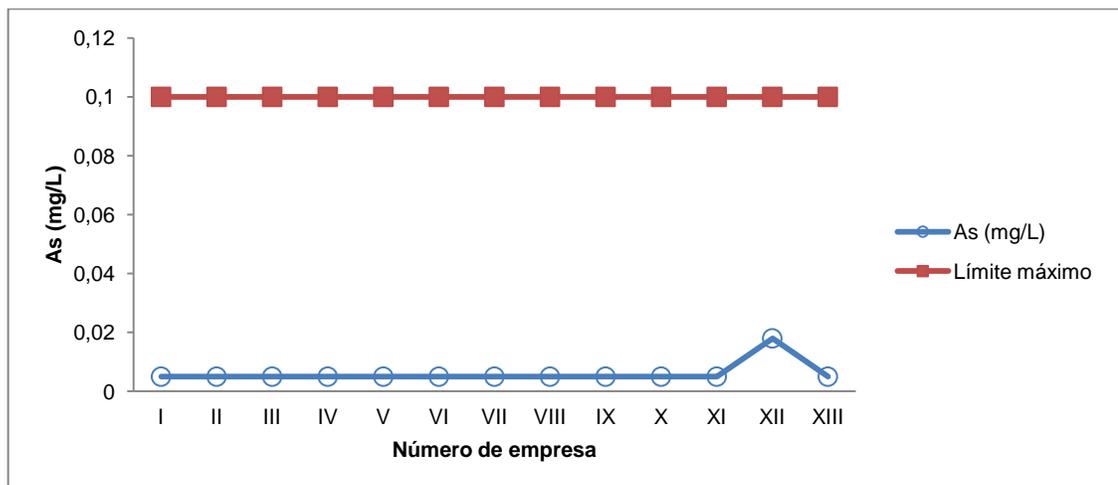
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 15. **Comparación de coliformes fecales con límite permisible de descarga**



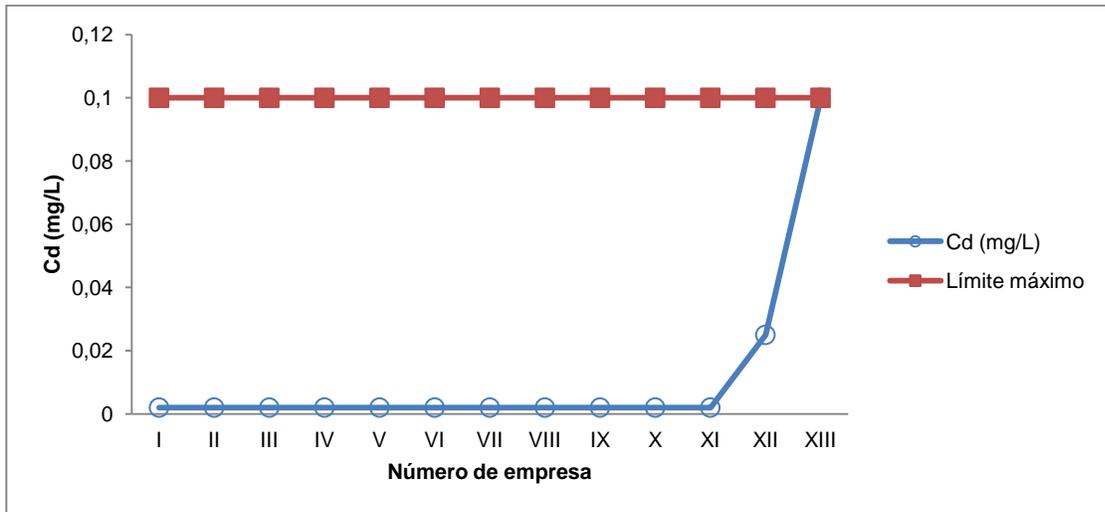
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 16. **Comparación de arsénico con límite permisible de descarga**



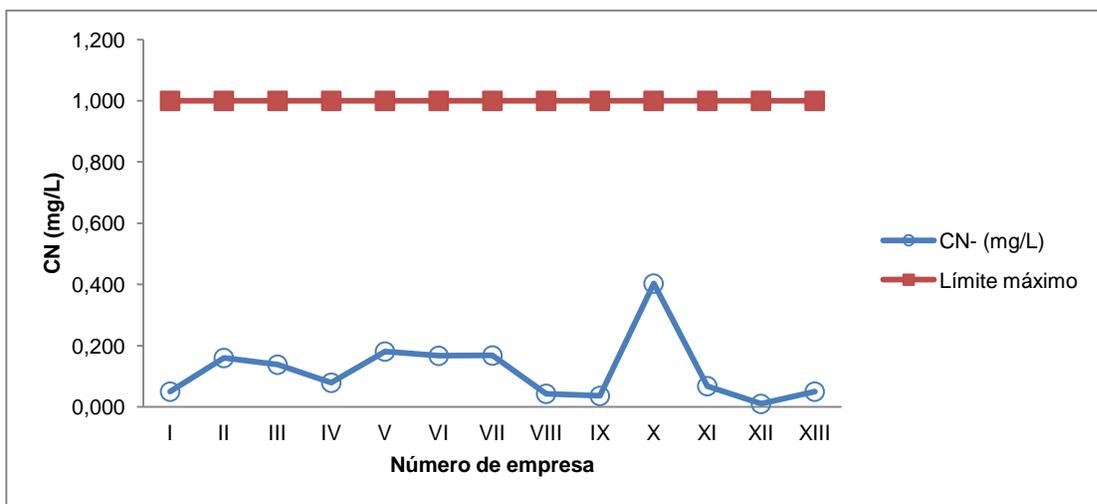
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 17. **Comparación de cadmio con límite permisible de descarga**



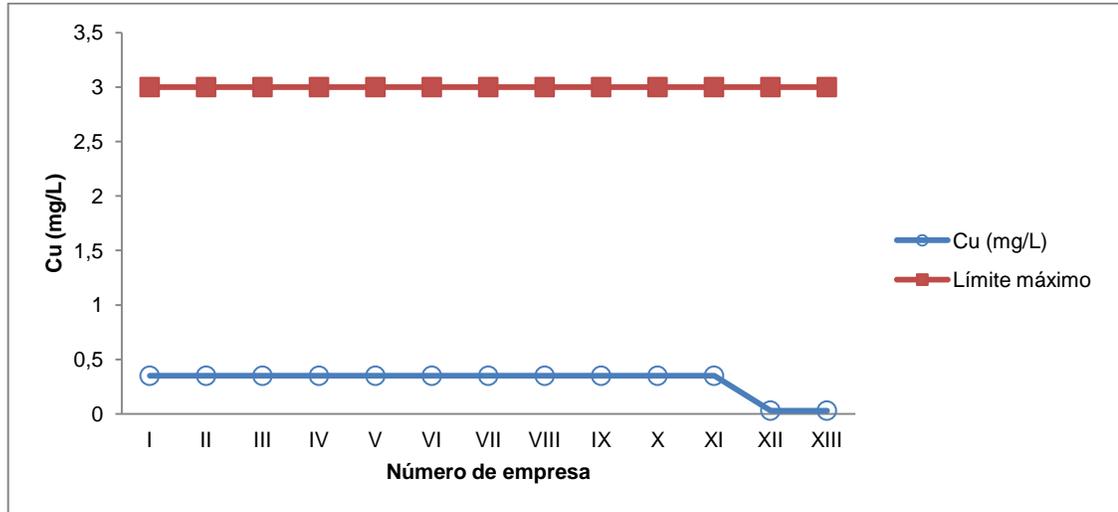
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 18. **Comparación de cianuro total con límite permisible de descarga**



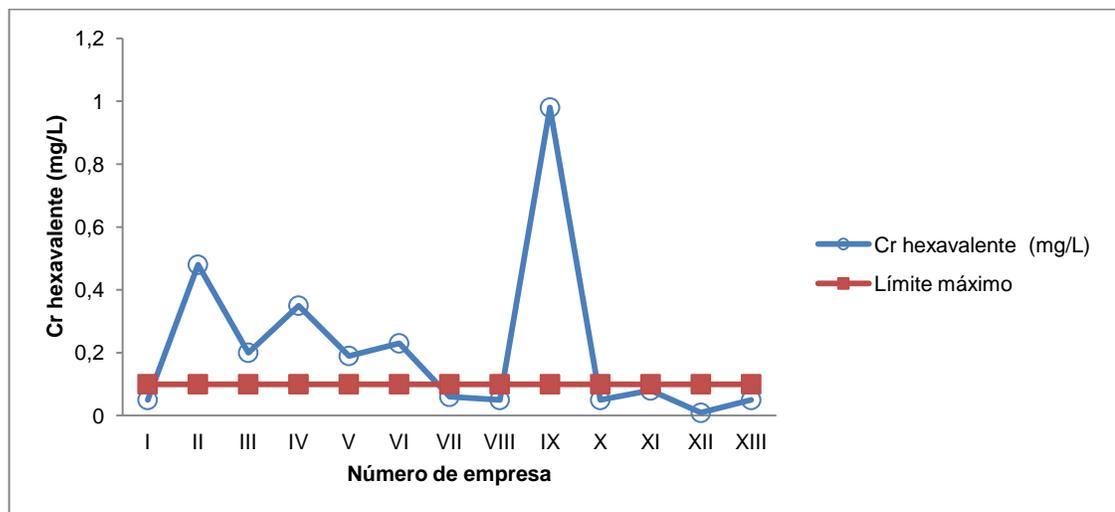
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 19. **Comparación de cobre con límite permisible de descarga**



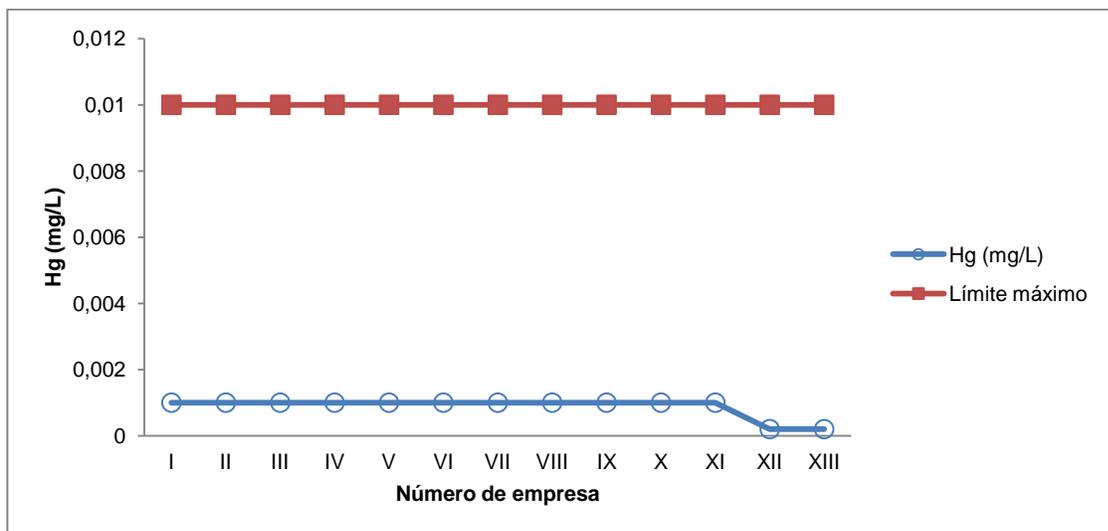
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 20. **Comparación de cromo hexavalente con límite permisible de descarga**



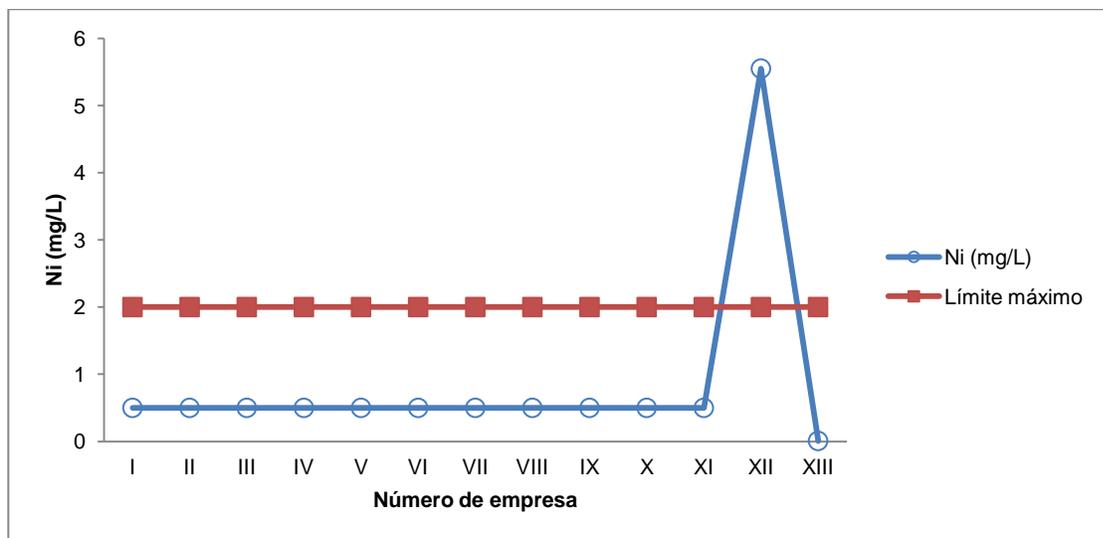
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 21. Comparación de mercurio con límite permisible de descarga



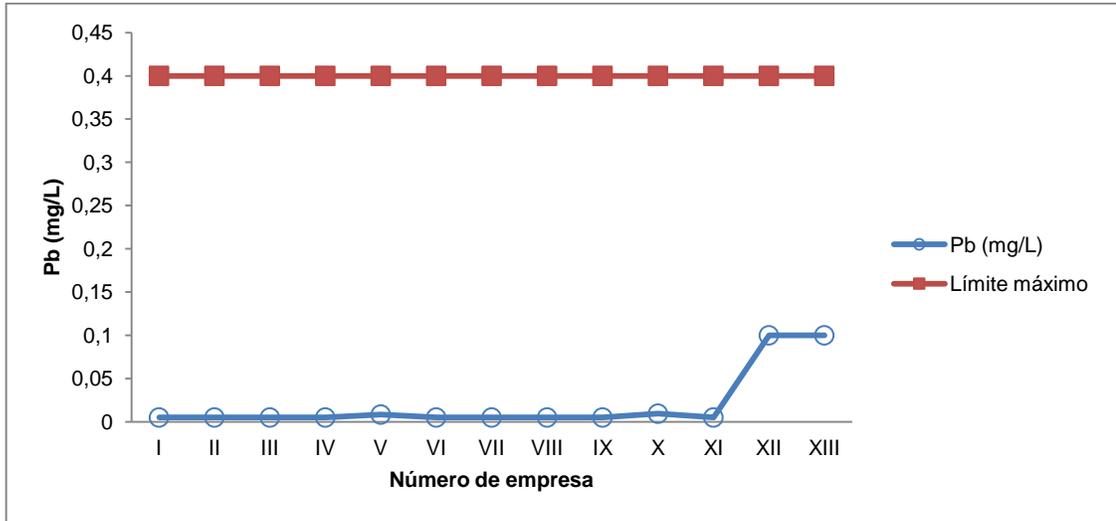
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 22. Comparación de níquel con límite permisible de descarga



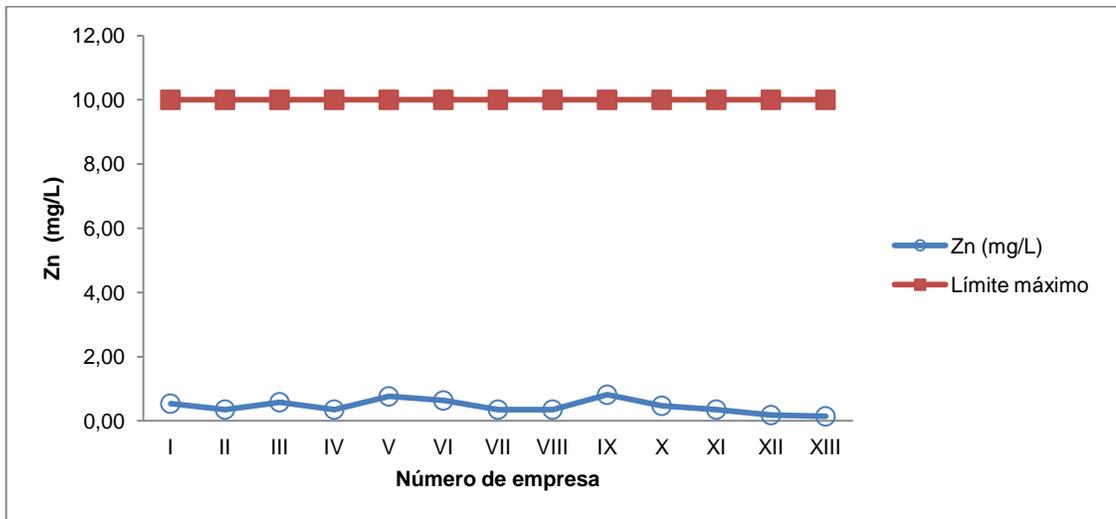
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 23. Comparación de plomo con límite permisible de descarga



Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Figura 24. Comparación de zinc con límite permisible de descarga



Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-VII.

Se determinó el porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga, para identificar la representatividad de los parámetros.

Tabla IX. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga a cuerpo receptor (total de 4 empresas)

Parámetro	Cantidad de empresas que cumplen parámetro nacional	Cantidad de empresas que cumplen parámetro internacional	% que cumple parámetro nacional	% que cumple parámetro internacional
pH	4	4	100,00%	100,00%
Temperatura °C	4	4	100,00%	100,00%
G Y A mg/L	1	1	25,00%	25,00%
MF	1	1	25,00%	25,00%
SST mg/L	1	0	25,00%	0,00%
DBO5 mg/L	0	0	0,00%	0,00%
DQO mg/L	--	0	--	0,00%
N total mg/L	4	4	100,00%	100,00%
P total mg/L	0	0	0,00%	0,00%
As mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Cd mg/L	4	4	100,00%	100,00%
CN mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Cu mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Cr hexavalente mg/L	1	1	25,00%	25,00%
Hg mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Ni mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Pb mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Zn mg/L	4	4	100,00%	100,00%
Color Pt-Co	0	0	0,00%	0,00%
CF NMP/100 mL	1	--	25,00%	--

Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III y VII.

Tabla X. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga a alcantarillado público (total de 9 empresas)

Parámetro	Cantidad de empresas que cumplen parámetro nacional	Cantidad de empresas que cumplen parámetro internacional	% que cumple parámetro nacional	% que cumple parámetro internacional
pH	8	8	88,89%	88,89%
Temperatura °C	9	9	100,00%	100,00%
G Y A mg/L	4	4	44,44%	44,44%
MF	0	--	0,00%	--
SST mg/L	3	3	33,33%	33,33%
DBO5 mg/L	1	1	11,11%	11,11%
DQO mg/L	--	3	--	33,33%
N total mg/L	6	6	66,67%	66,67%
P total mg/L	1	1	11,11%	11,11%
As mg/L	9	9	100,00%	100,00%
Cd mg/L	9	9	100,00%	100,00%
CN mg/L	9	9	100,00%	100,00%
Cu mg/L	9	9	100,00%	100,00%
Cr hexavalente mg/L	6	6	66,67%	66,67%
Hg mg/L	9	9	100,00%	100,00%
Ni mg/L	8	8	88,89%	88,89%
Pb mg/L	9	9	100,00%	100,00%
Zn mg/L	9	9	100,00%	100,00%
Color Pt-Co	2	--	22,22%	--
CF NMP/100 mL	1	--	14,29%	--

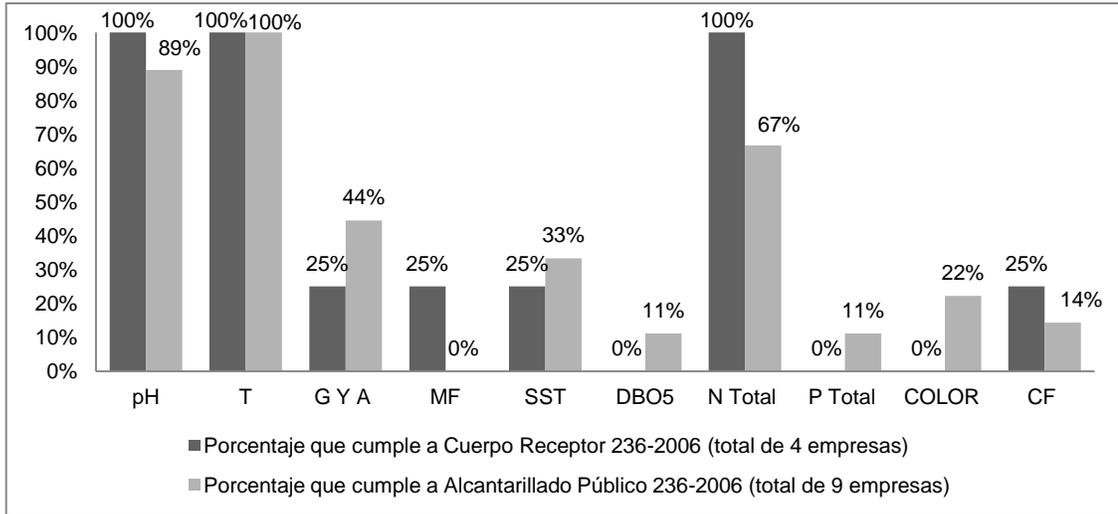
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas IV y VII.

Tabla XI. Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles nacionales e internacionales (total de 13 empresas)

Parámetro	Total de empresas que cumplen parámetro nacional	Total de empresas que cumplen parámetro internacional	% de empresas que cumplen con parámetro nacional	% de empresas que cumplen con parámetro internacional
pH	12	12	92,31%	92,31%
Temperatura °C	13	13	100,00%	100,00%
G Y A mg/L	5	5	38,46%	38,46%
MF	1	1	7,69%	7,69%
SST mg/L	4	3	30,77%	23,08%
DBO5 mg/L	1	1	7,69%	7,69%
DQO mg/L	--	3	--	23,08%
N total mg/L	10	10	76,92%	76,92%
P total mg/L	1	1	7,69%	7,69%
As mg/L	13	13	100,00%	100,00%
Cd mg/L	13	13	100,00%	100,00%
CN mg/L	13	13	100,00%	100,00%
Cu mg/L	13	13	100,00%	100,00%
Cr hexavalente mg/L	7	7	53,85%	53,85%
Hg mg/L	13	13	100,00%	100,00%
Ni mg/L	12	12	92,31%	92,31%
Pb mg/L	13	13	100,00%	100,00%
Zn mg/L	13	13	100,00%	100,00%
Color Pt-Co	2	--	15,38%	--
CF NMP/100 mL	2	--	18,18%	--

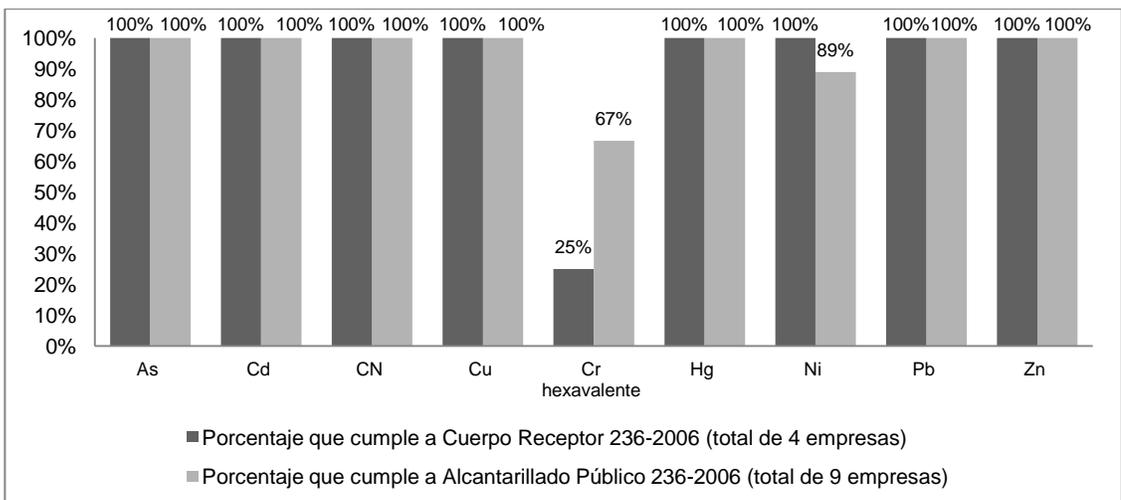
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III, IV y VII.

Figura 25. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites nacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte I



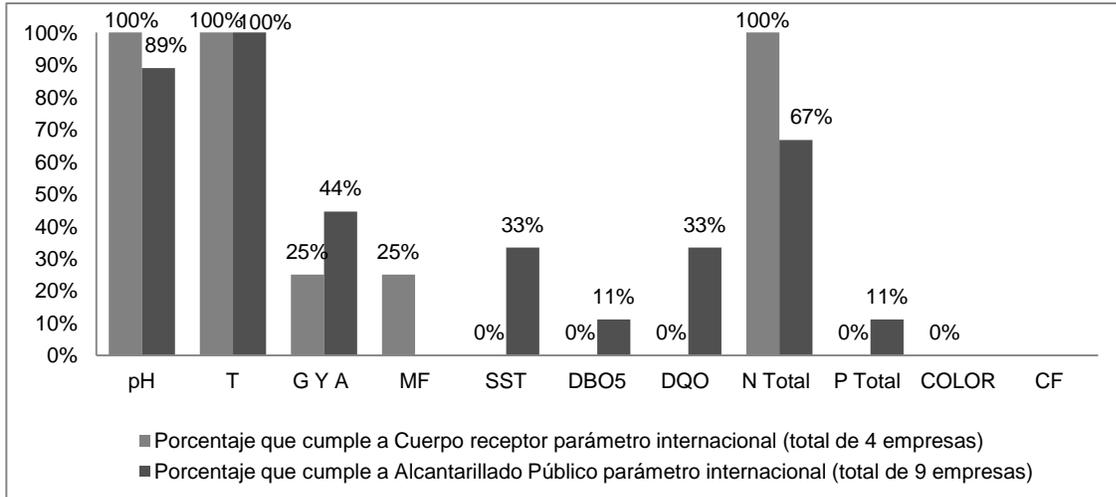
Fuente: elaboración propia. Basada en las tablas IX y X.

Figura 26. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites nacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte II



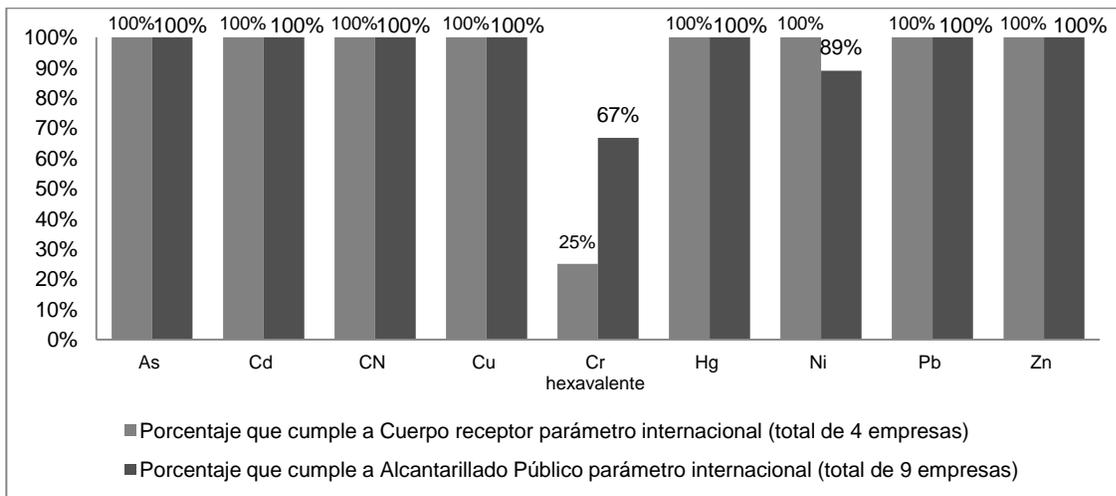
Fuente: elaboración propia. Basada en las tablas IX y X.

Figura 27. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites internacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte I



Fuente: elaboración propia. Basada en las tablas IX y X.

Figura 28. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites internacionales permisibles de descarga de aguas residuales parte II



Fuente: elaboración propia. Basada en las tablas IX y X.

Tabla XII. Porcentaje de empresas que no cumplen con el límite nacional permisible de cromo hexavalente, por tipo de proceso

Tipo de proceso	Total de empresas por tipo de proceso	Cantidad de empresas que no cumplen límite de cromo hexavalente	% de empresas
Cortes de carnes	2	2	28,57%
Embutidos	9	5	71,43%
Rastro de cerdos	1	0	0,00%
Rastro de pollos	2	0	0,00%
Total	14	7	100,00%

Fuente: elaboración propia. Con base en los formularios de inspección y en las tablas III, IV y VII.

Tabla XIII. Lugar de abastecimiento de agua, en porcentaje

Lugar de abastecimiento de agua	Cantidad de empresas	% de empresas
Municipal	1	7,69%
Pozo propio	12	92,31%
Total	13	100,00%

Fuente: elaboración propia. Con base en los formularios de inspección.

Se identificaron los sistemas de tratamiento, tipos de operaciones aplicadas y unidades de tratamiento de aguas residuales que se utilizan en la actualidad en las industrias del sector en estudio.

Tabla XIV. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales identificados

Tipo de tratamiento realizado	Cantidad de empresas	% de empresas
Sin tratamiento	1	7,69%
Pretratamiento	10	76,92%
Primario	1	7,69%
Secundario	1	7,69%
Terciario	0	0,00%
Total	13	100,00%

Fuente: elaboración propia. Con base en los formularios de inspección.

Tabla XV. Principales tipos de operaciones identificadas en los tratamientos de agua residual

Operación	Cantidad de empresas	% de empresas
Separación de grasas y aceites	6	40,00%
Separación de sólidos gruesos	1	6,67%
Separación de grasas y aceites y separación de sólidos gruesos	5	33,33%
Sedimentación por gravedad	1	6,67%
Precipitación química	1	6,67%
Tratamiento anaerobio	1	6,67%
Total	15	100,00%

Fuente: elaboración propia. Con base en los formularios de inspección.

Tabla XVI. **Principales unidades de tratamiento de agua residual identificadas**

Unidades de tratamiento	Cantidad de empresas	% de empresas
Trampa de grasas y aceites	5	41,67%
Rejillas de sólidos y trampa de grasas y aceites	5	41,67%
Trampa de grasas y aceites y Tanque Imhoff	1	8,33%
Rejillas de sólidos y Tanque de coagulación	1	8,33%
Total	12	100,00%

Fuente: elaboración propia. Con base en los formularios de inspección.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se hizo uso de la estadística descriptiva gráfica y numérica, para cada una de las variables investigadas.

Se hizo uso de la mediana como medida de tendencia central, según las características de los datos, para el análisis de los parámetros de agua residual del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

La mediana se define como el valor que deja igual número de observaciones a su izquierda que a su derecha, es decir, divide al conjunto de datos en dos partes iguales y se denota por Me.

Para una cantidad impar de datos, la mediana se representa justamente por el valor central, ordenado de mayor a menor.

Tabla XVII. **Resultados estimados del sector 1511 del CIU versión 3.1**

Parámetro	Me de monitoreo
pH	7,000
Temperatura °C	23,500
G Y A mg/L	54,800
MF	Presente
SST mg/L	266,600
DBO5 mg/L	885,000
DQO mg/L	1 576,000
N total mg/L	7,900
P total mg/L	21,000
As mg/L	0,005
Cd mg/L	0,002
CN mg/L	0,079
Cu mg/L	0,350
Cr hexavalente mg/L	0,080
Hg mg/L	0,001
Ni mg/L	0,500
Pb mg/L	0,005
Zn mg/L	0,350
Color Pt-Co	1 389,000
CF NMP/100 mL	2 400 000,000

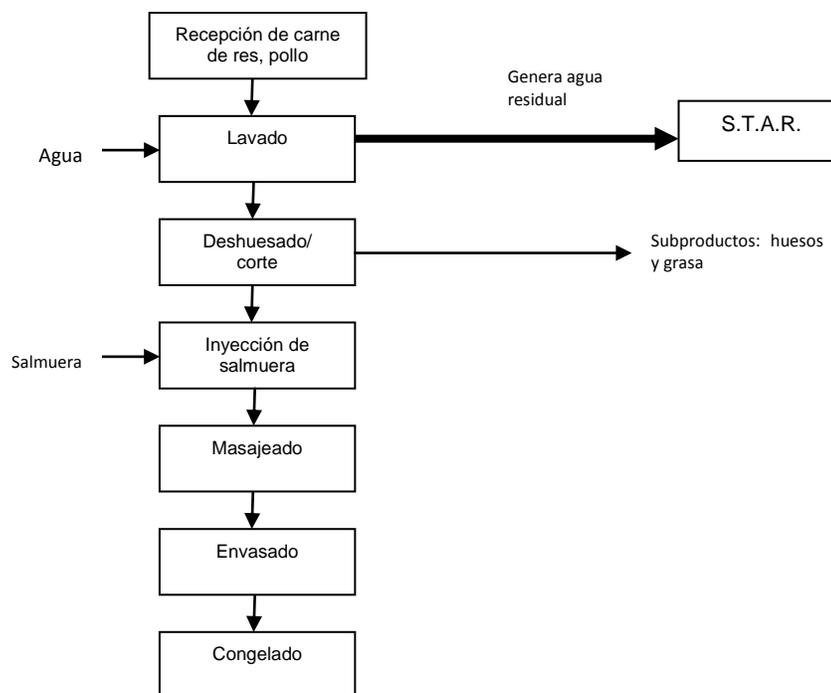
Fuente: elaboración propia. Con base en las tablas III-V.

4. RESULTADOS

4.1. Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas

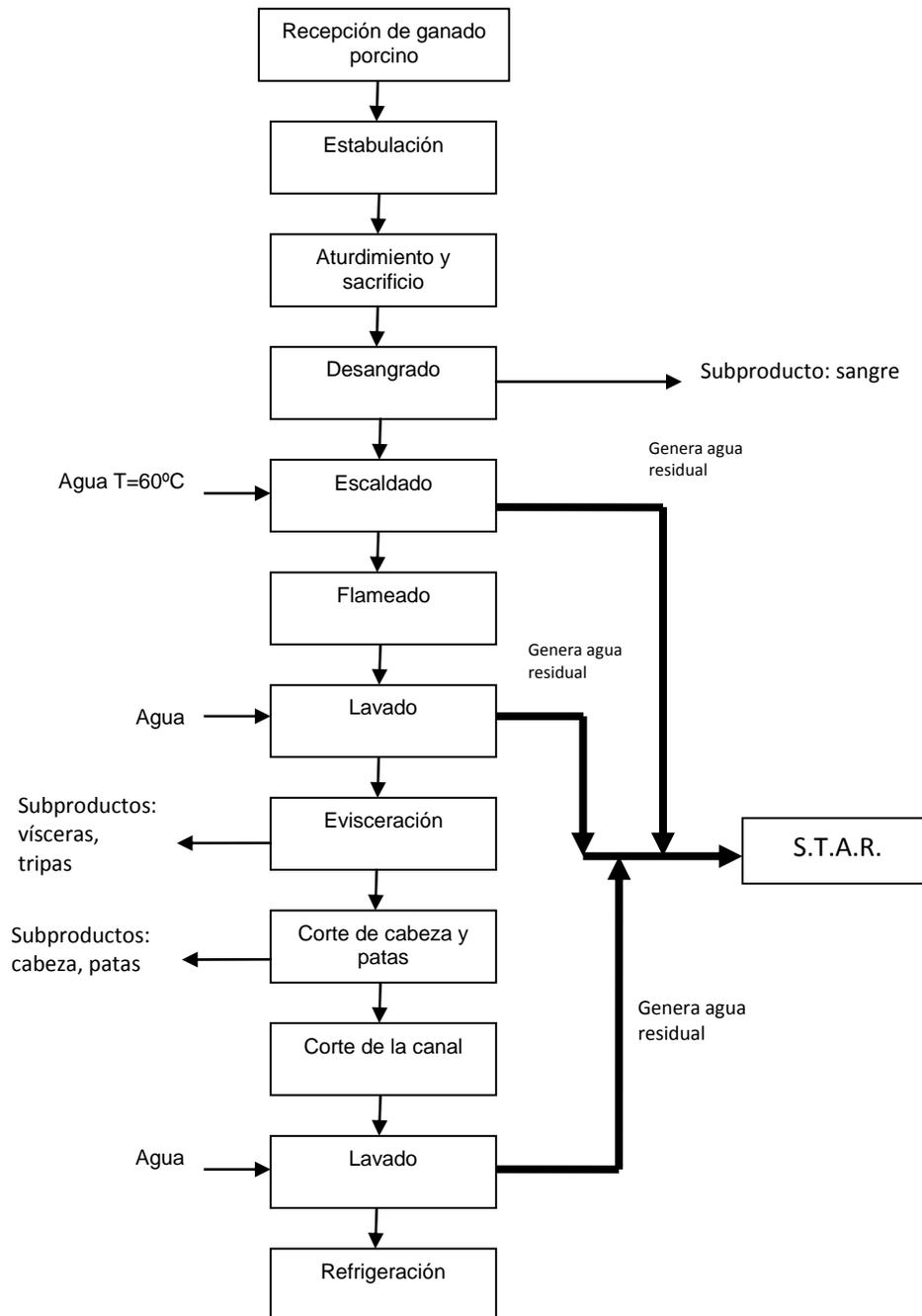
Se identificaron 4 procesos del sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos; que incluyen: mataderos de ganado porcino y de aves de corral, cortes de carnes y elaboración de embutidos.

Figura 29. Diagrama de proceso de producción de carne en cortes



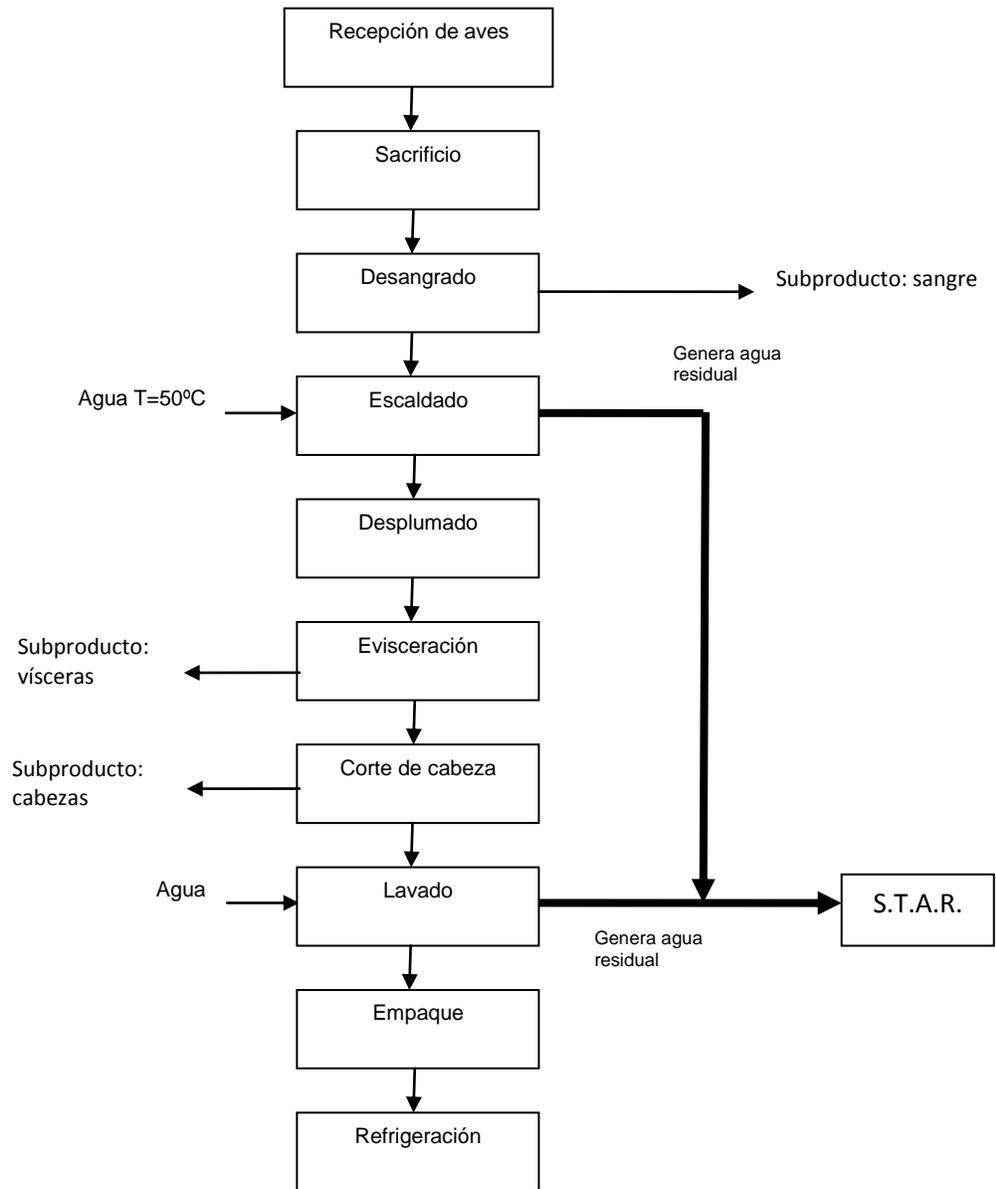
Fuente: elaboración propia. Con base en información obtenida en los formularios de inspección.

Figura 30. Diagrama de proceso de mataderos de ganado porcino



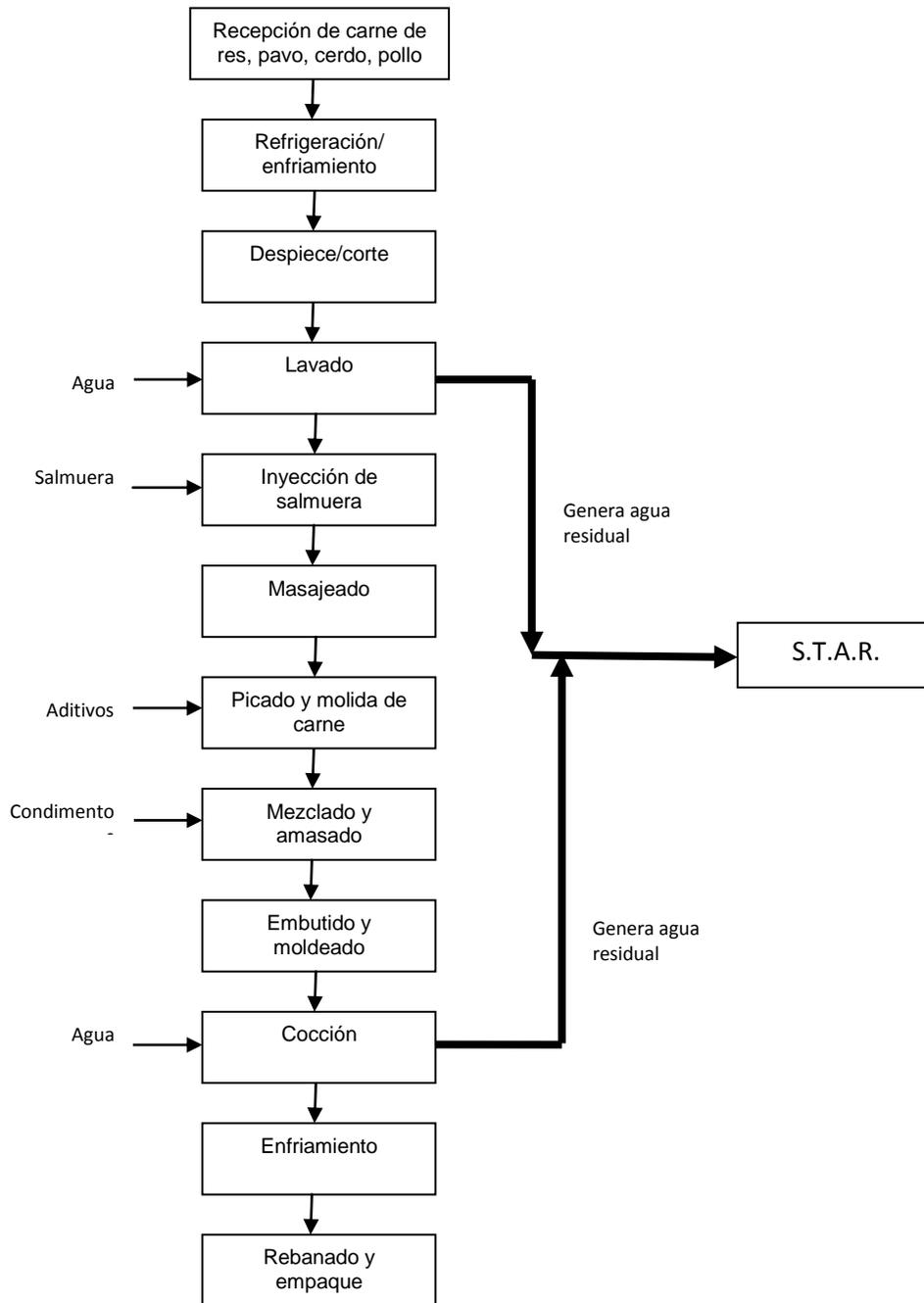
Fuente: elaboración propia. Con base en información obtenida en los formularios de inspección.

Figura 31. Diagrama de proceso de mataderos de aves de corral



Fuente: elaboración propia. Con base en información obtenida en los formularios de inspección.

Figura 32. Diagrama de proceso de elaboración de embutidos



Fuente: elaboración propia. Con base en información obtenida en los formularios de inspección.

Tabla XVIII. **Identificación de materias primas y su efecto en aguas residuales**

Materia prima	Actividad que genera agua residual	Parámetro en el que incide
Ganado porcino	Lavado de la canal, evisceración, escaldado	DBO, DQO, SST, MF, G Y A, color, N total, P total, CF, pH, T
Aves de corral	Lavado de la canal, evisceración, escaldado	DBO, DQO, SST, MF, G Y A, color, N total, P total, CF, pH, T
Carne	Lavado de carne	pH, Color, DBO, DQO, MF, SST, N Total, P Total, CF, G Y A
Sal común	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF
Saborizantes	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF
Preservantes	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF
Antioxidantes	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF
Colorantes	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF
Nitrato de sodio	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF, N total
Fosfato de sodio	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF, P total
Espicias	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF, N total, P total
Lactato de sodio	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF
Ácido ascórbico	Restos en lavado de equipo	DBO, DQO, SST, MF

Fuente: elaboración propia. Con base en información obtenida en los formularios de inspección.

4.2. Determinación de parámetros prioritarios

Para determinar los parámetros prioritarios en aguas residuales del sector se consideraron las principales fuentes de generación de parámetros de aguas residuales en los procesos productivos estudiados, así como el porcentaje de empresas que cumplen con parámetros nacionales e internacionales.

Tabla XIX. **Principales fuentes de generación de parámetros de aguas residuales**

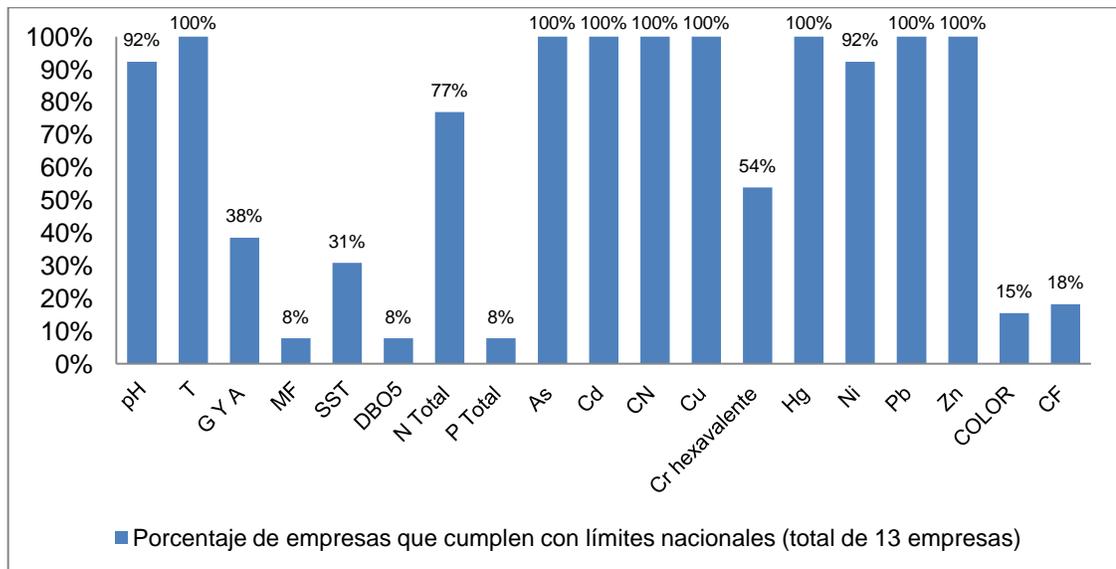
Parámetro	Principales fuentes
pH	Agua de escaldado, lavado de materia prima cárnica, estiércol, contenidos estomacales, lavado de equipos, productos detergentes y desinfectantes
Temperatura	Agua de escaldado, agua de cocción
G Y A	Agua de escaldado y lavado de canales
MF	Estiércol, contenidos estomacales, pelos, plumas, restos de carne, restos de aditivos
SST	Estiércol, contenidos estomacales, pelos, plumas, restos de carne, restos de aditivos
DBO5	Lavado de materia prima cárnica, agua de escaldado, estiércol, contenidos estomacales, lavado de equipos
DQO	Lavado de materia prima cárnica, agua de escaldado, estiércol, contenidos estomacales, lavado de equipos, productos detergentes y desinfectantes
N total	Estiércol, sangre, contenidos estomacales, productos detergentes y desinfectantes, nitrato de sodio, nitrito de sodio
P total	Productos detergentes y desinfectantes, sangre, estiércol, contenidos estomacales
As	No se genera durante el proceso
Cd	No se genera durante el proceso
CN´ total	No se genera durante el proceso

Continuación de la tabla XIX.

Parámetro	Principales fuentes
Cu	No se genera durante el proceso
Cr hexavalente	No se genera durante el proceso
Hg	No se genera durante el proceso
Ni	No se genera durante el proceso
Pb	No se genera durante el proceso
Zn	No se genera durante el proceso
Color	Sangre, estiércol
CF	Estiércol, conexión con alcantarillado sanitario

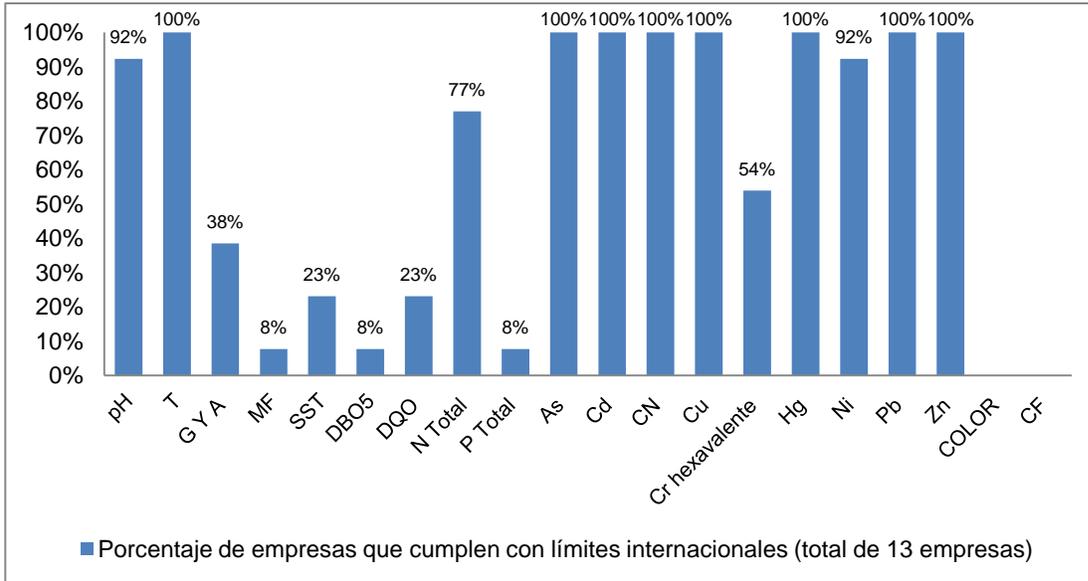
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles nacionales de descarga de aguas residuales



Fuente: elaboración propia. Con base en los datos de la tabla XI.

Figura 34. Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles internacionales de descarga de aguas residuales

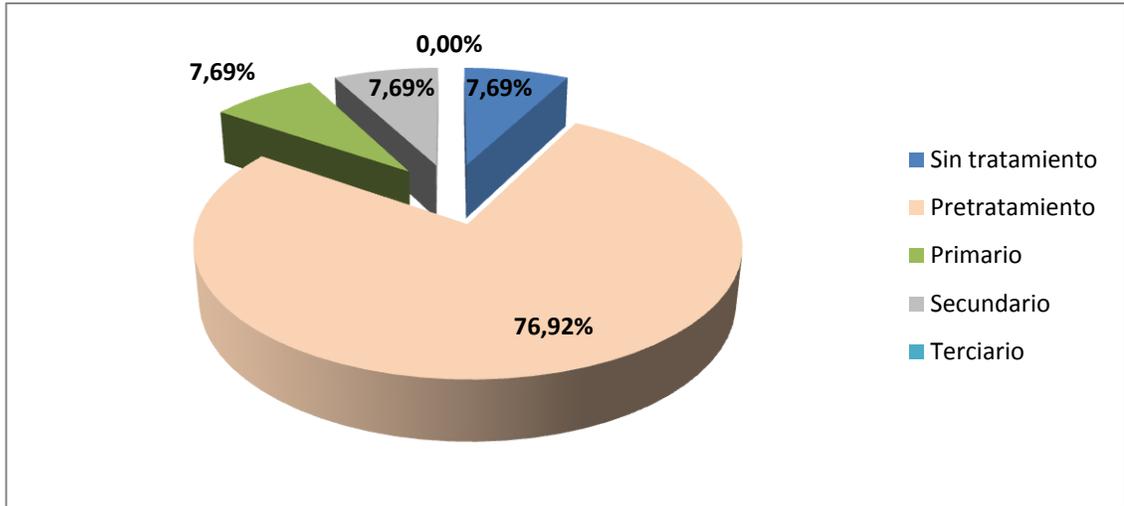


Fuente: elaboración propia. Con base en los datos de la tabla XI.

4.3. Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales

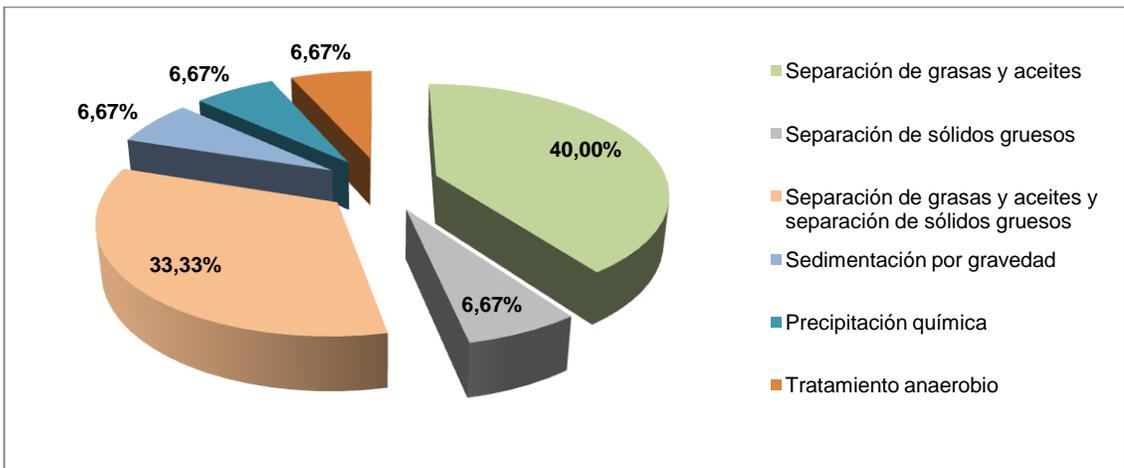
Se elaboraron gráficas representativas para la identificación de los sistemas de tratamiento de agua residual de mayor aplicación en el sector industrial estudiado.

Figura 35. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales identificados en porcentaje (total de 13 empresas)



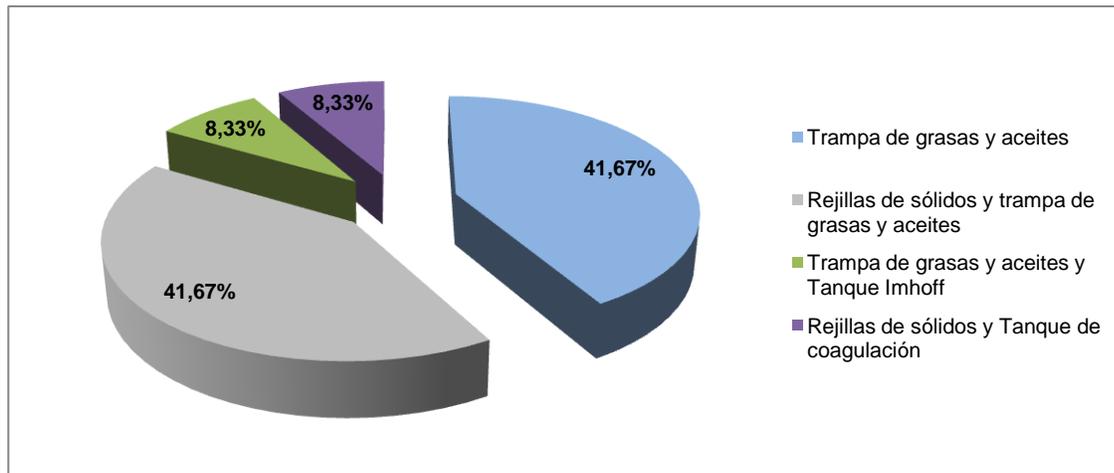
Fuente: elaboración propia. Con base en la tabla XIV.

Figura 36. Principales tipos de operaciones identificadas en los tratamientos de agua residual en porcentaje (total de 13 empresas)



Fuente: elaboración propia. Con base en la tabla XV.

Figura 37. Principales tipos de unidades de tratamiento de agua residual identificadas en porcentaje (total de 13 empresas)



Fuente: elaboración propia. Con base en la tabla XVI.

4.4. Propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales

La propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales se realizó con base en la reducción de los parámetros determinados como prioritarios en el presente estudio, la propuesta incluye desde un pretratamiento hasta un tratamiento terciario.

Tabla XX. **Unidades de tratamiento y parámetros que reducen**

Tipo de tratamiento propuesto	Unidad de tratamiento propuesta	Parámetros que reduce
Pretratamiento	Rejillas de sólidos	SST, MF
	Trampa de grasas y aceites	G Y A
	Tanque homogenizador	pH, T
Tratamiento primario	Tamices	SST, MF
	Precipitación química	P total, N total
Tratamiento secundario	Lodos activados	DBO5, DQO, N total, P total, color, CF
	Filtros biológicos	DBO5, DQO, N total, P total, color, CF
	Sistema aerobio-anóxico	N total
Tratamiento terciario	Filtros de arena	SST, color, CF

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas

En el sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, ubicado en el área metropolitana; considerando la base de datos de entes generadores de la URHC del MARN, se identificaron 4 procesos productivos que incluyen mataderos de ganado porcino, mataderos de aves de corral, cortes de carnes y elaboración de embutidos.

El aspecto ambiental más significativo de estas actividades es la generación de aguas residuales, derivada principalmente del lavado de la materia prima cárnica, con lo que se busca reducir el nivel de microorganismos que la contaminen de forma superficial; etapas de escaldado y cocción, además del lavado y desinfección de equipo con el consecuente transporte de residuos en el agua; como está indicado en los diagramas de proceso de las figuras 26 a la 29.

Con base en el diagrama de proceso de la elaboración de embutidos indicado en la figura 29, se puede identificar que existe una etapa de cocción de los embutidos, misma que se realiza por inmersión del producto en agua caliente (marmitas) o en cámaras de vapor. Las aguas residuales generadas en esta etapa presentan aumento de la temperatura, grasas y aceites, sólidos suspendidos y materia flotante.

Según la tabla XVIII, se identificaron las materias primas utilizadas en el sector estudiado y los efectos que tienen sobre las aguas residuales, con base en las actividades del proceso que las generan. En dicha tabla se puede observar que el lavado de la carne en canales y la evisceración inciden en el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, materia flotante, grasas y aceites, color, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, pH y temperatura. Esto se debe a que las aguas residuales generadas en estas etapas arrastran restos de sangre, estiércol, pelos o plumas y grasa.

Además, en la etapa de escaldado del ganado porcino o de las aves de corral, la cual se realiza por el método de inmersión de los animales en agua a una temperatura de 50-60°C, para facilitar la retirada de pelos o plumas, las aguas residuales generadas también se ven afectadas con el aumento de la temperatura, DBO, DQO, materia flotante y sólidos suspendidos totales.

Los equipos, utensilios e instalaciones utilizadas en el procesado de la carne, deben limpiarse y desinfectarse sistemáticamente, conforme a un programa definido, y con una periodicidad evaluada en función de la concentración máxima admisible de materia orgánica y microorganismos de sus superficies.

Una de las principales fuentes de generación de aguas residuales es el lavado y desinfección de los equipos, por lo que se utilizan detergentes y desinfectantes que al final están presentes en las aguas residuales, además de restos de aditivos y especias presentes en los equipos y que son arrastrados hacia el agua residual; aumentando los parámetros de DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos suspendidos totales, materia flotante y pH, como está indicado en la tabla XVIII.

5.2. Determinación de parámetros prioritarios

Para determinar los parámetros prioritarios se consideraron diferentes criterios, como la generación de estos durante los procesos productivos del sector, principalmente por el contacto e incidencia de la materia prima en actividades que generan aguas residuales, el cumplimiento de los parámetros con los límites permisibles nacionales y de otros países.

Con base en los criterios anteriores y los resultados de las figuras 30 y 31, que indican el porcentaje total de empresas que se encuentran dentro de los límites nacionales e internacionales, respectivamente, se determinó que los metales pesados y cianuro total se encuentran en cumplimiento tanto de la legislación nacional como la de otros países; esto se debe a que los procesos productivos de la industria de alimentos y en el caso específico del sector en estudio, las materias primas no deben presentar metales pesados y cianuro, por ser productos alimenticios.

Otro factor importante de comprobación son las lecturas de las concentraciones de metales pesados y cianuro total, cuyos valores, en su mayor parte, están por debajo del límite de detección de los equipos de análisis, como consecuencia de poseer concentraciones bajas respecto del límite de comparación.

En el caso del cromo hexavalente, según las figuras 30 y 31, únicamente el 54% de las industrias estudiadas cumple con la cuarta y última etapa de la legislación nacional e internacional, respectivamente, cuyo límite de descarga es 0,1mg/L; en ambos casos y el mayor valor reportado para este parámetro es 0,98 mg/L.

Al hacer una identificación de las industrias por tipo de proceso, con base en la tabla XII, se determinó que el 71,43% de las industrias que tienen presencia de cromo hexavalente, se dedican a la elaboración de embutidos y el 28,57% restante, al corte de carnes.

Con esta información y aunque esto no esté dentro del alcance del presente estudio, se sugiere realizar un seguimiento al monitoreo de la concentración de cromo hexavalente en el efluente de las industrias del sector, así como un monitoreo del afluente, ya que al ser detectado en las mismas, su presencia podría ser debida a la calidad del agua del afluente que en el 92,31% de los casos estudiados, según la tabla XIII, las fuentes de agua para las industrias del sector provienen de pozos propios; otra causa posible es el uso de detergentes en las actividades de limpieza. Debido a esto las industrias deben analizar las posibles causas de su generación y realizar acciones correctivas.

Según la figura 30, el níquel cumple en el 92% de los casos con la legislación nacional, pero puede considerarse un caso aislado, porque se trata de un dato puntual en un menor porcentaje fuera del límite permisible.

Las coliformes fecales solamente en el 18% de los casos se encuentran dentro de los límites nacionales permisibles, según se puede observar en la figura 30.

Debido a que las coliformes fecales son transferidas por contacto con excremento de humanos o de animales y por su detección en niveles considerables en las aguas residuales, se deduce que las posibles causas de su presencia se deba a la presencia de estiércol en los mataderos, pero principalmente a que pueda existir una conexión de las aguas residuales ordinarias con las aguas especiales provenientes de los procesos; en cualquiera de los casos las industrias deben identificar la causa de su origen y tomar medidas correctivas.

Con base en lo anterior descrito y basado en la tabla XIX, que indica cada parámetro y sus principales fuentes de generación, los parámetros prioritarios de las aguas residuales y que representan de una mejor manera a los procesos de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, basados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, son: nitrógeno total, fósforo total, materia flotante, color, coliformes fecales, DBO5, DQO, grasas y aceites, pH, temperatura y sólidos suspendidos totales. Excluyendo de esta manera al cianuro total y a los metales pesados como: arsénico, cadmio, níquel, plomo, zinc, cobre y mercurio; pero con la importancia de dar un seguimiento a las concentraciones de cromo hexavalente en los efluentes.

5.3. Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Según la figura 32, el 7,69% de las empresas objeto de estudio no realizan ningún tipo de tratamiento de aguas residuales, y el 76,92% únicamente aplica un pretratamiento, conformado por la separación de grasas y aceites y la separación de sólidos gruesos.

El 7,69% de las empresas aplican hasta tratamiento primario representado por la sedimentación por gravedad y precipitación química y un porcentaje igual aplica hasta tratamiento secundario por medio de un sistema anaerobio.

Estos resultados en los sistemas de tratamiento identificados actualmente en las industrias del sector, reflejan no ser suficientes pues los parámetros de calidad de agua residual del Acuerdo Gubernativo 236-2006 según la figura 30, no se encuentran dentro de los límites permisibles para la cuarta etapa de cumplimiento. En consecuencia, las empresas deben incrementar los esfuerzos para realizar un tipo de tratamiento más eficiente que pueda cumplir con los límites permisibles en las descargas de las aguas residuales.

5.4. Propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales

El sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos posee una elevada variabilidad de procesos como la matanza de ganado y de aves de corral, el corte de carnes y la elaboración de embutidos.

Las características de las aguas residuales de los mismos, son muy diferentes unas de otras. Incluso comparando instalaciones dedicadas a actividades similares, el caudal y la cantidad de materia orgánica de los vertidos generados, está influenciado por el tipo de instalación, la cantidad de animales sacrificados y la tecnología empleada; y sí se aplica tecnología de producción más limpia como el grado de recuperación de subproductos, el ahorro en el consumo de agua y una mejor calidad de sus materias primas, además de estrictas normas de higiene del personal.

Esta gran variabilidad de procesos hace que no se pueda definir un sistema de depuración único para este tipo de instalaciones y obliga a que se tenga que estudiar una solución adecuada para cada caso. Sin embargo, es posible indicar los tipos de tratamiento que pueden ser aplicables para reducir los parámetros prioritarios del sector.

Debido a que las G Y A, SST y MF han sido determinados como parte de los parámetros prioritarios para el sector industrial en estudio, pues según la figura 30 únicamente se encuentran dentro de los límites permisibles nacionales el 38%, 31% y 8% de las industrias, respectivamente; inicialmente, debe existir un pretratamiento, colocando rejillas para remoción de sólidos gruesos para reducir la materia flotante y los sólidos suspendidos totales; estas deben limpiarse constantemente. Seguido de la separación de grasas y aceites, con la cual se logra separar estas partículas ligeras mediante flotación y retirada de la superficie.

La mayor cantidad de empresas estudiadas aplican una separación de grasas y aceites al final del proceso productivo, pero pueden colocar trampas de grasas y aceites en serie para lograr una mayor eficiencia.

Para reducir la temperatura y pH, el pretatamiento adecuado para su aplicación por las características de las aguas residuales del sector industrial, es la homogeneización que permite reducir las fluctuaciones de caudal y la carga hacia los procesos posteriores, dotándolos de unas características lo más constantes posibles, pudiendo ser realizada en tanques con agitación o aireación.

Las diferentes actividades del sector tienen elevadas concentraciones de sólidos suspendidos totales como se muestra en la figura 30, en la que se indica que solamente el 31% de las industrias estudiadas tienen concentraciones de este parámetro debajo de los límites permisibles nacionales, y el 40%, aplica separación de sólidos por medio de rejillas como se indica en las figuras 33 y 34. Por lo tanto los SST deben reducirse en diferentes etapas de depuración para lograr una mayor eficiencia. En consecuencia, el tamizado es una opción que puede utilizarse para la separación de sólidos de menor tamaño, mediante el uso de mallas o placas perforadas.

Los sistemas biológicos son los de mayor aplicación para reducir la concentración de materia orgánica de los efluentes de las industrias cárnicas, mediante la acción de los microorganismos; reduciendo de esta manera parámetros como la DBO y DQO, principalmente.

“En la industria cárnica, concretamente en mataderos, es más común la instalación de sistemas aerobios, o una combinación de aerobio y anaerobio”¹⁷. Para ello se puede hacer uso de los lodos activados, en los cuales los microorganismos degradan la materia orgánica disuelta mediante la utilización de oxígeno. O bien se pueden utilizar filtros biológicos que consisten en un sistema aerobio o anaerobio formado por un depósito con relleno, que actúa de soporte para los microorganismos.

¹⁷ RODRÍGUEZ, Antonio; LETÓN, Pedro. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf [Consulta: 20 de septiembre de 2011].

Tras el proceso biológico aerobio, también se hace necesaria la generación de una línea de tratamientos de lodos, ya que la generación de estos suele ser abundante en este caso. Normalmente consta de un equipo espesador para concentrar los lodos y un sistema de desecación mediante prensa, filtro banda o centrífuga.

Como parámetros prioritarios del sector, también se indicaron el fósforo total y el nitrógeno total. Para reducir la concentración de nutrientes se necesita la aplicación de metodologías más específicas, que pueden ser procesos biológicos o precipitación química.

Como el fósforo principalmente es generado por los productos detergentes y desinfectantes utilizados en las etapas de limpieza, además de sus otras fuentes, según la tabla XIX; y solamente el 8% de las industrias estudiadas según la figura 30, cumplen con el límite permisible nacional; para eliminarlo se puede hacer uso de la precipitación química, empleando como reactivo el Ca^{2+} que forma sales insolubles que pueden eliminarse con los métodos para reducir SST.

Aunque el 77% de las industrias estudiadas están debajo del límite permisible nacional, según la figura 30, el nitrógeno es generado en las aguas residuales por estar presente en el estiércol, sangre, restos de aditivos, y otros, como se indica en la tabla XIX. El tipo de tratamiento que puede utilizarse para su eliminación de las aguas residuales es un sistema biológico semejante a los lodos activados. En el cual, los compuestos con nitrógeno sufren una serie de transformaciones como consecuencia de la acción de distintos organismos, ocurriendo procesos de nitrificación y desnitrificación.

De esta forma y con dos reactores consecutivos se puede llevar a cabo la eliminación de compuestos con nitrógeno primero en un reactor aerobio, seguido de otro con condiciones anóxicas, pero en el que “es necesario adicionar fuente de carbono para el desarrollo de las bacterias desnitrificantes”¹⁸.

Para reducir el color, las coliformes fecales y hacer más eficiente la reducción de los sólidos suspendidos totales, como tratamiento terciario y etapa final para lograr cumplir con los límites permisibles, antes de la descarga final se puede utilizar un filtro de arena.

¹⁸ RODRÍGUEZ, Antonio; LETÓN, Pedro. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf [Consulta: 20 de septiembre de 2011].

CONCLUSIONES

1. Se identificaron tres tipos de actividades principales en el sector industrial en estudio: sacrificio en mataderos, cortes de carnes y elaboración de embutidos.
2. La generación de aguas residuales en las actividades del sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos tiene su origen en procesos de lavado de materia prima cárnica, escalado de animales y cocción de la carne.
3. La limpieza y desinfección de equipos e instalaciones es una actividad de importancia para la generación de aguas residuales, con el arrastre de restos de aditivos en los equipos y la presencia de detergentes y desinfectantes utilizados.
4. Los parámetros que representan y son prioritarios para el sector son: nitrógeno total, fósforo total, materia flotante, color, coliformes fecales, DBO, DQO, grasas y aceites, pH, temperatura y sólidos suspendidos totales.
5. En el sector en estudio no se generan metales pesados y cianuro total, sin embargo, se identificó la presencia de cromo hexavalente en los efluentes.

6. El 82% de las industrias estudiadas exceden el límite permisible nacional de coliformes fecales y la principal causa de las concentraciones elevadas se puede atribuir a la posible conexión de las aguas residuales ordinarias con las aguas residuales especiales.
7. El 7,69% de las industrias estudiadas no cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales, por lo que generan un mayor impacto con sus descargas.
8. El 76,92% de las empresas estudiadas únicamente realiza un pretratamiento de las aguas residuales, que no es suficiente para reducir los parámetros prioritarios.
9. Se debe aplicar desde un pretratamiento hasta un tratamiento terciario, para reducir los parámetros prioritarios en aguas residuales del sector.

RECOMENDACIONES

1. Es conveniente realizar otros estudios en donde se determinen parámetros prioritarios de otros sectores industriales de importancia en el país.
2. Se deben hacer otros estudios en los que se evalúen las eficiencias de los sistemas de tratamiento de aguas residuales aplicables al sector industrial.
3. Las autoridades competentes deben identificar parámetros de aguas residuales que no estén incluidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y que representen al sector de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos en próximas investigaciones.
4. Las industrias del sector deben dar un seguimiento al monitoreo de la concentración de cromo hexavalente en el efluente y en el afluente, así como determinar otras posibles causas de su origen y realizar acciones correctivas.
5. Ejecutar proyectos de demostración en los que se realicen acciones de mejora e intercambios de experiencias entre las empresas del sector que participen.

6. Aplicar la política de producción más limpia como la reducción del consumo de agua en los procesos de producción y en las operaciones de limpieza y desinfección, para reducir la generación de aguas residuales.
7. Las autoridades correspondientes deben incentivar a las empresas del sector, para que implementen técnicas de producción más limpia que conduzcan a una mejora ambiental.
8. De conformidad con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, debe continuar con la serie de investigaciones en estas áreas, que permita mejorar no solo los procesos del sector de carnes sino la debida aplicación de las normativas nacionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Manual de aguas para usos industriales*. México: LIMUSA, 1976. 4 p.
2. Environmental Protection Agency. *Quality criteria for water*. Washington D.C., United States: EPA, 1986. 26 p.
3. KEMMER, Frank N.; McCALLION, John. *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Nalco Chemical Company. Tomo I. México: McGraw-Hill, 1990. 8 p.
4. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; Ministerio de Medio Ambiente. *Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector cárnico*. 2005. [en línea]. <<http://www.prtes.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20C%C3%A1rnico-833049BFA1FFFDDE.pdf>> [Consulta: 15 de marzo de 2011].
5. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala, 15 de mayo de 2006. 14 p.
6. _____. *Acuerdo Ministerial Número 105-2008. Manual General del Acuerdo Gubernativo 236-2006*. Guatemala, 9 de enero de 2008. 5 p.

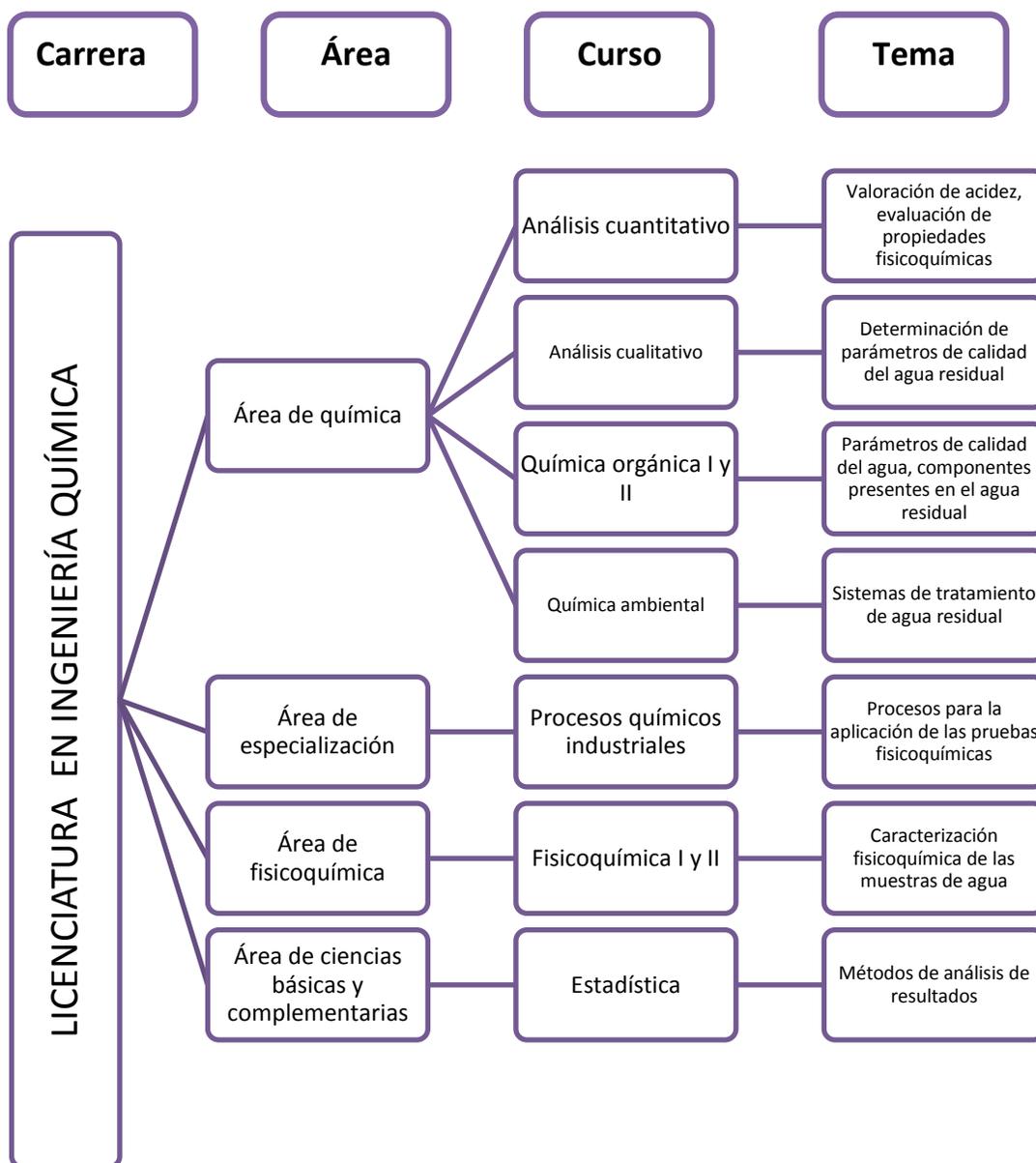
7. PÁEZ CHÁVEZ, Heidi; ESTRADA, Jorge Mario; BARRIENTOS, Claudia. *Evaluación de la calidad del agua de proceso, en un ingenio azucarero*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 8 p.
8. PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. México: McGraw Hill, 1999. 25 p.
9. POOT DELGADO, Carlos A.; CORREAL S., Magda Carolina. *Tratamiento de aguas residuales*. Instituto Tecnológico de Champotón. México. [en línea]. <www.itescham.com/Syllabus/Doc/tos/r1340.PPT> [Consulta: 16 de marzo de 2011].
10. RAMÍREZ LORENZANA, Ednar Pável; SALAZAR, Ruth María Eugenia. *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas de una industria farmacéutica nacional, según el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos y propuesta para el aprovechamiento de desechos*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 16 p.
11. RODRÍGUEZ, Antonio; LETÓN, Pedro. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. [en línea]. <http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf> [Consulta: 20 de septiembre de 2011].
12. SEOÁNEZ CALVO, Mariano. *Ingeniería medioambiental aplicada. Casos prácticos*. México: Mundo-Prensa, 1997. 3 p.

13. United Nations Statistics Division. *CIIU revisión 3.1 Estructura detallada y notas explicativas*. [en línea]. <<http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=17&Lg=3>> [Consulta: 13 de marzo de 2011].

14. VALENCIA MONTOYA, Guillermo. *Características de aguas residuales y lodos*. Universidad del Valle, Cali, Colombia. [en línea]. <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>> [Consulta: 25 de marzo de 2011].

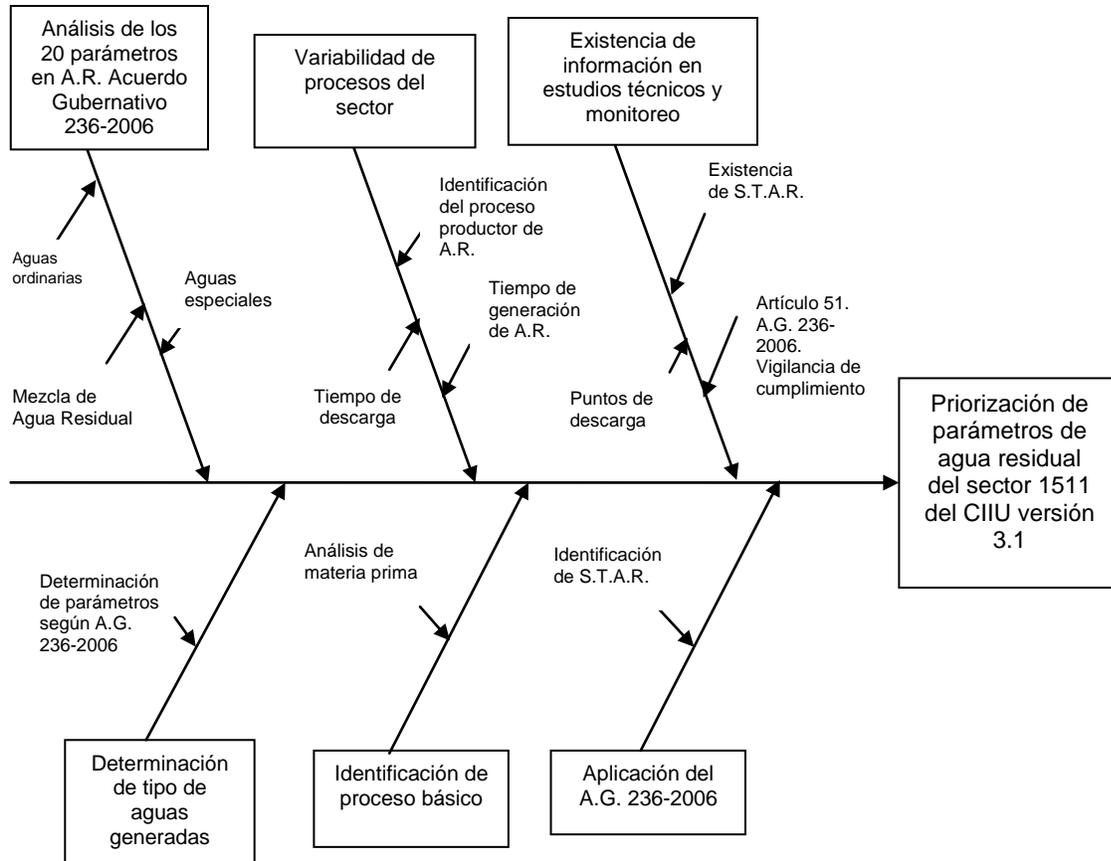
APÉNDICE

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Cronograma

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Clasificación de sectores industriales, URHC del MARN			■																	
Selección de sector objeto de estudio			■																	
Identificación de empresas base de datos URHC del MARN			■																	
Corrección y aprobación del protocolo				■																
Inicio de la investigación					■															
Revisión de estudios técnicos y monitoreos					■															
Confirmación de datos						■														
Realización de llamas telefónicas para concertar visitas a empresas						■														
Visita a empresas, llenado del formulario de inspección y toma de muestras de A.R. y medición de parámetros <i>in situ</i>							■	■	■											
Análisis de parámetros en Laboratorio Nacional de Salud									■	■	■									
Obtención de resultados de parámetros										■	■	■	■							
Tabulación de resultados														■	■					
Determinación de etapas de generación de A.R. en los procesos de producción															■	■				

Continuación del apéndice 3.

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Evaluación de parámetros prioritarios																				
Identificación de S.T. A.R.																				
Elaboración de propuesta de STAR que reduzca parámetros prioritarios																				
Interpretación y conclusiones finales																				
Período de correcciones																				
Presentación y aprobación final																				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Costos para recolección de muestras de agua residual**

Cantidad	Descripción	Costo (Q.)
70 Km	Combustible a Q30.00/ galón (40Km/ galón)	52,50
	Subtotal	52,50

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Costos para el equipo**

Cantidad	Equipo	Descripción	Costo (Q.)
1	Equipo de muestreo automático	Sistema de muestreo ISCO GLS	2 000,00
1	Potenciómetro	Marca Hach, electrodo digital	1 800,00
1	Termómetro	De mercurio graduado 100°C	30,00
Subtotal			3 830,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Costos varios**

Cantidad	Artículo	Descripción	Costo (Q.)
10	Frasco	Plástico	100,00
1	Mascarillas	Caja	98,75
1	Guantes látex	Caja	70,00
1	Costo asesoría profesional	----	500,00
Subtotal			768,75

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Costos por análisis para caracterización de agua residual
(Laboratorio Nacional de Salud)**

Cantidad	Descripción del análisis	Costo unitario (Q.)	Costo (Q.)
11	Paquete básico residual: pH in-situ, temperatura in-situ, aceites y grasas, materia flotante, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DQO, DBO, nitrógeno total, fósforo total, color, coliformes fecales	1 265,00	13 915,00
11	Metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo total, mercurio, níquel, plomo, zinc, cianuro	1 990,00	21 890,00
	Subtotal	3 255,00	35 805,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Costos totales**

Descripción	Subtotales (Q.)
Recolección de muestras de agua	52,50
Equipo	3 830,00
Varios	768,75
Análisis de caracterización de agua residual (Laboratorio Nacional de Salud)	35 805,00
Total	40 456,25

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Unidad móvil utilizada para recolección y transporte de muestras de agua residual



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la URHC del MARN.

Apéndice 10. Interior de la unidad móvil utilizada para recolección y transporte de muestras de agua residual



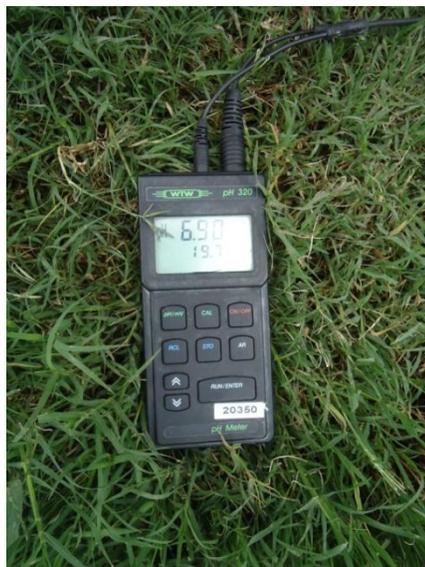
Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la URHC del MARN.

Apéndice 11. **Equipo automático para toma de muestras de agua residual**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la URHC del MARN.

Apéndice 12. **Potenciómetro marca Hach**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la URHC del MARN.

Apéndice 13. **Recipientes utilizados para toma de muestras de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la URHC del MARN.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de inspección de actividad industrial

FORMULARIO DE INSPECCIÓN			
Evaluación de parámetros prioritarios en aguas residuales según Acuerdo Gubernativo 236-2006.			
1. Identificación del Sector Industrial			
1.1 Código CIU vs. 3.1: _____		1.2 No. De Empresa: _____	
1.3 Subclasificación de industria			
Explotación de mataderos que realizan actividades de matanza, preparación y envasado de carne			<input type="checkbox"/>
Producción de carne fresca, refrigerada o congelada, en canales	<input type="checkbox"/>	Producción de carne fresca, refrigerada o congelada, en cortes	<input type="checkbox"/>
Matanza de aves de corral	<input type="checkbox"/>	Preparación de carne de aves de corral	<input type="checkbox"/>
Producción de carne de aves de corral fresca o congelada en porciones	<input type="checkbox"/>	Producción de carne seca, salada o ahumada	<input type="checkbox"/>
Producción de productos cárnicos (embutidos)	<input type="checkbox"/>	Producción de platos preparados de carne fresca	<input type="checkbox"/>
2. Descripción del proceso			
2.1 Actividad que realiza:			
2.2 Tipo de proceso:			
<input type="checkbox"/> Batch	<input type="checkbox"/> Semibatch	<input type="checkbox"/> Continuo	
2.3 Etapas del proceso:			
() Recepción <input type="checkbox"/>	() Corte de la canal <input type="checkbox"/>	() Amasado <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Estabulación <input type="checkbox"/>	() Lavado <input type="checkbox"/>	() Embutido <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Aturdimiento y sacrificio <input type="checkbox"/>	() Refrigeración/enfriamiento <input type="checkbox"/>	() Embutido/enlatado <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Desangrado <input type="checkbox"/>	() Despiece <input type="checkbox"/>	() Embutido y moldeado <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Escaldado <input type="checkbox"/>	() Perfilado o corte <input type="checkbox"/>	() Lavado <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Flameado <input type="checkbox"/>	() Refrigeración/congelación <input type="checkbox"/>	() Cocción <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Depilado <input type="checkbox"/>	() Inyección de salmuera <input type="checkbox"/>	() Ahumado <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Desplumado <input type="checkbox"/>	() Masajeado <input type="checkbox"/>	() Secado/Maduración <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Lavado <input type="checkbox"/>	() Preparación de piezas <input type="checkbox"/>	() Enfriamiento <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Remoción del cuero <input type="checkbox"/>	() Salado <input type="checkbox"/>	() Refrigeración <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Evisceración <input type="checkbox"/>	() Picado/molida de carne <input type="checkbox"/>	() Rebanado y empaque <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Corte de cuernos <input type="checkbox"/>	() Mezclado y amasado <input type="checkbox"/>	() Envasado <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
() Corte de patas y cabeza <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>
2.4 Producto terminado			
2.5 Subproductos			

Continuación del anexo 1.

2.6 Materia prima					
() Aves de corral	<input type="checkbox"/>	(/ /) sal común	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
() Ganado vacuno	<input type="checkbox"/>	(/ /) saborizantes	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
() Ganado porcino	<input type="checkbox"/>	(/ /) preservantes	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
() Ganado ovino	<input type="checkbox"/>	(/ /) antioxidantes	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
(/ /) Carne de res	<input type="checkbox"/>	(/ /) Colorantes	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
(/ /) Carne de cerdo	<input type="checkbox"/>	(/ /) nitrato de sodio	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
(/ /) Carne de pollo	<input type="checkbox"/>	(/ /) nitrito de sodio	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
(/ /) Carne de pavo	<input type="checkbox"/>	(/ /) fosfato de sodio	<input type="checkbox"/>	() <input type="checkbox"/>	
3. Fuente de abastecimiento de agua					
<input type="checkbox"/> Municipal <input type="checkbox"/> Privado <input type="checkbox"/> Pozo propio					
4. Usos del agua en el proceso					
4.1 Etapas del proceso donde se usa agua:					
() Recepción	<input type="checkbox"/>	() Corte de la canal	<input type="checkbox"/>	() Amasado	<input type="checkbox"/>
() Estabulación	<input type="checkbox"/>	() Lavado	<input type="checkbox"/>	() Embutido	<input type="checkbox"/>
() Aturdimiento y sacrificio	<input type="checkbox"/>	() Refrigeración/enfriamiento	<input type="checkbox"/>	() Embutido/enlatado	<input type="checkbox"/>
() Desangrado	<input type="checkbox"/>	() Despiece	<input type="checkbox"/>	() Embutido y moldeado	<input type="checkbox"/>
() Escaldado	<input type="checkbox"/>	() Perfilado o corte	<input type="checkbox"/>	() Lavado	<input type="checkbox"/>
() Flameado	<input type="checkbox"/>	() Refrigeración/congelación	<input type="checkbox"/>	() Cocción	<input type="checkbox"/>
() Depilado	<input type="checkbox"/>	() Inyección de salmuera	<input type="checkbox"/>	() Ahumado	<input type="checkbox"/>
() Desplumado	<input type="checkbox"/>	() Masajeado	<input type="checkbox"/>	() Secado/Maduración	<input type="checkbox"/>
() Lavado	<input type="checkbox"/>	() Preparación de piezas	<input type="checkbox"/>	() Enfriamiento	<input type="checkbox"/>
() Remoción del cuero	<input type="checkbox"/>	() Salado	<input type="checkbox"/>	() Refrigeración	<input type="checkbox"/>
() Evisceración	<input type="checkbox"/>	() Picado/molida de carne	<input type="checkbox"/>	() Rebanado y empaque	<input type="checkbox"/>
() Corte de cuernos	<input type="checkbox"/>	() Mezclado y amasado	<input type="checkbox"/>	() Envasado	<input type="checkbox"/>
() Corte de patas y cabeza	<input type="checkbox"/>	()	<input type="checkbox"/>	()	<input type="checkbox"/>
4.2 Etapas del proceso donde se genera A.R.					
() Recepción	<input type="checkbox"/>	() Corte de la canal	<input type="checkbox"/>	() Amasado	<input type="checkbox"/>
() Estabulación	<input type="checkbox"/>	() Lavado	<input type="checkbox"/>	() Embutido	<input type="checkbox"/>
() Aturdimiento y sacrificio	<input type="checkbox"/>	() Refrigeración/enfriamiento	<input type="checkbox"/>	() Embutido/enlatado	<input type="checkbox"/>
() Desangrado	<input type="checkbox"/>	() Despiece	<input type="checkbox"/>	() Embutido y moldeado	<input type="checkbox"/>
() Escaldado	<input type="checkbox"/>	() Perfilado o corte	<input type="checkbox"/>	() Lavado	<input type="checkbox"/>
() Flameado	<input type="checkbox"/>	() Refrigeración/congelación	<input type="checkbox"/>	() Cocción	<input type="checkbox"/>
() Depilado	<input type="checkbox"/>	() Inyección de salmuera	<input type="checkbox"/>	() Ahumado	<input type="checkbox"/>
() Desplumado	<input type="checkbox"/>	() Masajeado	<input type="checkbox"/>	() Secado/Maduración	<input type="checkbox"/>
() Lavado	<input type="checkbox"/>	() Preparación de piezas	<input type="checkbox"/>	() Enfriamiento	<input type="checkbox"/>
() Remoción del cuero	<input type="checkbox"/>	() Salado	<input type="checkbox"/>	() Refrigeración	<input type="checkbox"/>
() Evisceración	<input type="checkbox"/>	() Picado/molida de carne	<input type="checkbox"/>	() Rebanado y empaque	<input type="checkbox"/>
() Corte de cuernos	<input type="checkbox"/>	() Mezclado y amasado	<input type="checkbox"/>	() Envasado	<input type="checkbox"/>
() Corte de patas y cabeza	<input type="checkbox"/>	()	<input type="checkbox"/>	()	<input type="checkbox"/>
4.3 Otras fuentes de generación de A.R.					

Continuación del anexo 1.

5. Información sobre la descarga de A.R.						
5.1 Lugar de descarga:		<input type="checkbox"/> Alcantarillado Público			<input type="checkbox"/> Cuerpo Receptor	
5.2 Tipo de descarga:		<input type="checkbox"/> Continua			<input type="checkbox"/> Discontinua	
5.3 Número de puntos de descarga: _____						
6. Información de Campo						
Punto de descarga	No. de muestra simple	Hora de captación	Materia Flotante		Temperatura	pH
			Presente	Ausente		
7. Identificación del tratamiento de aguas residuales						
7.1 Cuenta con S.T.A.R.		<input type="checkbox"/> Sí			<input type="checkbox"/> No	
7.2 Tipo de tratamiento que posee						
7.2.1 Descripción						
7.2.2 Especificación del tipo de tratamiento						
a) Pretratamiento <input type="checkbox"/>		b) Primario <input type="checkbox"/>		c) Secundario <input type="checkbox"/>		d) Terciario <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogenización	<input type="checkbox"/> Sedimentación por gravedad	<input type="checkbox"/> Tratamiento aerobio		<input type="checkbox"/> Adsorción		
<input type="checkbox"/> Neutralización	<input type="checkbox"/> Precipitación química	<input type="checkbox"/> Tratamiento anaerobio		<input type="checkbox"/> Intercambio iónico		
<input type="checkbox"/> Separación de grasas y aceites	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Arrastre		
<input type="checkbox"/> Separación de sólidos gruesos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Oxidación química		
<input type="checkbox"/> Separación de arena	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Separación por membrana		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		

Fuente: elaboración propia.