



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

**IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR
REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL
SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A G 236-2006 Y
PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN**

Ana Beatriz Martínez Rodas

Asesorado por el Ing. Francisco Aben Rosales Cerezo

Coasesorado por el Ing. Adolfo Macario Castro

Guatemala, abril de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR
REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL
SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A G 236-2006 Y
PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANA BEATRIZ MARTÍNEZ RODAS

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO ABEN ROSALES CEREZO
COASESORADO POR EL ING. ADOLFO MACARIO CASTRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Domínguez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIA	Inga. Lisely De León Arana

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:

**IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR
REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL
SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A G 236-2006 Y
PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de febrero de 2012.



Ana Beatriz Martínez Rodas



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 30 de octubre de 2013

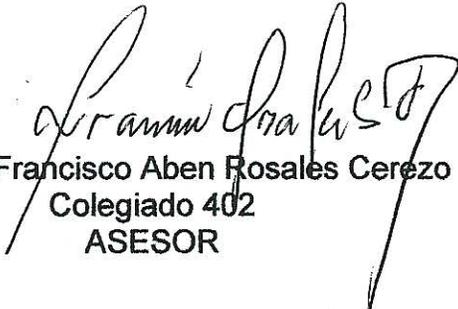
Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director
Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Monzón:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado: **"IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A.G. 236-2006 Y PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN"**. Elaborado por el estudiante de Ingeniería Química Ana Beatriz Martínez Rodas con número de carné 2007-15061. Considero que el Informe Final de Trabajo de Graduación desarrollado satisface los requisitos exigidos; por lo que solicito se sirva remitirlo para su respectiva revisión.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,


Ing. Qco. Francisco Aben Rosales Cerezo
Colegiado 402
ASESOR

Francisco A. Rosales Cerezo
Ing. Químico
Colegiado 402
D. de Educación
Colegiado 139

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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 15 de noviembre de 2013
Ref. EIQ.TG-IF.079.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-279-2011-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

Solicitado por la estudiante universitaria: **Ana Beatriz Martínez Rodas.**

Identificada con número de carné: **2007-15061.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

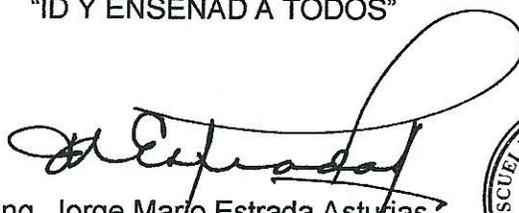
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A.G. 236-2006 Y PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Francisco Aben Rosales Cerezo.**

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. Jorge Mario Estrada Asturias
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Ref.EIQ.TG.047.2014

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, **ANA BEATRIZ MARTÍNEZ RODAS** titulado: **"IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A G 236-2006 Y PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril 2014

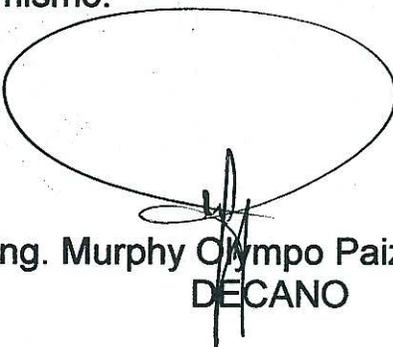
Cc: Archivo
VMMV/cle





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: **IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MAYOR REPRESENTATIVIDAD EN LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LÁCTEOS SEGÚN EL A G 236-2006 Y PROPUESTA DE UNIDADES DE TRATAMIENTO PARA SU REDUCCIÓN**, presentado por la estudiante universitaria Ana Beatriz Martínez Rodas, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, abril de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme siempre, por brindarme la fortaleza, confianza y sabiduría necesarias para lograr culminar esta etapa de mi vida con éxito. Gracias porque siempre siento tu presencia cerca de mí.
- Mis padres** Mario Edgardo Martínez Guzmán y Lilia Beatriz Rodas Alvarado, por todo el amor y apoyo que me han brindado siempre. Gracias por ser una pareja tan unida, unos padres ejemplares y mis maestros de vida. Los quiero mucho.
- Mis hermanos** Ingrid Alejandra, Douglas Edgardo y Mario Estuardo Martínez Rodas, por siempre aconsejarme, por ayudarme y alentarme a siempre seguir adelante en el camino correcto, gracias por ser tan buenos hermanos y más que hermanos mis amigos.
- Mis sobrinos** Por ser esa pequeña luz en mi vida que siempre me recuerda que las pequeñas cosas de la vida te pueden hacer feliz. Los quiero mucho mis angelitos.
- Mis abuelas** Catalina Guzmán y Amabilia Alvarado, por brindarme siempre su cariño, sus consejos y sus oraciones. Son un ejemplo de vida y amor. Con todo mi cariño y respeto.

Tíos, tías y primos

Porque cada uno me ha enseñado de una forma especial y diferente las cosas importantes de la vida. Gracias por siempre preocuparse por mí, con mucho cariño.

**Guillermo
Chinchilla y familia**

Gracias por brindarme todo su apoyo, cariño y confianza, por hacerme sentir parte de su hogar. Guillermo gracias por todo su amor incondicional que siempre me ha alentado a seguir adelante, lo amo.

Mis amigos

Por formar parte de mi vida, por sus enseñanzas, por todas las experiencias vividas que me han hecho crecer como persona, por todos los buenos y malos momentos que simplemente han fortalecido nuestra amistad. En especial a Vladimir Pérez, Roberto Cancinos, María Alejandra Estrada, Brenda Barrios, Jaime Catalán, Max Salazar, Luis Funes, Gerardo Izeppi, Lorena Medina, Carlos Tobias, Pablo Contreras, Ricardo Mancilla, Jessica Quan y Ximena Ovalle.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por todo tu amor, guía y bendiciones que me permiten culminar mis estudios universitarios.
- Mis padres** Por siempre dar lo mejor de sí, por su apoyo, amor y confianza, y por siempre enseñarme a ser una mejor persona cada día.
- Mis asesores** Ingeniero Francisco Rosales e ingeniero Adolfo Macario Castro, por su valioso tiempo, por los consejos y enseñanzas recibidos para el desarrollo de este estudio. Gracias por su paciencia y esmero en mi aprendizaje.
- URHC del MARN** Por el apoyo y asesoría técnica, científica y administrativa necesaria para la realización de esta investigación. Por brindarme toda su ayuda y dedicación.
- La Escuela de Ingeniería Química** A los profesores que contribuyeron con mi formación académica, por compartir sus conocimientos y valores.
- Departamento de Matemática** Gracias por su apoyo, comprensión y sobre todo porque más que compañeros de trabajo, encontré amigos.

**La Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, en la cual me desarrollé, me llené de enseñanzas y me formé académica y profesionalmente.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Agua.....	7
2.1.1. Densidad	8
2.1.2. Tensión superficial.....	8
2.1.3. Constante Dieléctrica.....	9
2.1.4. Disolvente.....	9
2.2. Agua residual.....	10
2.2.1. Tipos de aguas residuales.....	10
2.2.1.1. Aguas residuales de tipo especial	10
2.2.1.2. Aguas residuales de tipo ordinario	11
2.2.2. Caracterización de las aguas residuales	11
2.2.2.1. Parámetros físicos.....	12
2.2.2.2. Parámetros químicos.....	14
2.2.2.3. Parámetros biológicos	22
2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	23
2.3.1. Pretratamiento	24

2.3.2.	Tratamiento primario	26
2.3.3.	Tratamiento secundario.....	27
2.3.4.	Tratamiento terciario	29
2.4.	Reglamento de Descargas de aguas residuales de Guatemala (Acuerdo Gubernativo 236-2006)	30
2.4.1.	Parámetros de calidad de agua de los efluentes..	31
2.5.	Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU)	32
2.5.1.	Actividades principales, secundarias y auxiliares. ...	33
2.5.1.1.	Actividad principal.....	33
2.5.1.2.	Actividades secundarias.....	33
2.5.1.3.	Actividades auxiliares	34
2.5.2.	Divisiones y grupos de la CIIU	34
2.5.3.	Clases de la CIIU	34
2.5.4.	Clasificación de la CIIU para el sector de lácteos ..	35
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.1.	Variables	37
3.1.1.	Caracterización del efluente de aguas residuales ..	37
3.1.2.	Descripción del sistema de tratamiento de agua residual.....	38
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	38
3.3.	Recursos humanos disponibles	39
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	40
3.4.1.	Determinación de parámetros del sector de lácteos.....	40
3.4.1.1.	Procesamiento de la información	41
3.4.1.2.	Visitas técnicas.....	41
3.4.1.3.	Resultados de análisis de agua residual <i>in situ</i>	41

3.5.	Técnica cualitativa	41
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	43
3.6.1.	Información de entes generadores	43
3.6.2.	Recolección de información por medio de visitas a industrias	43
3.6.2.1.	Procedimiento para la toma de muestras.....	44
3.6.3.	Análisis de toma de muestra de agua residual	45
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	46
3.7.1.	Tablas de tabulación de datos	46
3.7.2.	Datos calculados	58
3.7.2.1.	Determinación de parámetros prioritarios.....	58
3.7.2.2.	Cumplimiento porcentual de los grupos industriales del sector lácteo del área metropolitana con los límites establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006.....	77
3.7.2.3.	Identificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el sector lácteo.....	81
3.8.	Análisis estadístico	83
3.8.1.	Medidas de tendencia central de los parámetros del A G 236-2006 de los grupos industriales del sector de lácteos.....	83

3.8.2.	Cumplimiento de las industrias muestreadas del sector de lácteos con los límites máximos establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006	87
4.	RESULTADOS.....	93
4.1.	Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas.....	93
4.1.1.	Proceso de elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas.....	93
4.1.2.	Proceso de elaboración de crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada.....	95
4.1.3.	Proceso de elaboración de mantequilla	96
4.1.4.	Elaboración de yogur	97
4.1.5.	Elaboración de helado.....	99
4.1.6.	Elaboración de queso.....	101
4.1.7.	Operaciones de limpieza y desinfección	103
4.1.7.1.	Limpieza.....	103
4.1.7.2.	Desinfección.....	104
4.1.8.	Compendio general de los grupos industriales del sector lácteo del área metropolitana.....	107
4.2.	Determinación del cumplimiento con el A G 236-2006.....	110
4.3.	Determinación de parámetros prioritarios	122
4.4.	Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	125
4.5.	Propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales.....	127

4.5.1.	Pretratamiento	127
4.5.2.	Tratamiento primario.....	128
4.5.3.	Tratamiento secundario	130
4.5.4.	Tratamiento terciario.....	132
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	135
5.1.	Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas para cada grupo industrial lácteo.....	135
5.1.1.	Proceso de producción de la leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas	136
5.1.1.1.	Recepción y almacenamiento de la leche	136
5.1.1.2.	Filtración	137
5.1.1.3.	Clarificación	137
5.1.1.4.	Homogenización.....	137
5.1.1.5.	Descremado y estandarización	138
5.1.1.6.	Tratamiento térmico.....	138
5.1.1.7.	Almacenamiento en cámaras frigoríficas	139
5.1.1.8.	Envasado.....	139
5.1.2.	Proceso de producción de crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada	139
5.1.2.1.	Descremado	140
5.1.2.2.	Tratamiento térmico de la crema	140
5.1.2.3.	Desodorización de la crema	140
5.1.2.4.	Envasado.....	141

5.1.3.	Proceso de producción de mantequilla	141
5.1.3.1.	Maduración	141
5.1.3.2.	Batido	142
5.1.3.3.	Amasado	142
5.1.3.4.	Empaque	142
5.1.4.	Proceso de producción del yogur	143
5.1.4.1.	Enfriamiento	143
5.1.4.2.	Inoculación	143
5.1.4.3.	Mezclado	143
5.1.4.4.	Envasado	144
5.1.4.5.	Incubación	144
5.1.4.6.	Enfriamiento	144
5.1.5.	Proceso de producción del helado	145
5.1.5.1.	Estandarización	145
5.1.5.2.	Mezclado de la mezcla base del helado	145
5.1.5.3.	Tratamiento térmico	146
5.1.5.4.	Homogenización	146
5.1.5.5.	Maduración de la mezcla	146
5.1.5.6.	Adición de ingredientes del helado ..	147
5.1.5.7.	Congelación y aireación de la mezcla	147
5.1.5.8.	Envasado	148
5.1.5.9.	Endurecimiento	148
5.1.6.	Proceso de producción de queso	149
5.1.6.1.	Estandarización	149
5.1.6.2.	Tratamiento térmico	149
5.1.6.3.	Bactofugación	150
5.1.6.4.	Coagulación	150

	5.1.6.4.1. Coagulación ácida	150
	5.1.6.4.2. Coagulación enzimática ..	151
	5.1.6.4.3. Coagulación mixta	151
	5.1.6.5. Corte y desuerado	151
	5.1.6.6. Moldeo y prensado	152
	5.1.6.7. Salado	153
	5.1.6.8. Maduración.....	153
5.2.	Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006	153
5.3.	Determinación de parámetros prioritarios considerando procesos de elaboración, materia prima y cumplimiento con parámetros establecidos por la cuarta etapa del A G 236-2006 y parámetros internacionales	158
5.4.	Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y propuesta de unidades de tratamiento para el sector de lácteos.....	163
5.5.	Propuesta de unidades de tratamiento para el sector de lácteos	165
CONCLUSIONES		169
RECOMENDACIONES		171
BIBLIOGRAFÍA.....		173
APÉNDICE.....		177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de técnica cualitativa	42
2.	Diagrama de procedimiento para la toma de muestra de la descarga final de agua residual	44
3.	Comparación de temperatura con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	58
4.	Comparación del potencial de hidrógeno (pH) con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	59
5.	Comparación de grasas y aceites con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	60
6.	Comparación de sólidos suspendidos totales con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	61
7.	Comparación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20}) con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	62
8.	Comparación de demanda química de oxígeno (DQO) con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	63
9.	Comparación de nitrógeno total con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	64

10.	Comparación de fósforo total con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	65
11.	Comparación de arsénico con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	66
12.	Comparación de cadmio con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	67
13.	Comparación de cianuro con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	68
14.	Comparación de cobre con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	69
15.	Comparación de cromo hexavalente con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	70
16.	Comparación de mercurio con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	71
17.	Comparación de níquel con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	72
18.	Comparación de plomo con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	73
19.	Comparación de zinc con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	74
20.	Comparación de color con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	75
21.	Comparación de coliformes fecales con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006.....	76
22.	Diagrama de proceso de elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas.....	94
23.	Diagrama de proceso de elaboración de crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada.....	95

24.	Diagrama de proceso de elaboración de mantequilla.....	96
25.	Diagrama de proceso de elaboración de yogur.....	98
26.	Diagrama de proceso de elaboración de helado.....	100
27.	Diagrama de proceso de elaboración de queso.....	102
28.	Gráfico comparativo del porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga de parámetros nacionales e internacionales (parte uno).....	118
29.	Gráfico comparativo del porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga de parámetros nacionales e internacionales (parte dos).....	119
30.	Gráfico comparativo del cumplimiento de cada grupo industrial del sector lácteo del área metropolitana con los límites permisibles de descarga de la cuarta fase del A G 236-2006 (parte uno).....	120
31.	Gráfico comparativo del cumplimiento de cada grupo industrial del sector lácteo del área metropolitana con los límites permisibles de descarga de la cuarta fase del A G 236-2006 (parte dos).....	121
32.	Gráfica con los STAR identificados en porcentaje total de las industrias visitadas del área metropolitana	125
33.	Gráfica con los principales unidades de tratamiento de aguas residuales identificadas en las industrias visitadas del área metropolitana	126

TABLAS

I.	Número de industrias del sector y principales lugares de descarga de agua residual.....	46
II.	Caracterización de aguas residuales, descarga a alcantarillado público, sector 1520 CIU.....	47

III.	Caracterización de aguas residuales, descarga a cuerpo receptor, sector 1520 CIIU	48
IV.	Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas	49
V.	Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de queso y cuajada.....	50
VI.	Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de helados y sorbetes.....	51
VII.	Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de yogur.....	52
VIII.	Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de crema a partir de leche fresca líquida, pasteurizada, esterilizada u homogeneizada	53
IX.	Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de mantequilla.....	54
X.	Límites máximos permisibles de varios países para descarga de aguas residuales hacía cuerpo receptor.....	55
XI.	Límites máximos permisibles de varios países para descarga de aguas residuales hacía alcantarillado público	56
XII.	Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpo receptor y alcantarillado público nacionales e internacionales	57

XIII.	Cumplimiento de los grupos industriales con la cuarta etapa del A G 236-2006.....	77
XIV.	Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga de parámetros nacionales e internacionales (total de 6 empresas).....	80
XV.	Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales identificados.....	81
XVI.	Principales unidades de tratamiento de agua residual identificadas.....	82
XVII.	Medidas de tendencia central de los grupos industriales correspondientes a la elaboración de la leche líquida tratada térmicamente y queso y cuajada	84
XVIII.	Medidas de tendencia central de los grupos industriales correspondientes a la elaboración de helados y yogur	85
XIX.	Medidas de tendencia central de los grupos industriales correspondientes a la elaboración de crema y mantequilla	86
XX.	Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria I con descarga hacia cuerpo receptor	87
XXI.	Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria II con descarga hacia cuerpo receptor	88
XXII.	Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria III con descarga hacia cuerpo receptor	89
XXIII.	Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria IV con descarga hacia alcantarillado público	90
XXIV.	Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria V con descarga hacia alcantarillado público	91
XXV.	Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria VI con descarga hacia alcantarillado público	92

XXVI.	Composición de detergentes de mayor uso en el sector lácteo del área metropolitana.....	104
XXVII.	Composición de desinfectantes de mayor uso en el sector lácteo.....	105
XXVIII.	Métodos y/o productos de limpieza y desinfección utilizados en algunas de las industrias lácteas del área metropolitana	106
XXIX.	Compendio de los principales procesos de generación de aguas residuales	107
XXX.	Cumplimiento de industria I con el A G 236-2006 con descarga hacia cuerpo receptor.....	110
XXXI.	Cumplimiento de industria II con el A G 236-2006 con descarga hacia cuerpo receptor.....	111
XXXII.	Cumplimiento de industria III con el A G 236-2006 con descarga hacia cuerpo receptor.....	112
XXXIII.	Cumplimiento de industria IV con el A G 236-2006 con descarga hacia alcantarillado público.....	113
XXXIV.	Cumplimiento de industria V con el A G 236-2006 con descarga hacia alcantarillado público.....	114
XXXV.	Cumplimiento de industria VI con el A G 236-2006 con descarga hacia alcantarillado público.....	115
XXXVI.	Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga hacia cuerpo receptor (total de 3 empresas)	116
XXXVII.	Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga hacia alcantarillado público (total de 3 empresas)	117
XXXVIII.	Principales fuentes de generación de parámetros de aguas residuales.....	123

XXXIX.	Unidades de tratamiento propuestas para el pretratamiento del agua residual del sector lácteo guatemalteco	128
XL.	Unidades de tratamiento propuestas para el tratamiento primario del agua residual del sector lácteo guatemalteco	129
XLI.	Unidades de tratamiento propuestas para el tratamiento secundario del agua residual del sector lácteo guatemalteco....	131
XLII.	Unidades de tratamiento propuestas para el tratamiento terciario del agua residual del sector lácteo guatemalteco	133
XLIII.	Compendio de unidades de tratamiento propuestas para el STAR del sector lácteo guatemalteco y parámetros reducidos .	134

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CF	Coliformes fecales
DBO_{5,20}	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
mg	Miligramo
mL	Mililitro

ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura

GLOSARIO

A G 236-2006	Acuerdo Gubernativo 236-2006
Aerobio	Proceso que tiene lugar en presencia de oxígeno.
Afluyente	Agua captada por un ente generador.
Agua residual	Aguas cuya composición y calidad original han sido afectadas como resultado de su utilización.
Aguas residuales de tipo especial	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.
Aguas residuales de tipo ordinario	Aguas residuales generadas por las actividades domésticas, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.
Alcantarillado público	Conjunto de tuberías y otros accesorios utilizados por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial.
Anaerobio	Proceso que tiene lugar en ausencia de oxígeno.

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.
Caracterización de un efluente o un afluente	Determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, según los parámetros requeridos por el A G 236-2006.
Carga	Es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración, determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.
Clasificación industrial internacional uniforme	Conjunto de categorías de actividades para que las entidades puedan clasificarse según la actividad económica que realizan.
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.

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 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 máximo 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.

Ministerio de Ambiente y Recursos Hídrico (MARN)	Entidad con la autorización respectiva de realizar muestreos aleatorios en los vertidos y en los cuerpos receptores, con el fin de vigilar el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
MSPAS	Ministerio de salud pública y asistencia social
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.
Parámetro	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
Punto de descarga	Sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.
Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos	Bajo el Acuerdo Gubernativo 236-2006 es la normativa para la regulación de la calidad de los vertidos de aguas residuales a cuerpos de agua, alcantarillado público y el reuso, para las aguas ordinarias y especiales, así como para la disposición de lodos.

URHC

Unidad de recursos hídricos y cuencas.

**Sistema de tratamiento
de agua residual (STAR)**

Cualquier proceso físico, químico o biológico o una combinación de los mismos, en el cual las aguas residuales son tratadas para mejorar sus características.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es la identificación de los parámetros representativos en la descarga de aguas residuales del sector industrial de lácteos y su reducción basados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 (A G 236-2006). Se seleccionó como campo de estudio las industrias pertenecientes al sector de lácteos ubicadas en el área metropolitana de Guatemala y utilizando la base de datos de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas (URHC) del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) se escogieron industrias del campo de estudio y se realizaron visitas, en las cuales se recabó información a través de un formulario de inspección y toma de muestras de la descarga final de agua residual que, posteriormente se analizaron en el Laboratorio Nacional de Salud (LNS) del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

Se determinó que de los veinte parámetros establecidos en el A G 236-2006 se consideran prioritarios y de mayor representatividad para el sector de lácteos once parámetros. Por lo que se descartan como más representativos en la caracterización del agua residual de este sector los metales pesados y el cianuro total.

Se consideraron seis grupos industriales que componen el sector de lácteos según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), elaboración de leche fresca líquida tratada térmicamente, queso, crema, mantequilla, yogur y helados.

Se determinó que los procesos productivos de los grupos industriales poseen poca generación de agua residual, a excepción del proceso de elaboración del queso que genera grandes volúmenes de agua residual por los subprocesos de corte y desuerado, principalmente por la generación del lactosuero, además se concretó que las principales descargas de agua residual del sector de lácteos se realizan, generalmente por derrames, pérdidas de materia prima, producto terminado o en proceso y por las operaciones de limpieza y desinfección.

Se procedió a proponer unidades de sistema de tratamiento de agua residual, desde un pretratamiento hasta un tratamiento terciario, con el objetivo de que al adaptarse a las necesidades particulares de cada industria se pueda obtener una disminución en los parámetros de mayor representatividad, ya que al analizar el cumplimiento de los mismos con la cuarta etapa del A G 236-2006 se observó que en su mayoría no cumplen con los estándares normados.

OBJETIVOS

General

Identificar los parámetros de mayor representatividad del Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la descarga de aguas residuales para el sector industrial de lácteos y proponer unidades de tratamiento para su reducción, según el registro de entes generadores de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Específicos

1. Elaborar un diagrama de proceso de los distintos grupos industriales pertenecientes al sector de lácteos, en el cual se identifiquen entradas y salidas de materia prima según los procesos de generación de aguas residuales.
2. Determinar los parámetros representativos de las distintas industrias de lácteos en la descarga de aguas residuales, considerando los procesos de elaboración y materia prima.
3. Identificar los parámetros representativos en la caracterización de aguas residuales del sector industrial de lácteos y determinar el cumplimiento del A G 236-2006.

4. Seleccionar posibles unidades de tratamiento de agua residual a utilizar, considerando porcentualmente su eficacia de acuerdo a las propiedades físicas, químicas y biológicas priorizadas del agua residual, resultado del proceso y las principales descargas del sector industrial de lácteos.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aguas cuya composición y calidad original han sido afectadas como resultado de su utilización. Estas provienen de uso municipal, industrial, agropecuario y otros. El uso al que han sido sometidas ha degradado su calidad original, por lo que es necesario establecer estándares de calidad determinados por las características físicas, químicas y biológicas presentes en la descarga de aguas residuales.

El Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la Disposición de Lodos, A G 236-2006, establece veinte parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales de todos los sectores industriales, esto para cumplir con el objetivo de establecer criterios y requisitos que deben cumplirse con el fin de que mejoren las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas.

La investigación tiene como objetivo evaluar los parámetros representativos en la descarga de aguas residuales del sector industrial de lácteos y elaborar una propuesta de las unidades de tratamiento de agua residual, que reduzcan eficazmente dichos parámetros, según la información de los entes generadores de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

La Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) se utilizó para categorizar los grupos industriales pertenecientes al sector de lácteos, ya que la misma tiene como objetivo escoger y agrupar los procesos económicos,

atendiendo a características determinadas, con el fin de realizar una clasificación uniforme de las actividades económicas productivas.

Las aguas residuales de cada sector industrial poseen características distintas, las cuales varían de acuerdo a la diferencia entre los procesos de producción, aun entre las industrias lácteas del mismo tipo. Debido a la variabilidad entre las industrias y procesos del sector industrial de lácteos se realizó un proceso estándar con base en un formulario de inspección el cual se completó con visitas a industrias seleccionadas del sector de lácteos del área metropolitana, analizando la materia prima, el tipo de proceso, los principales usos de agua, la identificación de las principales etapas generadoras de agua residual y el tipo de tratamiento de agua residual.

La determinación de los parámetros de mayor representatividad se realizó a partir del resultado de dicho análisis asimismo, el cumplimiento de estos parámetros, con la cuarta etapa del A G 236-2006. Además, se realizó una propuesta de unidades de tratamiento de agua residual para la reducción más eficaz de dichos parámetros.

1. ANTECEDENTES

El Gobierno de Guatemala ha realizado esfuerzos para mitigar los problemas relacionados con la descarga de aguas residuales sin tratamiento de origen doméstico, industrial y agrícola, los cuales ocasionan un deterioro del ambiente hídrico. Debido a esto en el 2000, el Gobierno estableció el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) con el mandato de planificar y ejecutar políticas concernientes al manejo del ambiente hídrico.

En el 2005, el Gobierno de Guatemala solicitó a Japón una implementación de un proyecto para el mejoramiento de la calidad de agua del lago de Amatitlán. En respuesta a la solicitud, la Agencia de Cooperación Internacional del Gobierno del Japón (JICA) realizó un acuerdo con el MARN para implementar el Proyecto para el Desarrollo de la Capacidad para la Conservación del Ambiente Hídrico en el Área Metropolitana, con el objetivo de que la política pública y la reglamentación acerca de la conservación del ambiente acuático en el área metropolitana sean más efectivas.

La Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del MARN fue la responsable del proceso de implementación y coordinación de todos los procesos junto con el equipo consultor del proyecto, la empresa CTI Engineering Co. International, Ltd. El proyecto ha fortalecido la capacidad de formulación de estrategias para lograr una efectiva aplicación del reglamento de aguas residuales, así como ha establecido un sistema de monitoreo, evaluación y seguimiento para la implementación de dicho reglamento.

En el 2006 entró en vigencia el *Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, bajo Acuerdo Gubernativo número 236-2006, esta es una normativa para la regulación de la calidad de los vertidos de aguas residuales a cuerpos de agua, alcantarillado público y el reuso, para las aguas ordinarias, las aguas especiales y la disposición de lodos. El Reglamento se complementa con el *Manual General del Acuerdo Gubernativo 236-2006*, bajo el Acuerdo Ministerial 105-2008.

En enero de 2011 entró en vigencia el *Reglamento de las descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán*, bajo Acuerdo Gubernativo 12-2011, el cual tiene por objeto fijar los parámetros y establecer 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, con el fin de rescatar y proteger, así como prevenir la contaminación del sistema hídrico.

Ambos Acuerdos Gubernativos 236-2006 y 12-2011 están basados en las concentraciones de veinte parámetros como límites máximos permisibles de descarga a cuerpos receptores y alcantarillado público, esto con el objetivo de proteger, rescatar y prevenir la contaminación del sistema hídrico, así como promover su desarrollo de forma continua y sostenible.

En Guatemala, además de las normativas para la regulación de la calidad del agua residual, a nivel industrial y doméstico; existen trabajos de investigación en relación a calidad de agua realizados por la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el 2007, Ednar Pável Ramírez Lorenzana realizó su trabajo de tesis con el título: *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas de una industria farmacéutica nacional, según el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos y propuesta para el aprovechamiento de desechos*. En dicho trabajo se realizó la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una industria farmacéutica nacional y se comparó los resultados de análisis contra el A G 236-2006, determinando así que los parámetros no excedían los límites máximos permisibles.

Asimismo, se determinó la eficiencia de la planta de tratamiento de agua en función de la cantidad de carga orgánica que es capaz de remover en los diferentes tratamientos físicos y biológicos. Además, dicha investigación ofrece una propuesta efectiva, rentable y ecológica para que los desechos se puedan aprovechar.

En el 2010, Erick Martín Cambranes Morales realizó su trabajo de tesis con el título: *Instalación y control de una planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales con base en las regulaciones ambientales de Guatemala*, cuyo propósito fue la búsqueda de la conservación del recurso hídrico, para lo cual se instaló una planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales industriales en una empresa productora de cosméticos en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala.

Los resultados de la planta de tratamiento bajo el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* fueron exitosos, ya que se logró cumplir con la etapa 1 y 2 de dicho reglamento. En la planta de tratamiento se emplearon procesos físicos como filtración, sedimentación, transferencia de líquidos y sólidos, decantación, entre otros y métodos químicos como coagulación, floculación y cloración. En dicha

investigación resalta que la industria guatemalteca tiene una gran responsabilidad ambiental y social para el cumplimiento del A G 236-2006, utilizando procesos más limpios que reduzcan la generación de residuos, situación que al mismo tiempo reduce los desperdicios y produce procesos más económicos.

En el 2011, Luis Fernando González Serrano elaboró su trabajo de tesis con el título: *Evaluación a nivel laboratorio de la eficiencia de dos coagulantes para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de aceites y grasas comestibles*; esta investigación procedió a evaluar la eficiencia de dos coagulantes (sulfato de aluminio y cloruro férrico), para disminuir la carga de DQO y DBO_{5,20}, bajo las mismas condiciones de pH del agua, concentración de coagulante, tiempo de contacto y velocidad de agitación.

Dicha investigación posee como objetivo caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente original y los efluentes tratados con cada uno de los dos coagulantes comerciales seleccionados, según el A G 236-2006, comparando los resultados obtenidos de la caracterización con los límites máximos permisibles establecidos con dicho reglamento.

Además, en el 2011, Lucila Yamilet Cerdón Soto, para optar por el título de ingeniera industrial de la Universidad Rafael Landívar, realizó su trabajo de graduación con el título: *Guía y herramientas para la realización de estudios técnicos de aguas residuales según Acuerdo Gubernativo 236-2006 para la industria de la preparación de alimentos y bebidas*; el cual surge de la importancia de fijar especial atención a las descargas, tratamientos y manejo de aguas residuales de las agroindustrias a nivel nacional para el cumplimiento del Reglamento y de los límites máximos permisibles indicados en el mismo, lo cual puede ser controlado con el estudio técnico y así poder llevar un control de las

descargas y de los procedimientos que se llevan a cabo en las diferentes industrias.

Además resalta que para la agroindustria, industria en general y cualquier otro tipo de actividad doméstica, no existen sistemas de tratamiento adecuados para tratar el agua residual independientemente de la actividad de cada uno de estos sectores y que las industrias no cuentan con el estudio técnico que el reglamento estipula, por lo que la elaboración de esta investigación aportará una herramienta para la elaboración de estudios técnicos a la industria de alimentos y bebidas.

En el 2009, la Consultoría para la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo realizó un proyecto con el título: *Elaboración de estándares de desempeño en calidad del agua en sectores prioritarios a nivel de Centro América*, con el fin de cumplir el Acuerdo del Consejo de Ministros de Ambiente aprobado en julio del 2005, en el marco del Acuerdo de Cooperación CCAD/USAID/DR-CAFTA.

Este proyecto tiene como objetivo definir un procedimiento armonizado, para que las autoridades competentes en la región centroamericana establezcan límites permisibles de efluente con base en Estándares de Desempeño, y así surge el proceso de regulación para descargas de aguas residuales en Centroamérica. Este procedimiento asistirá a los entes competentes de ambiente y salud, de los países de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y República Dominicana; los suscritos del DR-CAFTA, en la identificación, selección de tecnologías, prácticas, métodos de producción industriales y tratamiento de aguas residuales que sean técnica y económicamente sostenibles dentro del marco de los sectores industriales

priorizados de mataderos de ganado, porquerizas, beneficios de café y producción de lácteos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insaboro que cubre las tres cuartas partes del planeta Tierra. La importancia del agua reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que suceden en la naturaleza, no solo en los organismos vivos sino también, en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en laboratorios y en la industria, tienen lugar entre sustancias disueltas en agua.

La molécula del agua, cuya fórmula es H_2O , contiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Entre las moléculas de agua se establecen enlaces por puentes de hidrógeno; estos son enlaces por fuerzas de van der Waals de gran magnitud, aunque son unas veinte veces más débiles que los enlaces covalentes.

Los enlaces por puentes de hidrógeno se establecen debido a la formación de dipolos electrostáticos que se originan al situarse un átomo de hidrógeno entre dos átomos más electronegativos, en este caso de oxígeno. El oxígeno, al ser más electronegativo que el hidrógeno, atrae más hacia este, los electrones compartidos en los enlaces covalente con el hidrógeno, cargándose negativamente, mientras los átomos de hidrógeno se cargan positivamente, estableciéndose así dipolos eléctricos.

Los enlaces por puentes de hidrógeno entre las moléculas del agua pura son responsables de la dilatación del agua al solidificarse, es decir, su

disminución de densidad cuando se congela. En estado sólido, las moléculas de agua se ordenan formando tetraedros, situándose en el centro de cada tetraedro un átomo de oxígeno y en los vértices dos átomos de hidrógeno de la misma molécula y otros dos átomos de hidrógeno de otras moléculas que se enlazan electrostáticamente por puentes de hidrógeno con el átomo de oxígeno. La estructura cristalina resultante es muy abierta y poco compacta, menos densa que en estado líquido

Las propiedades físicas y químicas del agua principales son las siguientes:

2.1.1. Densidad

La densidad del agua está en función de la expansión y contracción de su volumen, al elevar la temperatura de un volumen de agua se estará expandiendo su volumen, y a la vez, disminuyendo su densidad y viceversa, si se enfría un volumen de agua se estará contrayendo su volumen y aumentando su densidad sin variar en ambos casos las masas.

El agua, al descender en su temperatura hasta antes de llegar a 4 °C el volumen se contrae, pero al seguir descendiendo de 4 °C en vez de seguir marcando una contracción del volumen, esta contradictoriamente empieza a marcar una expansión del volumen, por lo cual su densidad empieza a disminuir nuevamente. El agua obtiene su máxima densidad a 4 °C y es igual a 1 gramo por centímetro cúbico.

2.1.2. Tensión superficial

Es el trabajo necesario para expansionar la superficie de un líquido por unidad de área. En el agua las fuerzas intermoleculares debido a los puentes de

hidrógeno, son relativamente de gran magnitud, por lo que el agua tiene una mayor tensión superficial que la de los líquidos orgánicos. La superficie del líquido se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo de ofrecer cierta resistencia al intentar romperla.

Debido a esta alta tensión superficial del agua hace que esta se eleve en un tubo capilar y por lo que se dice que se está en presencia del fenómeno de capilaridad.

2.1.3. Constante dieléctrica

La constante dieléctrica mide la propiedad no conductora o aislante de una sustancia con respecto a la electricidad. El agua químicamente pura es mala conductora, pero al tener electrolitos el agua empieza a marcar conductividad y su constante dieléctrica empieza a disminuir. La capacidad conductora del agua es útil para determinar la cantidad de sólidos disueltos.

2.1.4. Disolvente

El agua es considerada como un disolvente universal en el que prácticamente todas las sustancias son solubles hasta cierto grado. El agua contiene la mayoría de sales minerales en solución verdadera, también, partículas insolubles en suspensión en la que cada partícula está rodeada de agua, teniendo cada partícula una superficie que constituye una barrera entre sólido y líquido, teniendo coloides o partículas en suspensión.

2.2. Agua residual

Las aguas residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia.

El agua residual está constituida esencialmente, por el agua de abastecimiento, luego de haber sido degradado sus características por los diversos usos a los que ha sido sometida. Es indispensable conocer la fuente de las aguas residuales, y consecuentemente los componentes que la forman.

La determinación de las descargas de aguas residuales es fundamental para el diseño de redes de alcantarillado sanitario, tratamiento de las aguas residuales, y en su disposición final.

2.2.1. Tipo de aguas residuales

Las aguas residuales pueden ser de diferentes tipos de acuerdo a su procedencia:

2.2.1.1. Aguas residuales de tipo especial

Según el *Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, las aguas residuales de tipo especial son definidas como 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.

Las aguas residuales especiales varían en su composición de acuerdo con los procesos industriales a los que son sometidos. Algunas son aguas de enjuague relativamente limpias, otras se encuentran fuertemente cargadas de materia orgánica o mineral, o con sustancias corrosivas, venenosas, inflamables o explosivas.

2.2.1.2. Aguas residuales de tipo ordinario

Las aguas residuales de tipo ordinario según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, son 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.

2.2.2. Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales poseen características generales en las que se agrupan las sustancias de iguales efectos sobre la calidad de las mismas. Y pueden ser de características físicas, químicas y biológicas. Es importante conocer todas las características del agua residual, con ello se logra deducir de manera más rápida y práctica el tipo de tratamiento al cual se puede someter. “Toda caracterización del agua residual se puede determinar mediante un programa de muestreo apropiado que asegure la representatividad de la muestra, confiabilidad en el análisis de cada parámetro, todo ello bajo un estricto procedimiento amparado en las normas estándar de cada localidad.”¹

¹ MANOSALVAS, Diana. Estudio del tratamiento de las descargas líquidas de la estación de servicios y propuestos de ALTER. Ecuador: 2007. <http://repositorio.eppetroecuador.ec/bitstream/20000/119/1/T-UCE-091.PDF>. Consultado el 15 de agosto de 2011. Página 15.

2.2.2.1. Parámetros físicos

- Temperatura

“La temperatura del agua es un parámetro de importancia en las aguas residuales, y en la mayoría de caracterizaciones se determina este parámetro.”² Es determinante, debido a sus efectos sobre las reacciones químicas y la proporción de la reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para usos beneficiosos.

La temperatura en el agua afecta la energía cinética de los reactivos, así como la estabilidad y actividad de las enzimas que participan en reacciones bioquímicas. En consecuencia, la temperatura ejerce una marcada influencia sobre la reproducción, crecimiento y el status fisiológico de todas las entidades vivas. Asimismo, la temperatura en el agua desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de ecosistemas en el agua al regular o afectar otros factores abióticos del ecosistema como son: la solubilidad de nutrientes, solubilidad de gases, el estado físico de nutrientes y propiedades fisicoquímicas del medio acuoso como: pH, potencial redox, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad del agua.

- Color

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se denomina color aparente, mientras que el causado por sustancias disueltas y

² MANOSALVAS, Diana. Estudio del tratamiento de las descargas líquidas de la estación de servicios y propuestos de ALTER. Ecuador: 2007. <http://repositorio.eppetroecuador.ec/bitstream/20000/119/1/T-UCE-091.PDF>. Consultado el 15 de agosto de 2011. Página 15.

coloidales se denomina color verdadero. El color verdadero se obtiene de una muestra filtrada.

El color de las aguas residuales se debe a la infiltración en sistemas de recolección, descargas industriales y la descomposición de compuestos orgánicos. El color de las aguas residuales puede tener una variedad de colores, según el uso, el tiempo después de la descarga y la descomposición bacterial (aerobia o anaerobia).

- Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales son un parámetro importante, ya que contribuyen directamente en la calidad del cuerpo receptor, aportando partículas sólidas que pueden tener un efecto sobre la salud de organismos acuáticos y que proporcionan turbidez al agua, limitando la penetración de luz solar en la columna de agua y afectando el proceso fotosintético de las microalgas y perifiton del ecosistema acuático.

Los sólidos suspendidos totales son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o sedimentación. Asimismo, son la fracción de sólidos retenidos sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.

Se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan, tales como: arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura, de los cuales un 70 por ciento son orgánicos y un 30 por ciento inorgánicos.

2.2.2.2. Parámetros químicos

- Potencial de Hidrógeno

El potencial de hidrógeno es un parámetro utilizado para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución. Es la medida de la concentración de iones o cationes hidrógeno en el agua y es un parámetro importante de calidad tanto en las aguas naturales como en las residuales.

El químico danés Sorensen lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

La determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o alcalinidad. Un pH menor a 7 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor a 7 muestra una tendencia hacia lo alcalino.

“La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH muy ácido o muy alcalino, pueden ser indicio de una contaminación industrial”³.

³ MANOSALVAS, Diana. Estudio del tratamiento de las descargas líquidas de la estación de servicios y propuestas de ALTER. Ecuador: 2007. <http://repositorio.eppetroecuador.ec/bitstream/20000/119/1/T-UCE-091.PDF>. Consultado el 15 de agosto de 2011. Página 15.

- Aceites y grasas

Las grasas y aceites son los compuestos de alcohol o glicerol con ácidos grasos. Los ácidos grasos que están en forma líquida a temperaturas ordinarias son llamados aceites, y aquéllos sólidos se llaman grasas. Éstos son químicamente bastante similares, estando compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno en varias proporciones. Las grasas y aceites que contribuyen a las aguas residuales de tipo doméstico están en la mantequilla, manteca de cerdo, margarina y en aceite graso y vegetal. Las grasas también se encuentran normalmente en las carnes, germen de cereales, semillas, nueces y en ciertas frutas.

Las grasas están entre los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por medio de bacterias. Los ácidos minerales los atacan, sin embargo, producen la formación de glicerina y ácidos grasos. En presencia de alcalinos, se libera la glicerina, y se forman las sales alcalinas de los ácidos grasos. Estas sales alcalinas como jabones y grasas, estos son estables.

El contenido de grasa de las aguas residuales causa muchos problemas que pueden provocar severos problemas en el alcantarillado y en las plantas de tratamiento. Si la grasa no es removida antes de la descarga, esta puede interferir con la vida biológica en las aguas superficiales creando materia flotante de mal aspecto y películas aceitosas.

- Materia flotante

La materia flotante es la materia o sustancias que permanecen temporal o permanentemente en la superficie del cuerpo de agua, limitando su uso.

- Demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$)

La $DBO_{5,20}$ es un parámetro de medición indirecta que mide la cantidad de oxígeno consumido por una población microbiana cultivada en la muestra, por lo que su presencia indica entonces, la capacidad que tienen los contaminantes de consumir el oxígeno del cuerpo receptor de las aguas residuales por medio de la descomposición biológica en este.

El $DBO_{5,20}$ es la principal prueba utilizada para la evaluación de la naturaleza del agua residual. La $DBO_{5,20}$ se determina a 20 grados centígrados después de una incubación de 5 días, determinando la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias. Entre mayor $DBO_{5,20}$ en las aguas residuales ingresando a un cuerpo de agua superficial, mayor será el consumo de oxígeno disuelto del sistema. El consumo de oxígeno ocurre, naturalmente, así como para la degradación de la materia orgánica en el medio, esto implica una baja en la concentración del oxígeno disuelto del medio, pudiendo alcanzar condiciones anaerobias, que afectan la vida de los organismos biológicos.

La demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales: materia orgánica carbonosa usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios; nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico, que sirven de sustrato para bacterias específicas del género nitrosomas y nitrobacter, que oxidan al nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos y compuestos reductores químicos, como sulfitos, sulfuros y el ion ferroso, que son oxidados por oxígeno disuelto.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o dicromato de potasio. Este proceso oxida casi todos los compuestos orgánicos en gas carbónico y en agua. La reacción es completa en más de 95 por ciento de los casos.

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa como un indicador de la carga de carbono orgánico total, con la excepción de ciertos compuestos aromáticos. La DQO proporciona la cantidad de oxígeno necesario para oxidar las sustancias orgánicas presentes en una muestra de agua; representa todo lo que se puede oxidar, particularmente ciertas sales minerales y la mayoría de los compuestos orgánicos.

Este parámetro impacta directamente sobre la salud de los cuerpos de agua, de tal manera que es un indicador de la capacidad que tendrán los contaminantes de reducir el oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, al recibir aguas residuales con presencia de DQO.

- Nitrógeno total

El nitrógeno total es un indicador que refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio.

“Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los

análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.”⁴

- Fósforo total

“El fósforo, como los nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico”.⁵

- Arsénico

El arsénico es utilizado como aditivo de aleación para metales, especialmente plomo y cobre, celdas de batería, envolturas de cable, tubos de caldera; además, por el elevado grado de pureza se considera un semiconductor. El contenido de arsénico en las aguas residuales es de preocupación, ya que es un agente carcinógeno y mutágeno. El producto a largo plazo puede causar fatiga y pérdida de energía, así como dermatitis. Dado que la reactividad y toxicidad del arsénico inorgánico trivalente son mayores que las del arsénico inorgánico pentavalente, se cree generalmente, que la forma trivalente es la cancerígena.

⁴ ECHARRI, Luis. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>. Consultado el 22 de enero de 2012.

⁵ ECHARRI, Luis. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>. Consultado el 22 de enero de 2012.

- Cadmio

El cadmio es un metal que se utiliza en la industria del acero y en los plásticos. Los compuestos de cadmio con un componente muy utilizado en pilas eléctricas. El cadmio se libera al medio ambiente en las aguas residuales, y los fertilizantes y la contaminación aérea local producen contaminación difusa.

La absorción de los compuestos de cadmio depende de su solubilidad. El cadmio se acumula principalmente en los riñones y su semivida biológica en el ser humano es prolongada, de diez a treinta y cinco años. La presencia de cadmio en las aguas residuales es de preocupación debido a que es inflamable en forma de polvo, tóxico por inhalación de polvo o humo y carcinógeno, sus compuestos solubles son muy tóxicos.

- Cianuro total

La determinación de la concentración de cianuro total en una muestra de agua, abarca todos los compuestos que contengan grupos cianuros y los iones cianuro. Muchos de los cianuros en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero y facilidades públicas para el tratamiento de aguas residuales.

Cantidades más pequeñas de cianuro pueden entrar al agua a través de agua de escorrentía que fluye por caminos donde se han esparcido sales que contienen cianuro. El cianuro presente en vertederos puede contaminar el agua subterránea. El cianuro de hidrógeno, cianuro de sodio y cianuro de potasio son

las formas de cianuro con mayor probabilidad de ocurrir en el ambiente como producto de las actividades industriales.

- Cobre

El cobre es un metal que es liberado al medio ambiente por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura. El cobre, también puede entrar al medio ambiente desde basurales, del agua residual doméstica, de la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, de la producción de madera, de la producción de abonos de fosfato y de fuentes naturales. Por lo tanto, el cobre está ampliamente distribuido en el medio ambiente. El cobre se encuentra, por lo general, cerca de minas, fundiciones, plantas industriales, vertederos y sitios de desechos.

Cuando el cobre y los compuestos de cobre que se liberan al agua, el cobre se disuelve para ser transportado en el agua de superficie, ya sea en la forma de compuestos de cobre, cobre libre o unido a partículas suspendidas en el agua. El cobre, generalmente, se deposita en los sedimentos de los ríos, lagos y estuarios.

- Cromo hexavalente

El cromo es usado en la industria de acero, en galvanoplastia, en el curtido del cuero y como anticorrosivo en radiadores. La toxicidad del cromo está en correspondencia con sus valencias, el cromo hexavalente es reconocido por su toxicidad, causando irritación y corrosión. Los compuestos más solubles e insolubles de valencia seis, incluyen el ácido crómico, cromatos, bicromatos, cromato de cinc, cromato de plomo y cromito mineral.

- Mercurio

El mercurio es un metal pesado presente en la naturaleza, el cual puede acumularse en los sedimentos de lagos, donde se transforma en su forma orgánica más tóxica, el mercurio de metilo, que se puede acumular en el tejido de los peces.

El mercurio tiene numerosos efectos sobre los humanos, que pueden ser simplificados, principalmente, en los siguientes: daño al sistema nervioso, a las funciones del cerebro, ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, irritación de piel, cansancio, dolor de cabeza y efectos negativos en la reproducción.

- Níquel

El níquel es un elemento metálico que ha sido relacionado con diversos efectos tóxicos, de tipo agudo o crónico, según el tipo de compuesto y las características de exposición. Muchas sales de níquel son solubles en el agua, esto puede dar origen a la contaminación de este recurso, por lo que han existido problemas importantes debido a la descarga industrial de efluentes que contienen compuestos de níquel en cursos de agua. El níquel es liberado, principalmente, por fundiciones y talleres de recubrimientos.

- Plomo

El plomo es un metal pesado que constituye un elemento tóxico que se acumula en el cuerpo conforme se inhala del aire o se ingiere con los alimentos y el agua. Este metal se usa en gran variedad de productos, incluyendo baterías de almacenamiento, compuestos químicos antidetonantes para la gasolina,

pigmentos, pinturas y vidriados cerámicos. La exposición al plomo daña el sistema nervioso y la síntesis de glóbulos rojos de la sangre.

- Zinc

El zinc es un metal que tiene muchos usos en la industria. Puede encontrarse en forma pura o mezclado con otros metales para formar aleaciones o combinado con otras sustancias químicas. La exposición a niveles altos de zinc puede ocurrir del agua para beber o de otros líquidos que se almacenan en recipientes de metal galvanizados, flujo a través de tuberías galvanizadas, o que están contaminadas por desechos de zinc provenientes de fuentes industriales o sitios de desechos tóxicos. La exposición al zinc ocasiona lesiones en vías respiratorias, dolores musculares, enfisema pulmonar, náusea y vómitos.

2.2.2.3. Parámetros biológicos

Los parámetros biológicos se utilizan como índices de calidad de agua; en donde se emplean como indicadores de la calidad del medio hídrico, la presencia de varios seres vivos, según predominen unos organismos u otros. Todos los organismos que se encuentran en el agua son importantes en el momento de establecer el control de la misma; se debe considerar si tienen su medio natural de vida en el agua o pertenecen a poblaciones transitorias introducidas por el ser humano; si su crecimiento lo propician los nutrientes presentes en el escurrimiento natural y en aguas residuales; y si es capaz de intoxicar a las personas y a los animales superiores.

“El interés se centra en la presencia e importancia de organismos sustitutos como indicadores de la posible presencia de patógenos y sobre la

necesidad de adoptar medidas efectivas para la destrucción o control de estos.”⁶

La calidad microbiológica del agua estará dada por ciertos grupos de microorganismos indicadores de contaminación fecal. Estos grupos en especial son los coliformes fecales y los huevos helminto, los cuales por su sola presencia indican que ocurrió contaminación y que pueden encontrarse otros microorganismos patógenos en el agua, tales como: Salmonella y Shigella.

- Coliformes fecales

Indican la presencia de materia fecal en el agua y es un indicador indirecto de posible presencia de patógenos. Por ende, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los residuos generados deben someterse a tratamiento, para así ser dispuestos con el mínimo impacto ambiental. Una planta de tratamiento para efluentes lácteos requiere ser diseñada para remover los niveles de parámetros tales como: DBO_{5,20}, aceites y grasas, sólidos suspendidos, y para corregir el pH del efluente. Para las industrias lácticas, generalmente se debe considerar un tratamiento preliminar y un tratamiento biológico. El tratamiento preliminar puede ser del tipo físico o físico-químico, dependiendo de las concentraciones que presentan aquellos contaminantes inhibidores del proceso biológico. El tratamiento de aguas residuales puede clasificarse en cuatro categorías principales: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

⁶ López, Alejandro. Parámetros y propiedades biológicas del agua. Universidad de la Guajira. Colombia. <http://www.monografias.com/trabajos16/parametros-agua/parametros-agua.shtml>. Consultado 19 de septiembre de 2011.

2.3.1. Pretratamiento

El pretratamiento tiene como objetivo la remoción de material inerte, flotante y sólido de gran tamaño. El pretratamiento involucra operaciones gravitacionales, manuales o mecánicas, que permite remover básicamente sólidos de distinta granulometría y densidad del efluente. Dada la gran cantidad de aceites y grasas presentes en los desechos líquidos en la industria de lácteos, el sistema típico contempla una o varias unidades desgrasadoras donde se separan y luego son llevados a tratamiento externo o para disposición final.

- Separación de sólidos gruesos

Para la eliminación de aquellos sólidos de gran tamaño (mayores a 15 mm) que puedan interferir con las posteriores etapas del tratamiento, se deben instalar cámaras de reja de limpieza manual o autolimpiantes. Estos sólidos no se digieren biológicamente y provocan problemas en las posteriores etapas del tratamiento, razón por la cual es necesario removerlos previamente.

- Separación de sólidos no putrescibles

Se entiende por tales a las arenas, gravas, cenizas, entre otros. Para removerlos se utiliza desarenadores, los que pueden ser gravitacionales o aireados. Otra alternativa es utilizar hidrocentrífugas o hidrociclones, en cuyo caso se requiere necesariamente un bombeo previo del efluente.

- Separación de sólidos finos

Los sólidos finos comprenden el tamaño entre 0,5 milímetros y 3 milímetros. Para removerlos se utiliza normalmente tamices tipo filtros rotarios autolimpiantes con agua o vapor. El sólido aquí extraído puede ser reciclado a alimento animal, ya que no involucra componentes nocivos para la alimentación animal como detergentes, los que permanecen en la corriente líquida.

- Trampa de grasa

La trampa de grasa tiene por objetivo remover físicamente aquellas grasas y aceites libres, sin necesidad de incorporar producto químico alguno. Su implementación permite reducir los costos de tratamiento asociados a etapas posteriores.

- Estanque de ecualización y homogenización

Las aguas procedentes de las diversas secciones donde se generan son recibidas en un tanque de homogenización y ecualización para obtener una calidad homogénea de estas y alimentar las operaciones y procesos siguientes. Tiene el objetivo de permitir que el sistema de tratamiento no sufra pérdidas de eficiencia y/o no requiera de continuos, costosos y desfavorables cambios en el programa químico aplicado.

- Ajuste de pH

En el ajuste de pH se realiza la dosificación del agente neutralizante (soda cáustica o ácido sulfúrico), con el objetivo de ajustar el pH al nivel óptimo para la posterior etapa de coagulación.

2.3.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como finalidad la remoción de sólidos suspendidos por medio de procesos de sedimentación, filtración, flotación, floculación, precipitación y otros. Las unidades que se utilizan son la fosa séptica, tanque Imhoff, sedimentadores primarios y otros.

- Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad compacta que posee en un mismo tanque las unidades de sedimentación y digestión de lodos. El tratamiento que ocurre dentro del tanque Imhoff es muy similar al de un sedimentador convencional. El lodo sedimentado es encaminado a un compartimiento destinado para su digestión, de donde es removido para unidades de deshidratación de lodos (patio de secado). La eficiencia del proceso es afectada por la condición de sedimentación y digestión en una misma cámara.

- Sedimentador primario

El sedimentador primario tiene como función remover rápidamente los residuos sólidos sedimentables y material flotante, para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos. Esta unidad puede estar ubicada como parte del tratamiento primario y/o secundario.

- Fosa séptica

La fosa séptica es una cámara subterránea, cubierta en forma hermética para recoger las aguas residuales en donde se produce la putrefacción de materias orgánicas por acción bacteriana, de esta manera, queda menor

cantidad de materia orgánica; la fosa séptica, también permite la digestión de una porción de sólidos y almacena la porción no digerida.

- Biodigestor

El biodigestor es un depósito cerrado en el cual, el material orgánico presente en aguas residuales se fermenta por acción anaerobia bacteriana. Se producirá a través de este proceso lodos ricos en nutrientes y gas metano.

2.3.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como finalidad reducir el contenido de materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. Esta fase puede incluir procesos biológicos y químicos, sin embargo, el tipo de tratamiento más empleado es el biológico, el cual utiliza la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales. Las unidades utilizadas pueden contar con organismos fijos: filtro anaerobio, reactor tubular de película fija, filtros percoladores, biodiscos; con microorganismos suspendidos: lagunas aerobias, lagunas anaerobias, lagunas facultativas, lagunas aireadas, lodos activados y zanjas de oxidación.

- Floculación y preparación de polímero

La dosificación del floculante (polielectrolito) permite la formación de coágulos de gran tamaño (flóculos), los que son removidos en la etapa posterior de flotación o por sedimentación si le sigue la operación de coagulación. Es necesario seleccionar, apropiadamente el equipo para esta operación unitaria, de forma tal de no incorporar altas dosis de este producto en los lodos, lo cual sea perjudicial para posteriores aplicaciones.

- Coagulación

El objetivo de la coagulación es neutralizar el potencial del efluente, que pueda permitir la formación de coloides, los que darán paso a coágulos. Para efectuar la coagulación existen dos tecnologías, la primera (más común) es la dosificación de una sal química coagulante, mientras que la segunda es electrocoagulación.

- Filtros percoladores

Los filtros percoladores o, también denominados filtros por goteo, filtros rociadores o filtros biológicos. En los filtros ocurre un proceso biológico tipo aerobio, por lo que debe ingresar aire en la parte superior e inferior de la unidad. Los filtros percoladores deben tener un tratamiento previo, el cual debe incluir: rejillas, desarenadores y sedimentación primaria, y como tratamiento posterior un sedimentador secundario.

- Lodos activados

El lodo activado es el floculo producido en las aguas residuales por el crecimiento de bacterias zoogeas u otros organismos, en la presencia de oxígeno disuelto, y acumulado en concentración suficiente gracias al retorno de otros flóculos previamente formados. Es un proceso biológico tipo aerobio, en el cual las aguas residuales y el lodo activado son íntimamente mezclados, agitados y aireados (tanques de aireación), para después separarse los lodos activados del agua residual tratada (sedimentación).

- Reactor Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Los reactores UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también conocido como RAFA (Reactor anaerobio de flujo ascendente) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos. Los reactores UASB, normalmente necesitan un tratamiento posterior, para lograr degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos. Este postratamiento puede referirse a sistemas convencionales aerobios como: lagunas de estabilización, plantas de fangos activos y otros.

- Sistemas de lagunaje

El tratamiento por lagunaje de aguas residuales consiste en el almacenamiento de estas durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de bacterias presentes en el medio. Dado que la presencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización determina qué tipo de mecanismos van a ser responsables de la depuración, los estanques de estabilización suelen clasificarse en aerobios, anaerobios y facultativos.

2.3.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona el grado de tratamiento necesario para alcanzar una física-química-biológica adecuada de acuerdo a su reuso mediante la remoción de sólidos suspendidos (microcribado, coagulación-floculación, filtros con diatomeas), compuestos orgánicos e inorgánicos

(adsorción, oxidación química, electrodiálisis, intercambio iónico), remoción de nutrientes (nitrificación-desnitrificación, desgasificación, cloración, intercambio iónico) y remoción de microorganismos (cloración, ozonización, iodización, rayos ultravioleta, lagunas de maduración).

2.4. Reglamento de Descargas de aguas residuales de Guatemala (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

El *Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, bajo Acuerdo Gubernativo número 236-2006, es una normativa para la regulación de la calidad de los vertidos de aguas residuales a cuerpos de agua, alcantarillado público y el reuso, para las aguas ordinarias y especiales, así como para la disposición de lodos. Este reglamento promueve la conservación y mejoramiento del recurso hídrico y establece que la aplicación del mismo compete al MARN, autorizándolo como la entidad con la autorización respectiva de realizar muestreos aleatorios en los vertidos y en los cuerpos receptores, con el fin de vigilar el cumplimiento del Reglamento.

El objeto del Reglamento es: “Establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos”⁷. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre 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 proceso de eutrofización y promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

⁷ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Guatemala: 2006. Artículo 1.

El Reglamento debe aplicarse a los entes generadores de aguas residuales, las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, que produzcan aguas residuales para reuso, que reúsen parcial o totalmente aguas residuales y las responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

El Reglamento de Descargas de aguas residuales requiere veinte parámetros de calidad del agua para determinar las características del efluente. Estos incluyen un rango de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para proveer información sobre la cual poder basarse para la evaluación de la calidad del agua. El máximo límite permisible se determina para cada parámetro, pero varía dependiendo del lugar de la descarga de las aguas. Se consideran tres casos: a cuerpos receptores incluyendo esteros, hacia cuerpos receptores para aguas residuales de tipo municipal y al sistema de alcantarillado público.

2.4.1. Parámetros de calidad de agua de los efluentes

En el Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos se establecen los siguientes veinte parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales:

- Temperatura.
- Potencial de hidrógeno.
- Grasas y aceites.
- Materia flotante.
- Sólidos suspendidos totales.
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados celsius.

- Demanda química de oxígeno.
- Nitrógeno total.
- Fósforo total.
- Arsénico.
- Cadmio.
- Cianuro total.
- Cobre.
- Cromo hexavalente.
- Mercurio.
- Níquel.
- Plomo.
- Zinc.
- Color.
- Coliformes fecales.

2.5. Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU)

La Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) tiene como objetivo escoger y agrupar los procesos económicos atendiendo a características determinadas, con el fin de realizar una clasificación uniforme de las actividades económicas productivas. “La CIIU provee un conjunto de categorías de actividades para que las entidades puedan clasificarse según la actividad económica que realizan. Las categorías de la CIIU se han definido vinculándolas, con la forma en que el proceso económico está estructurado en unidades y con la forma en que se describe ese proceso en las estadísticas económicas.”⁸

⁸ 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>. Consultado el 15 de julio de 2011.

2.5.1. Actividades principales, secundarias y auxiliares

Las actividades económicas productivas se definen como una combinación de acciones cuyo resultado es un determinado conjunto de productos; en donde se combinan recursos tales como: equipo, mano de obra, técnicas de fabricación o productos para obtener determinados bienes o servicios. Una actividad se caracteriza por un insumo de recursos, un proceso de producción y la obtención de productos, y por convención, se define como un proceso que da lugar a un conjunto homogéneo de productos. En este contexto, un conjunto homogéneo de productos son aquellos productos que pertenecen a una misma categoría y cuya producción es característica de una clase (la categoría más detallada) de la clasificación de actividades.

2.5.1.1. Actividad principal

La actividad principal de una entidad económica es la actividad que genera la mayor parte del valor añadido de la entidad o la actividad cuyo valor añadido supera al de todas las demás actividades que realiza la entidad. Los productos resultantes de una actividad principal son productos principales y que se fabrican necesariamente, junto con los principales.

2.5.1.2. Actividades secundarias

Las actividades secundarias son cada una de las actividades independientes que generan productos destinados en última instancia a terceros y que no son actividades principales de la entidad. Las actividades secundarias generan productos secundarios.

2.5.1.3. Actividades auxiliares

Las actividades auxiliares se realizan para respaldar las actividades de producción principales de una entidad, generando productos o servicios no duraderos para uso principal o exclusivo de esa entidad.

2.5.2. Divisiones y grupos de la CIIU

Los principales criterios empleados para definir las divisiones y grupos (las categorías de dos y tres dígitos, respectivamente) de la CIIU se refieren a las características de las actividades de las unidades de producción que tienen un carácter estratégico para determinar el grado de analogía de la estructura de las unidades y ciertas relaciones dentro de una economía. Los principales aspectos considerados para definir las divisiones y grupos son las características de los bienes producidos y de los servicios prestados; los usos a que se destinan esos bienes y servicios y los insumos, el proceso y la tecnología de producción.

2.5.3. Clases de la CIIU

Los criterios relativos a la forma en que se combinan las actividades en los establecimientos y se distribuyen entre ellos, fueron elementos fundamentales para definir las clases (categorías de cuatro dígitos) de la CIIU. Las clases de la CIIU se definen de modo que en la medida de lo posible, se cumplan las dos condiciones siguientes:

- Que la producción de la categoría de bienes y servicios que caracteriza a una clase determinada, represente la mayoría de la producción de las unidades clasificadas en esa clase.

- Que la clase abarque las unidades que producen la mayor parte de la categoría de los bienes y servicios que la caracterizan.

Las dos condiciones limitan el grado de detalle que puede lograrse en las clases de la CIIU. Estas clases deben definirse según las combinaciones de actividades a que se dedican habitualmente los establecimientos en los distintos países del mundo.

2.5.4. Clasificación de la CIIU para el sector de lácteos

La clasificación del CIIU para el sector de lácteos se encuentra en la sección D que corresponde a las industrias manufactureras, dentro de esta sección se encuentra la división 15 que trata de la elaboración de productos alimenticios y bebidas y en esta división se encuentra el grupo 152: elaboración de productos lácteos, en donde se detallan de los grupos industriales que pertenecen a este sector y que se pueden catalogar en la clase 1520: elaboración de productos lácteos.

- Sección D industrias manufactureras, división 15 elaboración de productos alimenticios y bebidas

Las industrias manufactureras son las que realizan actividades de las unidades que se dedican a la transformación física y química de los materiales, sustancias o componentes en productos nuevos. 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.

La industria alimentaria elabora los productos de la agricultura, la ganadería y la pesca para convertirlos en alimentos y bebidas para consumo humano o animal; y comprende la producción de varios productos intermedios que no son directamente productos alimenticios. Esta división se organiza por actividades que se realizan con los distintos tipos de productos: carne, pescado, fruta, legumbres y hortalizas, grasas y aceites, productos lácteos y otros productos alimenticios y bebidas.

- Grupo 152 elaboración de productos lácteos, clase 1520 elaboración de productos lácteos

La elaboración de productos lácteos, para la CIIU, comprende las siguientes actividades: Leche fresca, líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas; bebidas no alcohólicas a base de leche; crema a partir de leche fresca, líquida, pasteurizada, esterilizada u homogeneizada; leche en polvo o condensada, azucarada o sin azucarar; leche o crema en forma sólida; mantequilla; yogur; queso y cuajada; sueros; caseína y lactosa; helados y sorbetes.

Asimismo, la elaboración de productos lácteos, basados en la CIIU, no comprende las siguientes actividades: Producción de leche cruda, elaboración de sucedáneos de leche y queso y actividades de las heladerías.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

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

3.1.1. Caracterización del efluente de aguas residuales

Los parámetros de medición para determinar las características de aguas residuales se basan en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, *Reglamento de las Descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos*; en el artículo 16 del mismo, se establecen veinte parámetros de calidad de agua, los cuales se enumeran a continuación:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados celsius
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total

- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

3.1.2. Descripción del sistema de tratamiento de agua residual

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

3.2. Delimitación del campo de estudio

Se examinó la información procedente de estudios técnicos y monitoreo de diez empresas del sector de lácteos ubicadas en el área metropolitana y se extrajo toda la información referente a la descripción de la materia prima, el proceso de producción, la identificación de las operaciones con uso de agua en el proceso, las descargas de agua residual y los sistemas de tratamiento de agua residual utilizados en las industrias; toda la información se utilizó para completar el formulario de inspección.

Hubo visitas a seis industrias del sector industrial de lácteos del área metropolitana, de las cuales tres descargan a cuerpo receptor y tres hacia el

alcantarillado público. En las visitas a las industrias, los técnicos de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales realizaron la evaluación del estudio técnico y el estudio de monitoreo, además, tomaron muestras del agua residual y realizaron la medición de los parámetros *in situ*. Las muestras de agua residual se enviaron al Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social para su caracterización.

Por motivos ajenos a la investigación, a cuatro de las industrias monitoreadas no fue posible realizarles los análisis de metales pesados. Por lo cual se procedió a recopilar anteriores caracterizaciones de agua residual presentes en estudios técnicos y/o de monitoreo realizados anteriormente por la URHC del MARN. Las caracterizaciones de agua residual recopiladas se realizaron en el Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y son procedentes de la descarga de agua residual de diez industrias del sector industrial de lácteos ubicadas en el área metropolitana.

Mediante la información obtenida se procedió a elaborar el diagrama base para los principales procesos productivos del sector industrial de lácteos, también la determinación de los parámetros prioritarios, la realización de una propuesta de unidades de tratamiento de agua residual que los reduzcan y se verificó el cumplimiento del A G 236-2006.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Persona que realiza el estudio: Ana Beatriz Martínez Rodas
- Asesor: ingeniero químico, Francisco Aben Rosales Cerezo, colegiado No. 402

- Co-asesor: Ing. Guillervin Adolfo Macario Castro, colegiado No. 1 465
- Asesores de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Personal encargado de los análisis de las muestras de agua residual del Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

3.4. Recursos materiales disponibles

El procesamiento de la información, para lograr los objetivos fijados en el trabajo de graduación, se realizó en la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, donde se ordenó y tabuló la información obtenida a través de visitas técnicas, estudios técnicos y de monitoreo, y el formulario de inspección con la información de las empresas del sector industrial de estudio. La caracterización de las muestras de agua residual se realizó en el Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

3.4.1. Determinación de parámetros del sector de lácteos

La investigación se basó en la recopilación y procesamiento de información presente en estudios técnicos y/o de monitoreo, las visitas técnicas realizadas a industrias seleccionadas y la caracterización del agua residual en dichas industrias.

3.4.1.1. Procesamiento de la información

- Oficinas adecuadas para el procesamiento de información
- Equipo de cómputo
- Equipo mobiliario
- Estudios técnicos y de monitoreo de la URHC del MARN
- Normativas de aplicación en la URHC del MARN
- Material bibliográfico

3.4.1.2. Visitas técnicas

- Formulario de inspección de industria
- Equipo automático de toma de muestra de agua residual
- Recipientes para muestreo
- Equipo de seguridad e higiene
- Hielera o solución para la conservación de la muestra

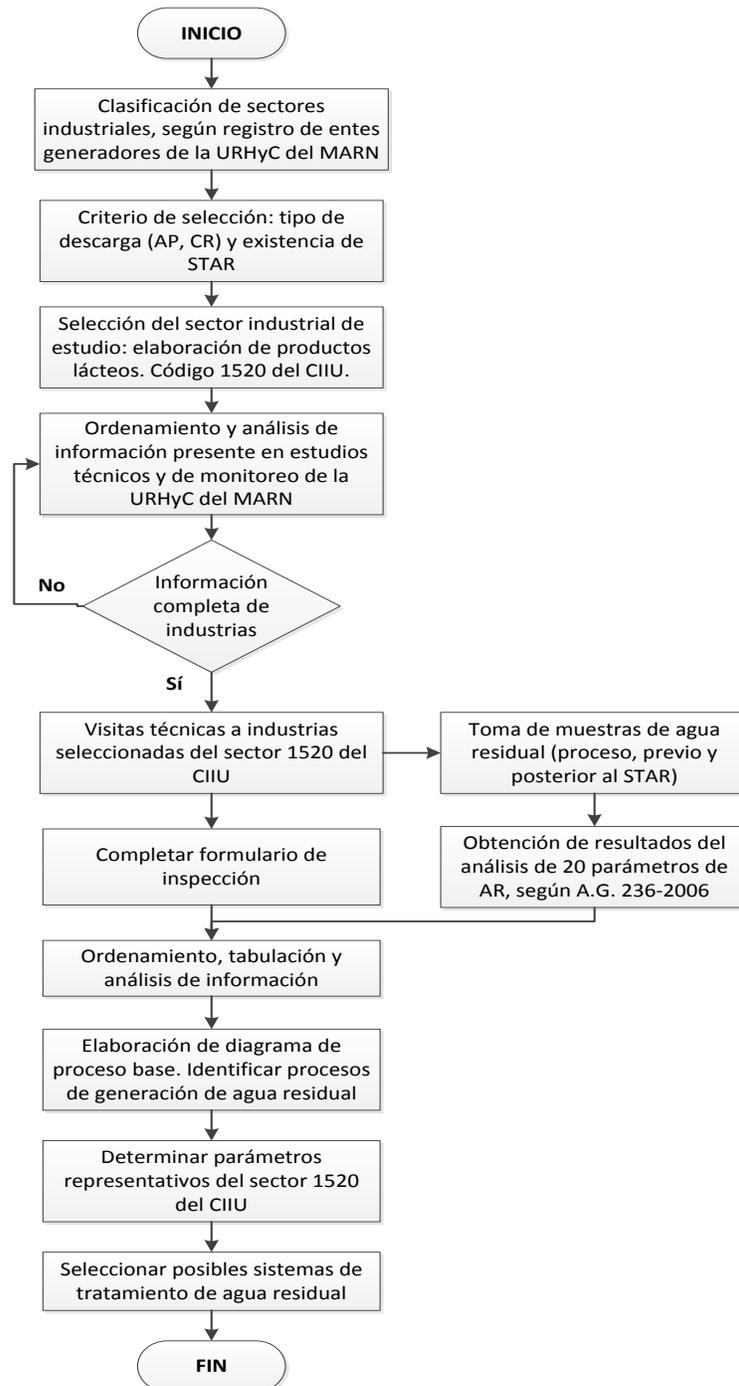
3.4.1.3. Resultados de análisis de agua residual *in situ*

- Potenciómetro
- Termómetro de mercurio

3.5. Técnica cualitativa

La técnica cualitativa consiste en el procedimiento que conlleva la realización del presente estudio para cumplir con los objetivos establecidos. A continuación se presenta la figura 1 en la cual se muestra un diagrama de la técnica cualitativa empleada para el desarrollo de la investigación.

Figura 1. Diagrama de técnica cualitativa



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La información obtenida se consiguió de: estudios técnicos y de monitoreo de la URHC del MARN, análisis de procesos productivos del sector de lácteos y caracterización del efluente de industrias del sector ubicadas en el área metropolitana.

3.6.1. Información de entes generadores

Se recolectó la información de las diez industrias seleccionadas del sector industrial de lácteos, presente en estudios técnicos y de monitoreo de la URHC del MARN referente a la descripción de la materia prima, el proceso de producción, la identificación de las operaciones con uso de agua en el proceso, las descargas de agua residual y los sistemas de tratamiento de agua residual utilizados en las industrias; la información necesaria para completar el formulario de inspección se obtuvo mediante la visita a seis industrias del sector industrial de lácteos del área metropolitana.

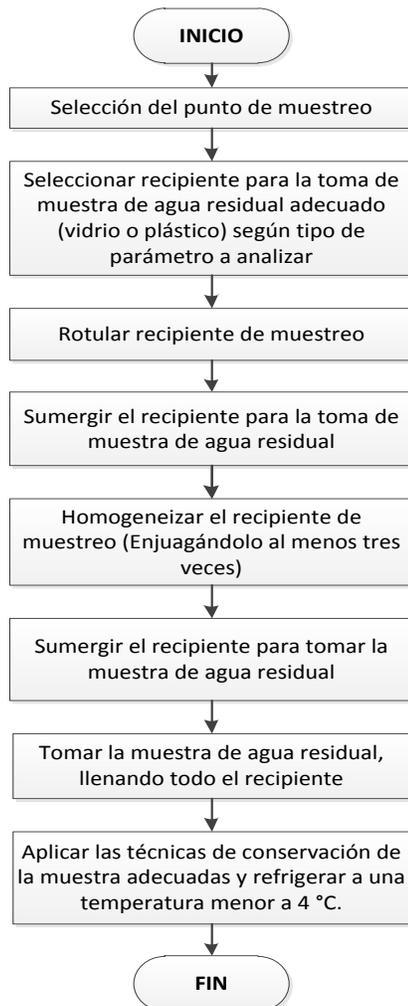
3.6.2. Recolección de información por medio de visitas a industrias

Se realizaron visitas a seis industrias del sector industrial de lácteos del área metropolitana, de las cuales tres descargan a cuerpo receptor y tres hacia el alcantarillado público. Para las visitas a las industrias no se notificó previamente para evitar alteraciones en el proceso productivo; durante la visita los técnicos de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales procedieron a realizar la evaluación del estudio técnico y/o de monitoreo y se tomaron las muestras de las descarga final de aguas residuales de cada industria.

3.6.2.1. Procedimiento para la toma de muestras

El procedimiento realizado para la toma de muestras en las visitas técnicas realizadas a industrias del sector lácteo seleccionadas del área metropolitana para su posterior caracterización se muestra en la figura 2.

Figura 2. Diagrama de procedimiento para la toma de muestra de la descarga final de agua residual



Fuente: elaboración propia.

Al tomar las muestras de agua residual se procedió a medir los parámetros *in situ* (pH y temperatura), el objetivo de determinar estos parámetros al momento de la toma de la muestra fue para evitar alteraciones de dichos parámetros ocasionados por el medio y el transporte de las muestras.

La medición del pH se realizó al sumergir el electrodo de un potenciómetro (previamente calibrado con una solución buffer) en una muestra de agua residual (tomada previamente en un beacker de 250 mililitros) se tomó la lectura del pH dada por el potenciómetro y luego se midió la temperatura de la muestra con un termómetro.

3.6.3. Análisis de toma de muestra de agua residual

La determinación de la temperatura, el potencial de hidrógeno y materia flotante se determinó en el lugar (*in situ*), inmediatamente después de la captación de la muestra.

Las muestras de agua captadas se enviaron al Laboratorio Nacional de Salud para su caracterización. Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se clasificaron de acuerdo al tipo de descarga, grupo industrial y empresa del sector industrial de lácteos.

Los resultados de la caracterización también fueron de utilidad para evaluar el cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 tanto por industria monitoreada como por grupo industrial del sector de lácteos del área metropolitana.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información recopilada de 10 industrias se tabuló y ordenó para determinar los resultados. Los datos se obtuvieron de los resultados de análisis del LNS, provenientes de 6 industrias (3 que descargaban hacia el alcantarillado público y 3 que descargaban hacia cuerpo receptor), los datos restantes se obtuvieron de resultados de análisis del Laboratorio Nacional de Salud realizados previamente por la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, presentes en estudios técnicos y de monitoreo realizados en años anteriores para las 10 industrias.

3.7.1. Tablas de tabulación de datos

Los datos de los análisis de agua residual de las 10 industrias de estudio se tabularon como se muestran en las tablas I a la XII.

Tabla I. **Número de industrias del sector y principales lugares de descarga de agua residual**

Código CIU	Sector industrial	Industrias monitoreadas		Número de monitoreos
		Cuerpo receptor	Alcantarillado público	
1520	Elaboración de productos lácteos	3	3	6

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Caracterización de aguas residuales, descarga a alcantarillado público, sector 1520 CIU**

Parámetro	No. de empresa		
	1	2	3
pH	7,19	7,37	8
Temperatura °C	20	25,7	26,1
G Y A mg/L	16,8	61,2	<10
MF	Ausente	Presente	Ausente
SST mg/L	75	363	31
DBO _{5,20} mg/L	200	1 003	18,8
DQO mg/L	493	1 263	63
N total mg/L	3,3	<0,5	3,6
P total mg/L	0,55	9,75	0,64
As mg/L			
Cd mg/L			
CN mg/L			
Cu mg/L			
Cr hexavalente mg/L			
Hg mg/L			
Ni mg/L			
Pb mg/L			
Zn mg/L			
Color Pt-Co	696	2 927	140,48
CF NMP/100 mL	<30		

Fuente: elaboración propia, utilizando los resultados de análisis del LNS.

Tabla III. **Caracterización de aguas residuales, descarga a cuerpo receptor, sector 1520 CIU**

Parámetro	No. de empresa		
	1	2	3
pH	7,7	6,78	6,95
Temperatura °C	27,6	24,7	25,4
G Y A mg/L	196,2	13,4	249,4
MF	Presente	Ausente	Ausente
SST mg/L	311	114	584
DBO _{5,20} mg/L	2 625	267	2 150
DQO mg/L	3 495	425	3 774
N total mg/L	1,4	27,6	5,6
P total mg/L	1,45	4,34	11,65
As mg/L	<0,005		<0,005
Cd mg/L	<0,002		<0,002
CN mg/L	0,079		0,013
Cu mg/L	<0,35		<0,35
Cr hexavalente mg/L	0,68		0,07
Hg mg/L	<0,001		<0,001
Ni mg/L	<0,5		<0,5
Pb mg/L	<0,005		<0,005
Zn mg/L	<0,35		<0,35
Color Pt-Co	1396,3	1 217	3 089
CF NMP/100 mL	4,6 X 10 ⁷	4,6 X 10 ⁶	2,1 X10 ²

Fuente: elaboración propia, utilizando los resultados de análisis del LNS.

Tabla IV. Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas

Muestreo	°T in situ	pH in situ	GYA mg/L	SST MF mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	N Total mg/L	P Total mg/L	As mg/L	Cd mg/L	CN mg/L	Cu mg/L	Cr hexavalente mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	COLOR Pt-Co	CF NMP/100 mL	
1	25	4	735.41	P 627	6200	10190	1	15.2	0.002	0.1	0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.4	0.35	40	4.6 X10 ⁵	
2	23.8	6.99	68.8	P 230	480	1364	1.6			0.54	0.002	0.039	0.117		0.11	0.05	0.52	782	1 X10 ⁵	
3	30.6	6.06	73.6	P 765	572	1908	70	34		0.451	0.015	0.13	0		0.08	0.8		580	8	
4	25.18	6.64	36	A 231	13880	18600	150	500			0.032	0.085			0.55	0.02	0.04	773	8	
5	28.5	10.03	747.2	P 303	986	1350	58.5	6.75										27	4.6 X10 ⁷	
6	25.7	7.37	61.2	P 363	1003	1263	0.5	9.75										2927		
7	29.7	7.01	768	P 202	295	925	28.5	11.45										149		
8	28.3	7.58	526	P 319	598	1131	9.5	9.85												
9	26.7	7.05	417.4	P 1377	6140	8694	3.0	6.68										317		
10	23.0	7.00	112.6	A 107	631	887	3.4	3.55										1163		
11	27.8	7.45	451	A 586	1488	2140	38	5		0.006		0.02			0.02	0.07	0.43	83		
12	24.2	7.06	425.8	P 287.8	480	1510	1.5	305.7										118	2300	
13	26.6	7.25	313.8	404.7	1285	2466	6.65	19.5										493		
14	25.4	6.95	249.4	A 584	2150	3774	5.6	11.65	0.005	0.002	0.013	0.35	0.07	0	0.5	0.005	0.35	3089	2.1 X10 ²	
15	25.5	7.10	831	P 2710	10870	21650	28.0	113.75	0.005	0.1	0.146	0.35	1.95	0.01	0.5	0.06	0.53	21726	2.4 X10 ⁶	
16	27.6	7.70	196.2	P 311	2625	3495	1.40	1.45	0.005	0.002	0.079	0.35	0.68	0	0.5	0.005	0.35	1396.3	4.6 X10 ⁷	
17	28.9	6.32	76	A 629	2550	5580	1.60	32.30										57.9	9.3 X10 ⁷	
18	25.7	6.30	611.34	P 346	943	1554	40.00	11.05										11		

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de LNS (actuales y provenientes de estudios técnicos y de monitoreo).

Tabla V. Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de queso y cuajada

Muestreo	σ _T in situ	pH in situ	GYA mg/L	MF	SST mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	N Total mg/L	P Total mg/L	As mg/L	Cd mg/L	CN mg/L	Cu mg/L	Cr hexavalente mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	COLOR Pt-Co	CF NMP/100 mL	
1	23.8	6.99	66.8	P	230	480	1364	1.6			0.54	0.002	0.039	0.117		0.11	0.05	0.52	782	1 X10 ⁵	
2	30.6	6.06	73.6	P	765	572	1908	70	34		0.451	0.015	0.13	0		0.08	0.8		580	8	
3	25.18	6.64	36	A	231	13880	18600	150	500			0.032	0.085			0.55	0.02	0.04	773	8	
4	28.5	10.03	747.2	P	303	986	1350	58.5	6.75										27	4.6 X10 ⁷	
5	25.7	7.37	61.2	P	363	1003	1263	0.5	9.75										2927		
6	29.7	7.01	768	P	202	295	925	28.5	11.45										149		
7	28.3	7.58	526	P	319	598	1131	9.5	9.85												
8	26.7	7.05	417.4	P	1377	6140	8694	3.0	6.68										317		
9	23.0	7.00	112.6	A	107	631	887	3.4	3.55										1163		
10	27.8	7.45	451	A	586	1488	2140	38	5		0.006		0.02		0.02	0.07	0.43	83			
11	24.2	7.06	425.8	P	287.8	480	1510	1.5	305.7									118		2300	
12	26.6	7.25	313.8		404.7	1285	2466	6.65	19.5										483		
13	25.4	6.95	249.4	A	584	2150	3774	5.6	11.65	0.005	0.002	0.013	0.35	0.07	0	0.5	0.005	0.35	3089	2.1 X10 ²	
14	25.5	7.10	831	P	2710	10870	21650	28.0	113.75	0.005	0.1	0.146	0.35	1.95	0.01	0.5	0.06	0.53	21726	2.4 X10 ⁶	
15	27.6	7.70	196.2	P	311	2625	3495	1.40	1.45	0.005	0.002	0.079	0.35	0.88	0	0.5	0.005	0.35	1396.3	4.6 X10 ⁷	
16	28.9	6.32	76	A	629	2550	5580	1.60	32.30										57.9	9.3 X10 ⁷	
17	25.7	6.30	611.34	P	346	943	1554	40.00	11.05										11		
18	26.1	8.00	10	A	31	18.8	63	3.60	0.64										140.48		
19	25.9	7.12	10	A	34	59.4	128	3.20	0.73												

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de LNS (actuales y provenientes de estudios técnicos y de monitoreo).

Tabla VI. **Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIU versión 3.1 correspondiente a la elaboración de helados y sorbetes**

Muestreo	σ ² in situ	pH in situ	G YA mg/L	MF	SST mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	N Total mg/L	P Total mg/L	As mg/L	Cd mg/L	CN mg/L	Cu mg/L	Cr hexavalente mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	COLOR Pt-Co	CF NMP/100 mL
1	20.0	7.19	16.8	A	75	200	493	3.3	0.55										696	<30
2	19.7	6.48	286.1	P	471	1751	3108	4.7	2.33										52	1.1
3	22.5	7.00	131	P	600	3030	5440	12.0	2.00										351	11 X10 ⁵
4	20.0	6.62	315	A	614	148	3625	13.0	4.00										113	210 X10 ³
5	24.7	6.78	13.4	A	114	267	425	27.6	4.34										1217	4.6 X10 ⁶
6	25.1	8.24	207.2	A	35	64.8	145	23.8	3.03											2.4 X10 ⁹
7	25	4	735.41	P	627	6200	10190	1	15.2	0.002	0.1	0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.4	0.35	40	4.6 X10 ⁵
8	26.1	8.00	10	A	31	18.8	63	3.6	0.64										140.48	
9	25.9	7.12	10	A	34	59.4	128	3.2	0.73											

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de LNS (actuales y provenientes de estudios técnicos y de monitoreo).

Tabla VII. Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIU versión 3,1 correspondiente a la elaboración de yogur

Muestreo	°T in situ	pH in situ	GYA mg/L	MF	SST mg/L	DBO5 mg/L	DOO mg/L	N Total mg/L	P Total mg/L	As mg/L	Cd mg/L	CN mg/L	Cu mg/L	Cr hexavalente mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	COLOR PtCo	CF NMP/100 mL	
1	26.1	8.00	10	A	31	18.8	63	3.6	0.64										140.48		
2	25.9	7.12	10	A	34	59.4	128	3.2	0.73												
3	25.18	6.64	36	A	231	13680	18600	150	500			0.032	0.085			0.55	0.02	0.04	773	8	
4	28.5	10.03	747.2	P	303	986	1350	58.5	6.75										27	4.6 X10 ⁷	
5	25.7	7.37	61.2	P	363	1003	1263	0.5	9.75												
6	29.7	7.01	768	P	202	295	925	28.5	11.45										2927		
7	28.3	7.58	526	P	319	598	1131	9.5	9.85												
8	26.7	7.05	417.4	P	1377	6140	8694	3.0	6.68										317		
9	23.0	7.00	112.6	A	107	631	887	3.4	3.55												
10	27.8	7.45	451	A	586	1488	2140	38	5		0.006		0.02			0.02	0.07	0.43	83		
11	24.2	7.06	425.8	P	287.8	480	1510	1.5	305.7										118	2300	
12	26.6	7.25	313.8		404.7	1285	2466	6.65	19.5										493		
13	25.4	6.95	249.4	A	584	2150	3774	5.6	11.65	0.005	0.002	0.013	0.35	0.07	0	0.5	0.005	0.35	3089	2.1 X10 ²	
14	25.5	7.10	831	P	2710	10870	21650	280	113.75	0.005	0.1	0.146	0.35	1.95	0.01	0.5	0.06	0.53	21726	2.4 X10 ⁶	

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de LNS (actuales y provenientes de estudios técnicos y de monitoreo).

Tabla VIII. Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIU versión 3,1 correspondiente a la elaboración de crema a partir de leche fresca líquida, pasteurizada, esterilizada u homogeneizada

Muestreo	°T in situ	pH in situ	G Y A mg/L	MF	SST mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	N Total mg/L	P Total mg/L	As mg/L	Cd mg/L	CN mg/L	Cu mg/L	Cr hexavalente mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	COLOR Pt-Co	CF NMP/100 mL
1	23.8	6.99	68.8	P	230	480	1364	1.6			0.54	0.002	0.039	0.117		0.11	0.05	0.52	782	1 X10 ⁵
2	30.6	6.06	73.6	P	765	572	1908	70	34		0.451	0.015	0.13	0		0.08	0.8		560	8
3	25.7	7.37	61.2	P	363	1003	1263	0.5	9.75										2927	
4	29.7	7.01	768	P	202	295	925	28.5	11.45										149	
5	28.3	7.58	526	P	319	598	1131	9.5	9.85											
6	26.7	7.05	417.4	P	1377	6140	8694	3.0	6.68										317	
7	23.0	7.00	112.6	A	107	631	887	3.4	3.55										1163	
8	27.8	7.45	451	A	586	1488	2140	38	5		0.006		0.02			0.02	0.07	0.43	83	
9	24.2	7.06	425.8	P	287.8	480	1510	1.5	305.7										118	2300
10	26.6	7.25	313.8		404.7	1285	2466	6.65	19.5										493	
11	27.6	7.70	196.2	P	311	2625	3495	1.40	1.45	0.005	0.002	0.079	0.35	0.68	0	0.5	0.005	0.35	1396.3	4.6 X10 ⁷
12	28.9	6.32	76	A	629	2550	5580	1.60	32.30										57.9	9.3 X10 ⁷
13	25.7	6.30	611.34	P	346	943	1554	40.00	11.05										11	

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de LNS (actuales y provenientes de estudios técnicos y de monitoreo).

Tabla IX. Caracterización de aguas residuales del grupo industrial del sector 1520 del CIU versión 3,1 correspondiente a la elaboración de mantequilla

Muestreo	OT in situ	pH in situ	GYA mg/L	MF	SST mg/L	DBO5 mg/L	DOO mg/L	N Total mg/L	P Total mg/L	As mg/L	Cd mg/L	CN mg/L	Cu mg/L	Cr hexavalente mg/L	Hg mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	COLOR Pt-Co	CF NMP/100 mL
1	23.8	6.99	68.8	P	230	480	1364	1.6			0.54	0.002	0.039	0.117		0.11	0.05	0.52	782	1×10^5
2	30.6	6.06	73.6	P	765	572	1908	70	34		0.451	0.015	0.13	0		0.08	0.8		580	8
3	27.6	7.70	196.2	P	311	2625	3495	1.40	1.45	0.005	0.002	0.079	0.35	0.68	0	0.5	0.005	0.35	1396.3	4.6×10^7
4	28.9	6.32	76	A	629	2550	5580	1.60	32.30										57.9	9.3×10^7
5	25.7	6.30	611.34	P	346	943	1554	40.00	11.05										11	
6	27.8	7.45	451	A	586	1488	2140	38	5	0.006			0.02			0.02	0.07	0.43	83	
7	24.2	7.06	425.8	P	287.8	480	1510	1.5	305.7										118	2300
8	26.6	7.25	313.8		404.7	1285	2466	6.65	19.5										493	

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de LNS (actuales y provenientes de estudios técnicos y de monitoreo).

Tabla X. **Límites máximos permisibles de varios países para descarga de aguas residuales hacia cuerpo receptor**

Parámetro	Ecuador	Costa Rica	Honduras	México	Venezuela
pH	5 a 9	5 a 9	6 a 9		6 a 9
Temperatura (°C)	<35	15≤T≤40	<25	40	35
G Y A (mg/L)		30	10	25	20
MF	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
SST (mg/L)	100	125	100	60	60
DBO _{5,20} (mg/L)	100	200	50	60	60
DQO (mg/L)	250	400	200		350
N total (mg/L)	15			25	10
P total (mg/L)	10		5	10	1
As (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5
Cd (mg/L)	0,02	0,1	0,05		0,2
CN (mg/L)	0,1	1	0,5	2	0,2
Cu (mg/L)	1	0,5	0,5	6	1
Cr hexavalente (mg/L)	0,5	1,5	0,1	1	0,5
Hg (mg/L)	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni (mg/L)	2	1	2	4	0,2
Pb (mg/L)	0,2	0,5	0,5	0,4	0,5
Zn (mg/L)	5	5	2	20	2
Color Pt-Co		50			500
CF NMP/100 mL					500

Fuente: elaboración propia, basado en normativas de aguas residuales de cada país.

Tabla XI. **Límites máximos permisibles de varios países para descarga de aguas residuales hacía alcantarillado público**

Parámetro	Ecuador	Costa Rica	Honduras	México	Venezuela
pH	5 a 9	5 a 9	6 a 9		6 a 9
Temperatura (°C)	<40	15≤T≤40	<25	40	45
G Y A (mg/L)	100	30	10	25	100
MF	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
SST (mg/L)	220	125	100	400	60
DBO _{5,20} (mg/L)	250	200	50	60	400
DQO (mg/L)	500	400	200		1 000
N total (mg/L)	40			25	30
P total (mg/L)	15		5	10	20
As (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5
Cd (mg/L)	0,02	0,1	0,05		0,2
CN (mg/L)	1	1	0,5	2	2
Cu (mg/L)	1	0,5	0,5	6	3
Cr hexavalente (mg/L)	0,5	1,5	0,1	1	0,5
Hg (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni (mg/L)	2	1	2	4	0,5
Pb (mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
Zn (mg/L)	10	5	2	20	5
Color Pt-Co		50			
CF NMP/100 mL					

Fuente: elaboración propia, basado en normativas de aguas residuales de cada país.

Tabla XII. Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpo receptor y alcantarillado público nacionales e internacionales

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	5 a 9	6 a 9	5 a 9
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	15≤T≤40	<40	15≤T≤40
G Y A (mg/L)	10	10	60	10
MF	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
SST (mg/L)	100	60	200	60
DBO _{5,20} (mg/L)	100	50	200	50
DQO (mg/L)	cuantificar	200	cuantificar	200
N total (mg/L)	20	10	40	25
P total (mg/L)	10	1	10	5
As (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
Cd (mg/L)	0,1	0,02	0,1	0,02
CN (mg/L)	1	0,1	1	0,5
Cu (mg/L)	3	0,5	3	0,5
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
Hg (mg/L)	0,01	0,005	0,01	0,01
Ni (mg/L)	2	0,2	2	0,5
Pb (mg/L)	0,4	0,2	0,4	0,4
Zn (mg/L)	10	2	10	2
Color Pt-Co	500	50	500	50
CF NMP/100 mL	10 000	500	10 000	--

Fuente: elaboración propia, basado en normativas nacionales (cuarta etapa de cumplimiento del A G 236-2006) e internacionales (valores seleccionados a partir de los límites máximos permisibles de otros países).

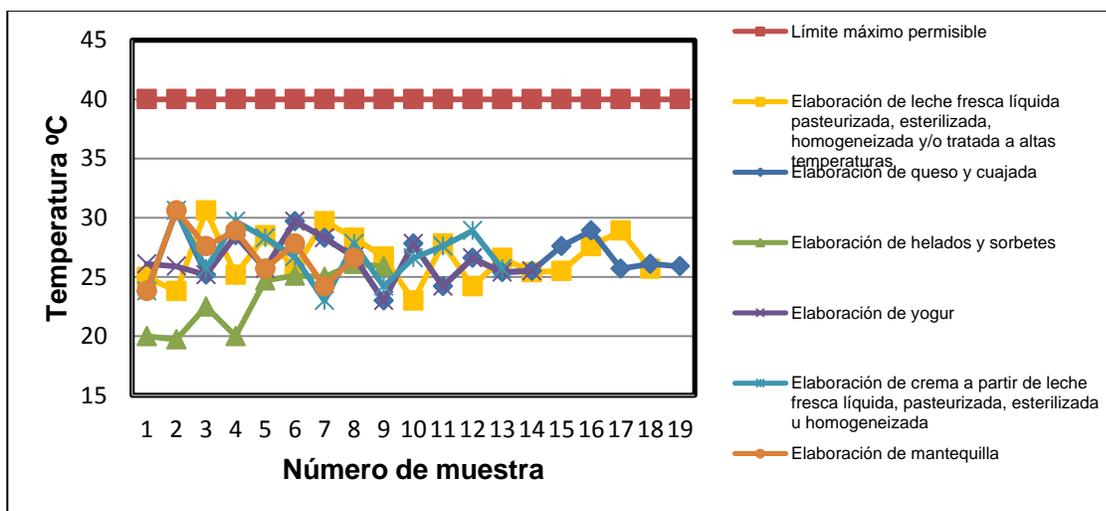
3.7.2. Datos calculados

Se realizaron gráficas para cada parámetro monitoreado, con el fin de identificar la representatividad de los parámetros, comparando los límites máximos permisibles más bajos establecidos para la cuarta etapa de cumplimiento del A G 236-2006 con los datos de la caracterización de las muestras de aguas residuales, para cada grupo industrial establecido en el CIU versión 3.1.

3.7.2.1. Determinación de parámetros prioritarios

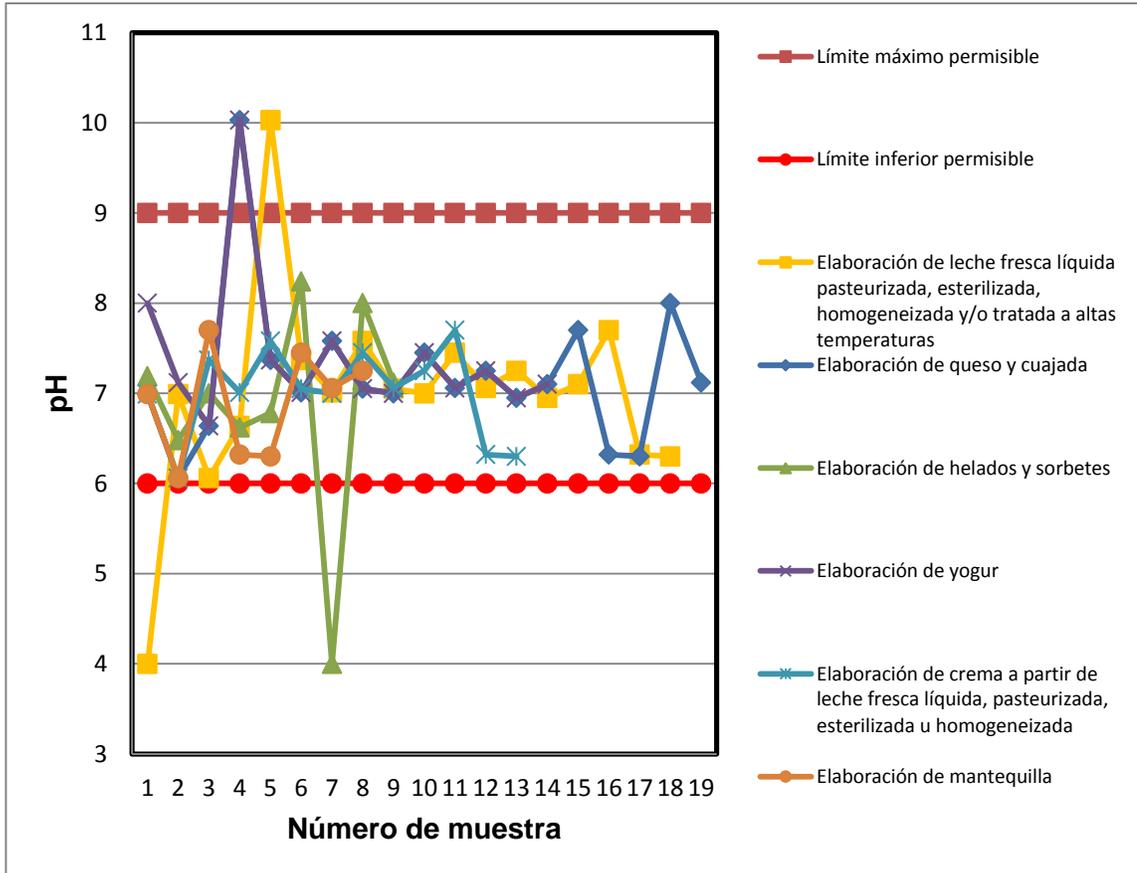
El cumplimiento de los grupos industriales del sector lácteo con el A G 236-2006 es un criterio importante para la determinación de los parámetros prioritarios, dicho cumplimiento se analizó con las figuras desde la 3 hasta la 21.

Figura 3. **Comparación de temperatura con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



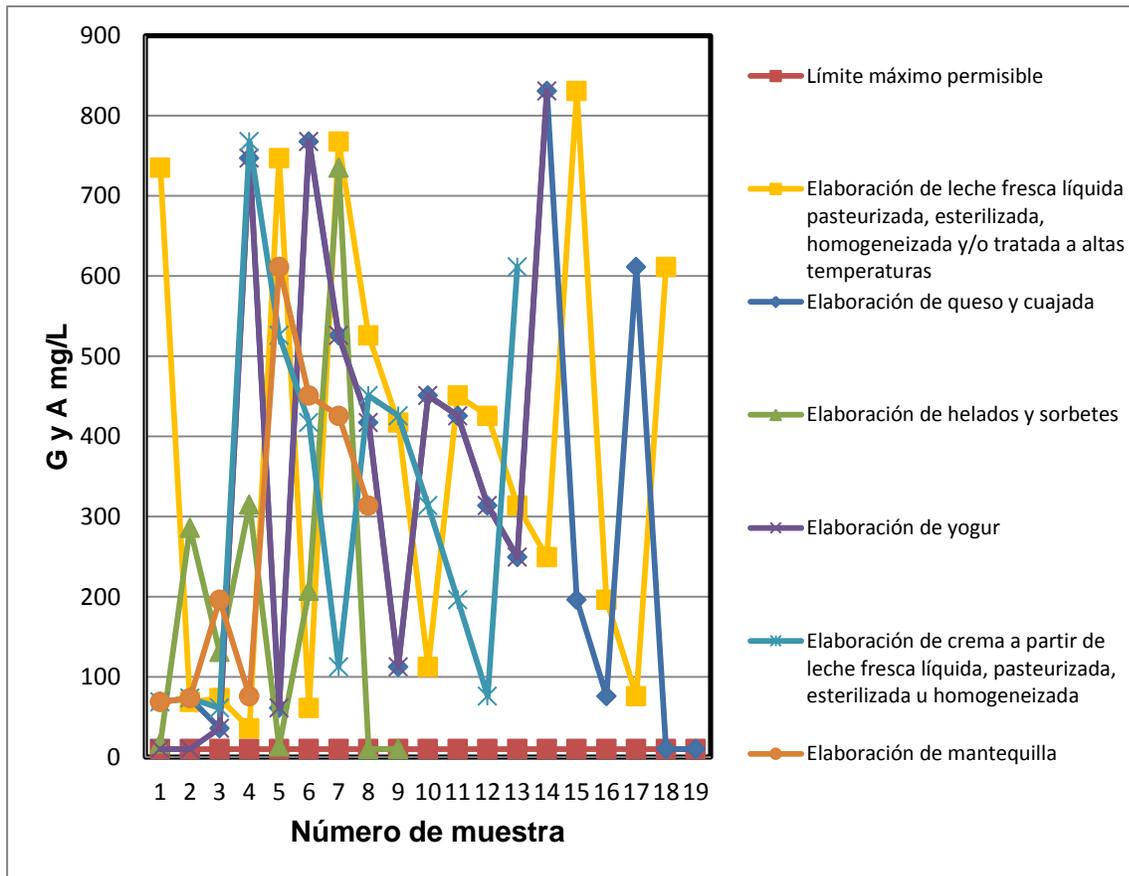
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 4. Comparación del potencial de hidrógeno (pH) con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



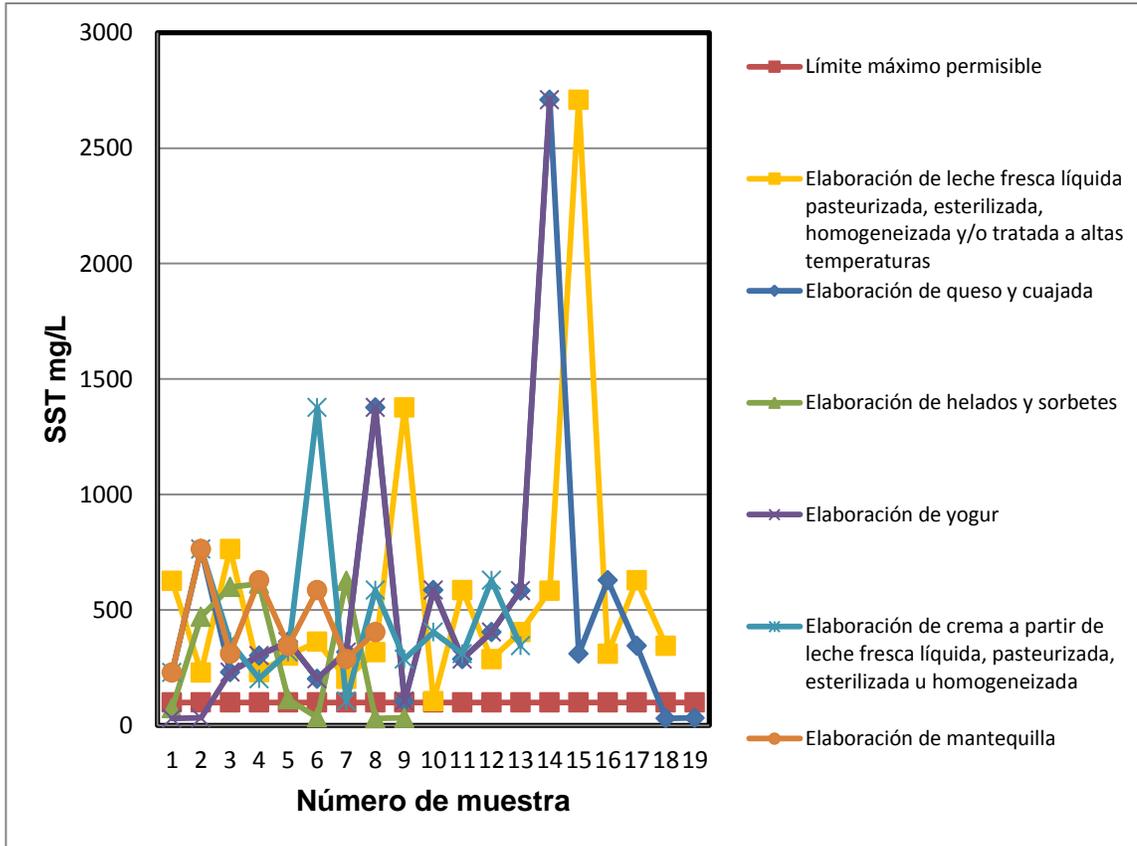
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 5. Comparación de grasas y aceites con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



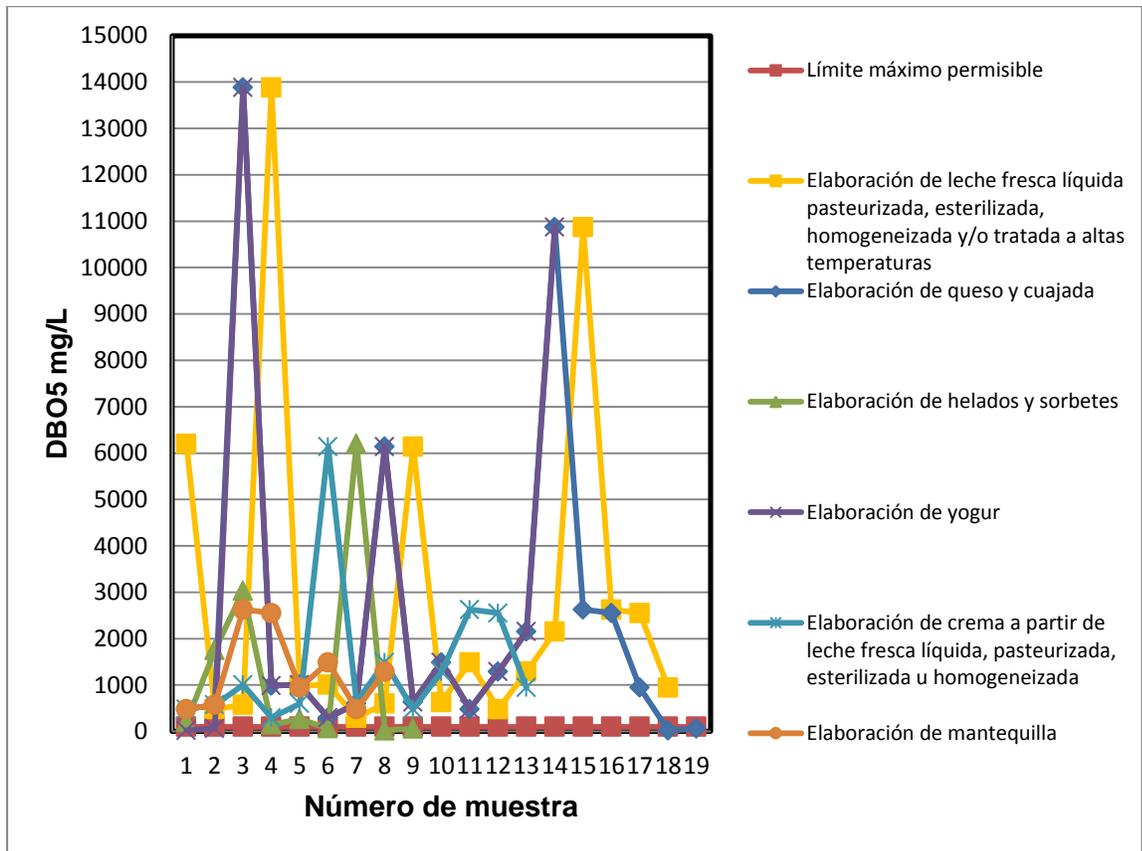
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 6. **Comparación de sólidos suspendidos totales con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



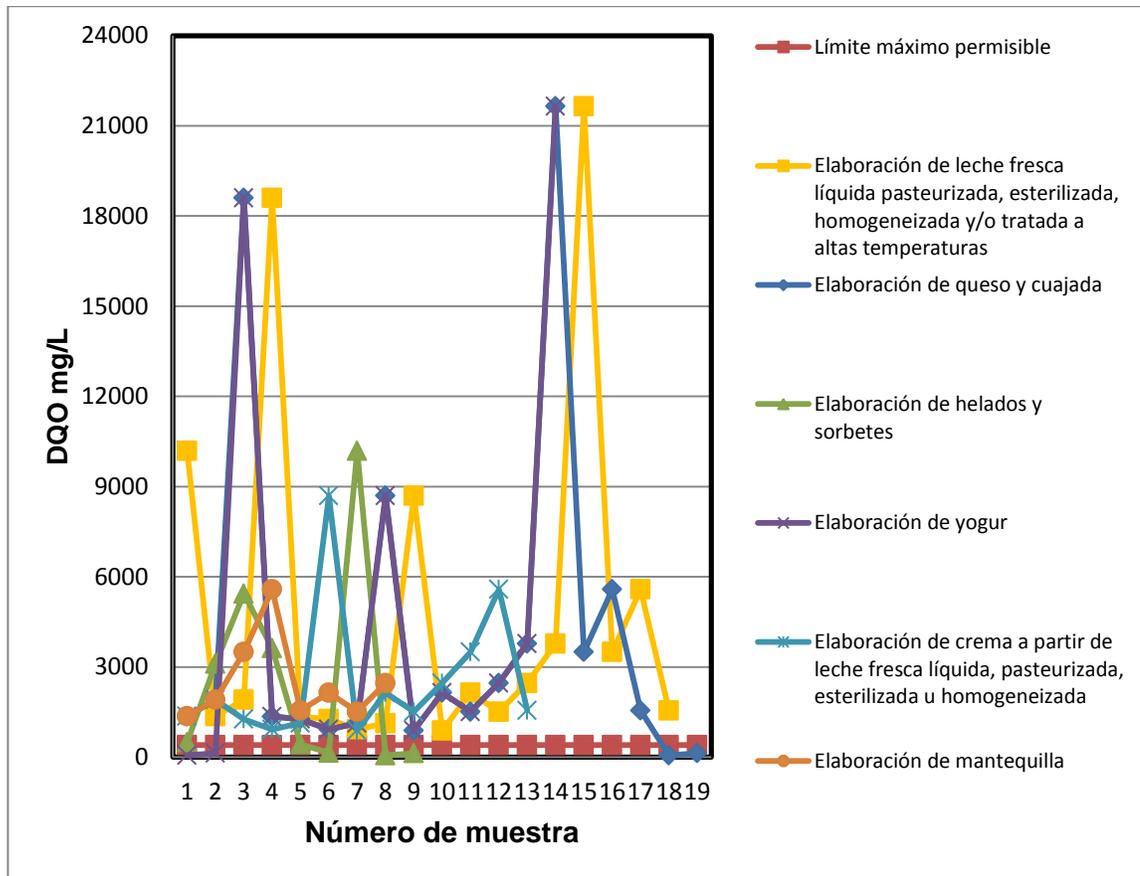
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 7. Comparación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}) con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



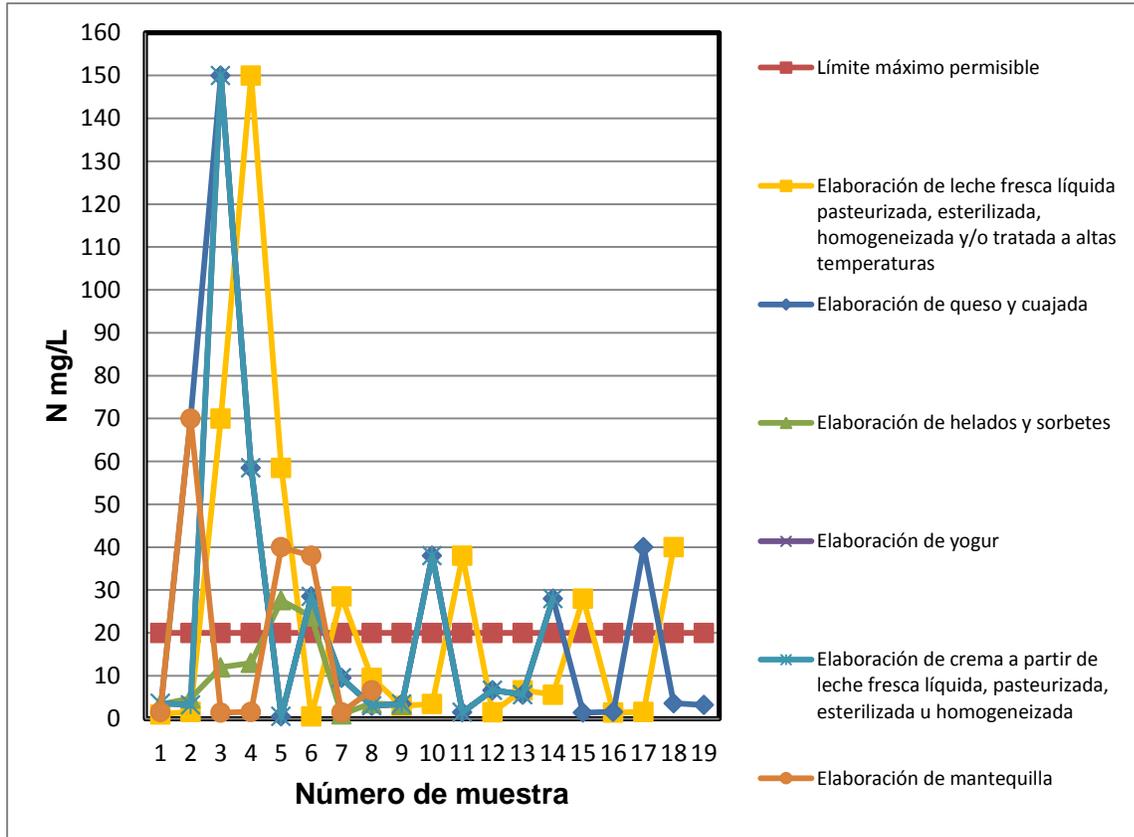
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 8. Comparación de demanda química de oxígeno (DQO) con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



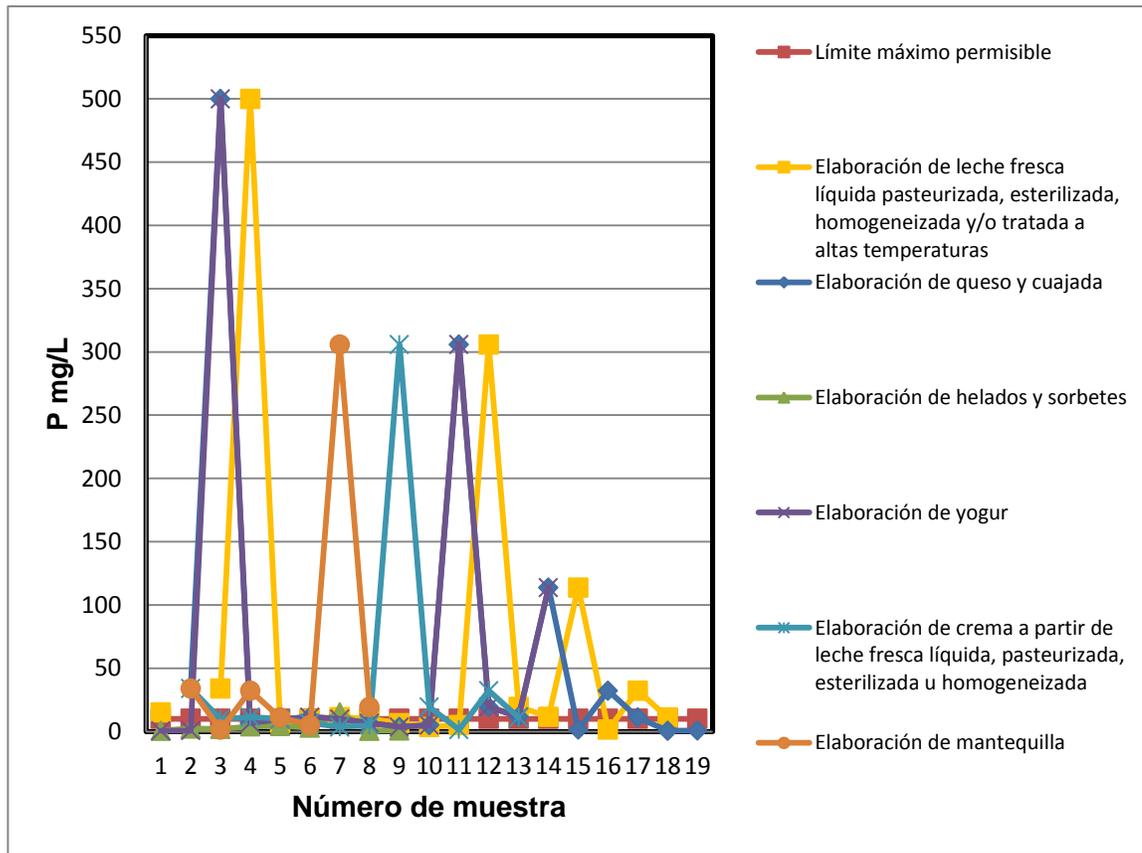
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 9. Comparación de nitrógeno total con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



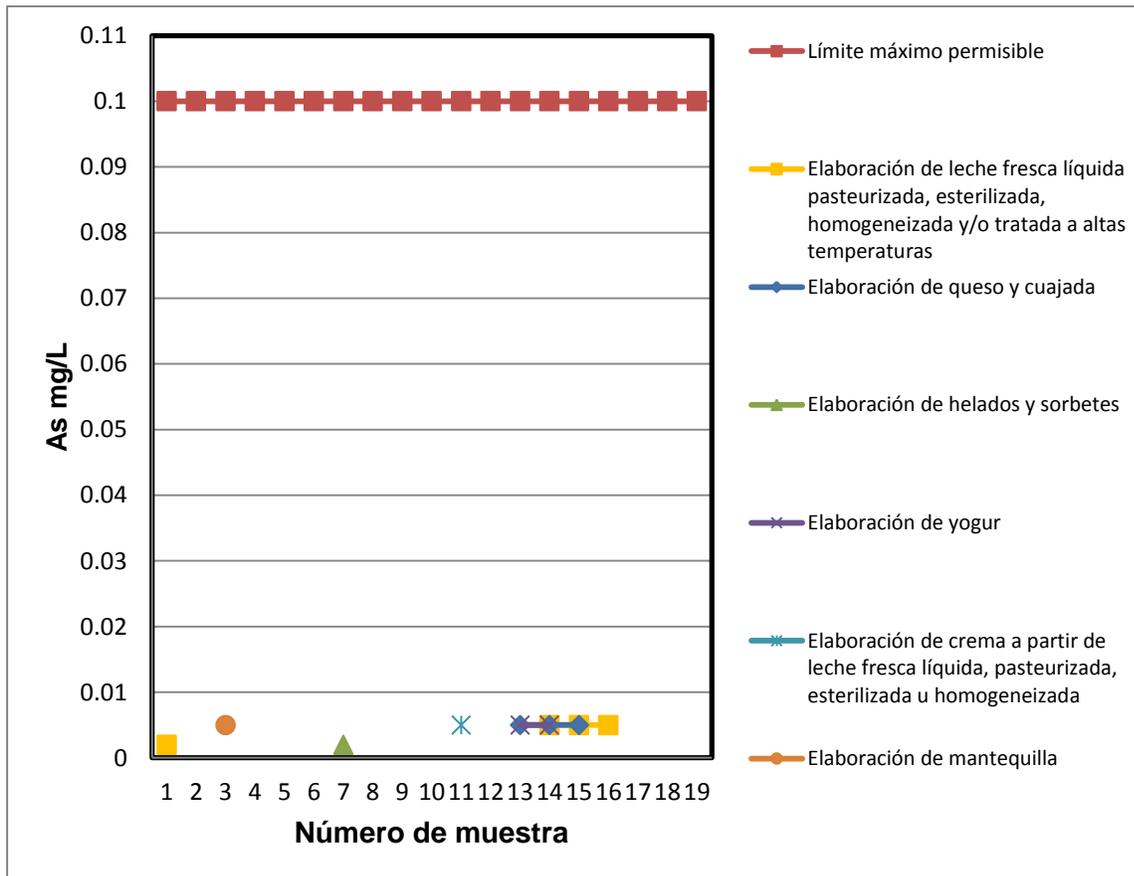
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 10. **Comparación de fósforo total con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



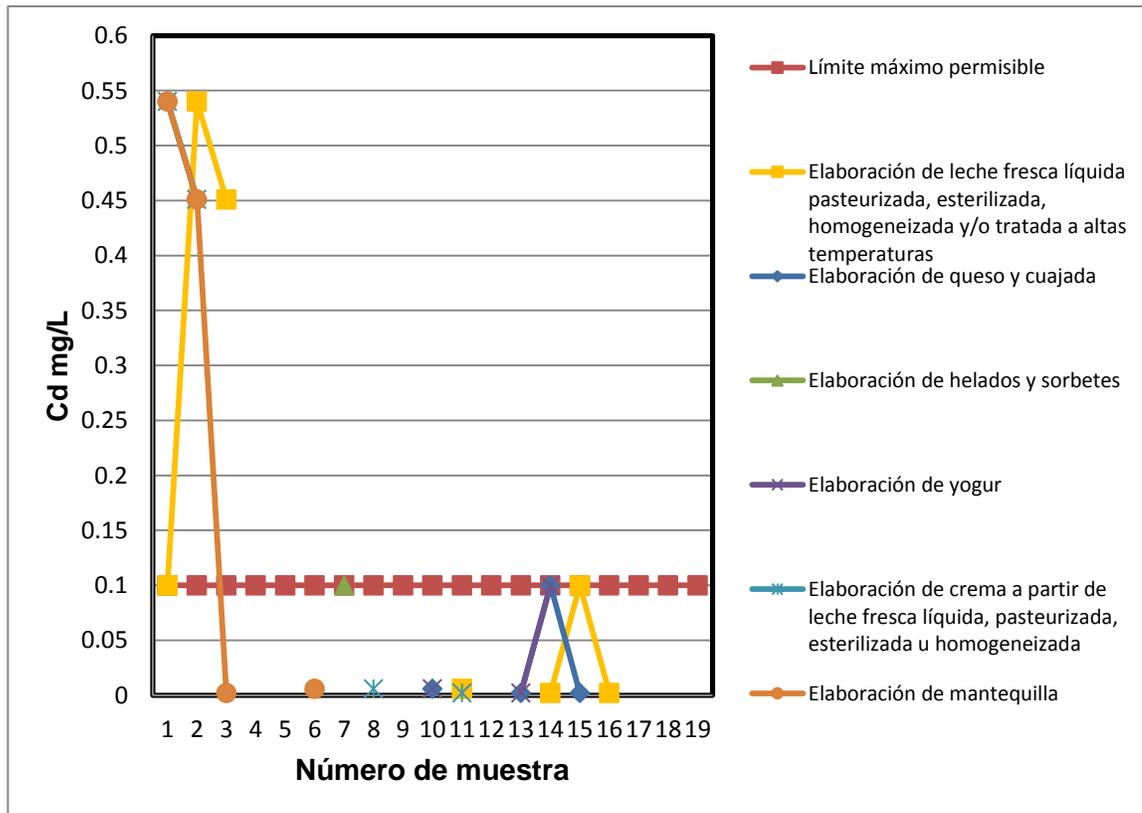
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 11. Comparación de arsénico con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



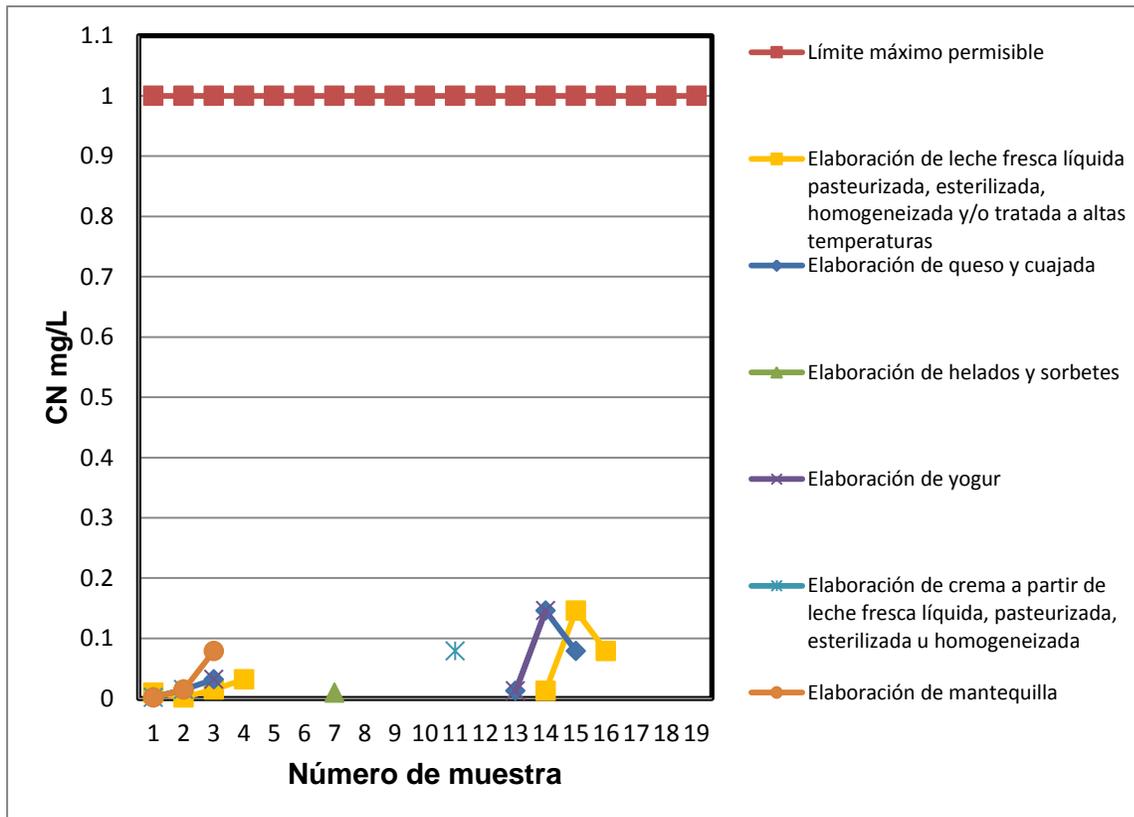
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 12. Comparación de cadmio con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



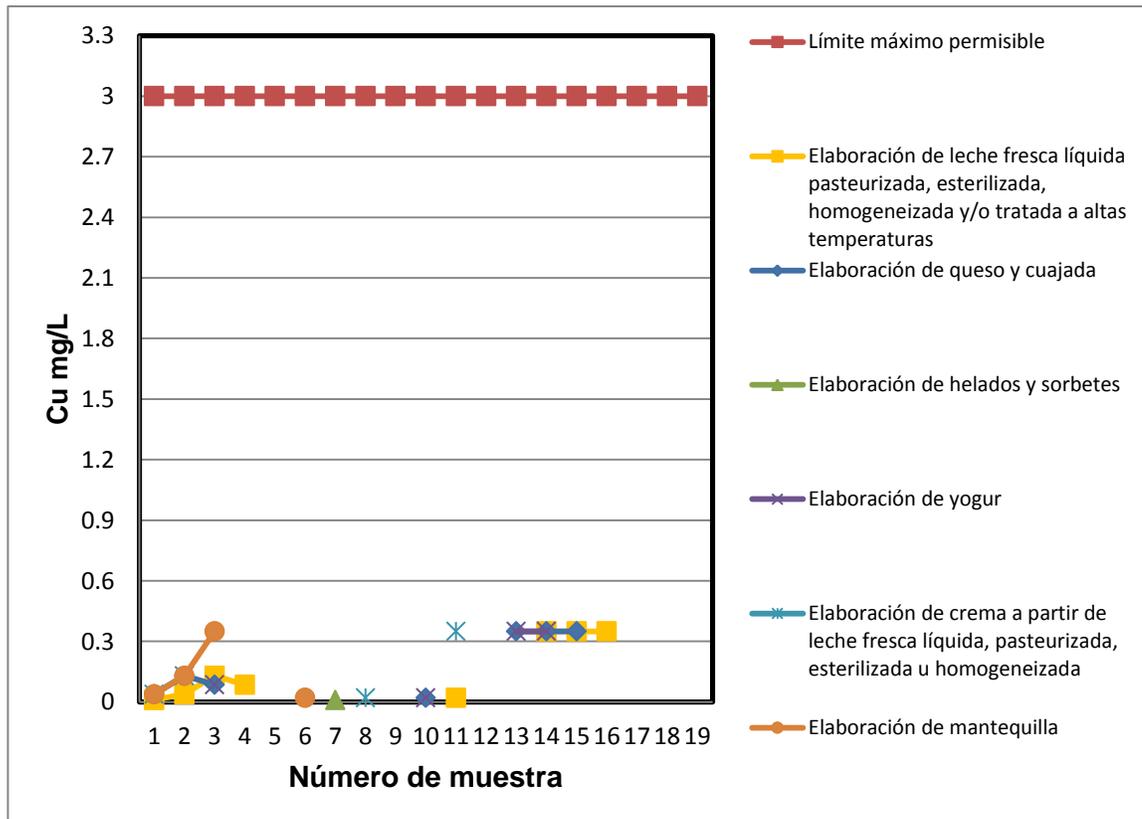
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 13. Comparación de cianuro con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



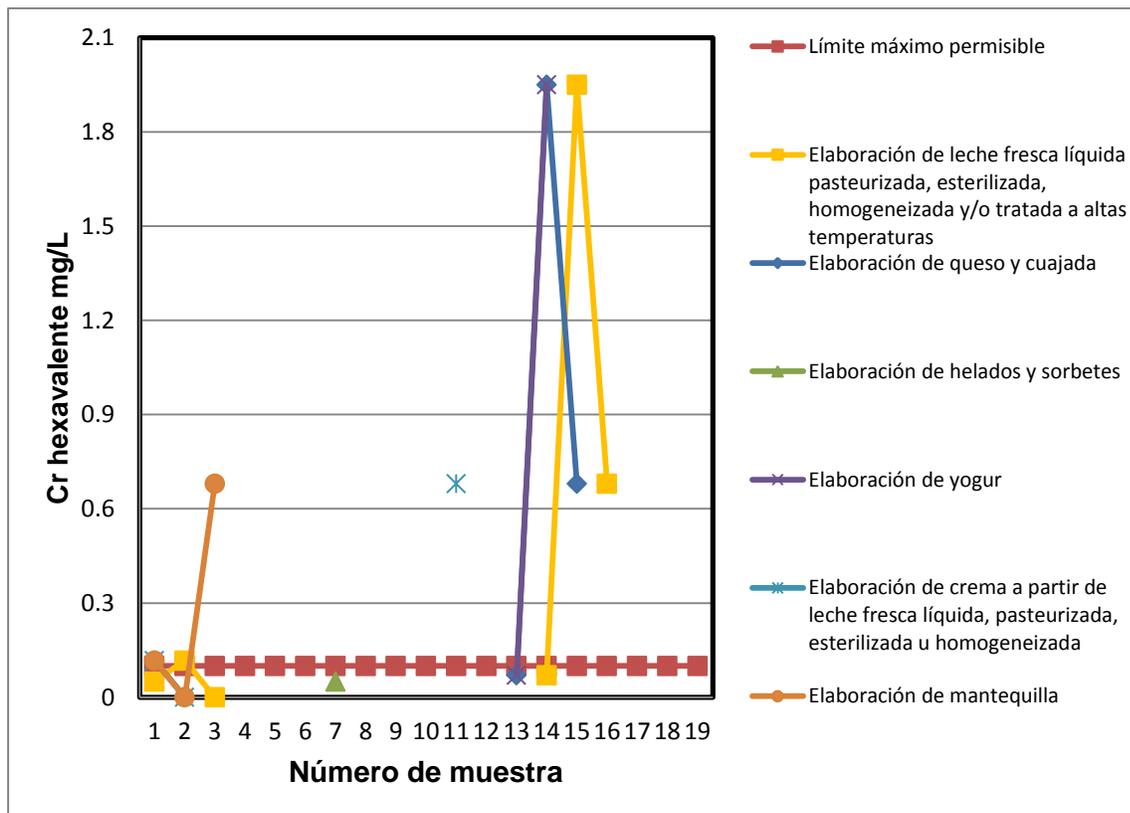
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 14. **Comparación de cobre con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



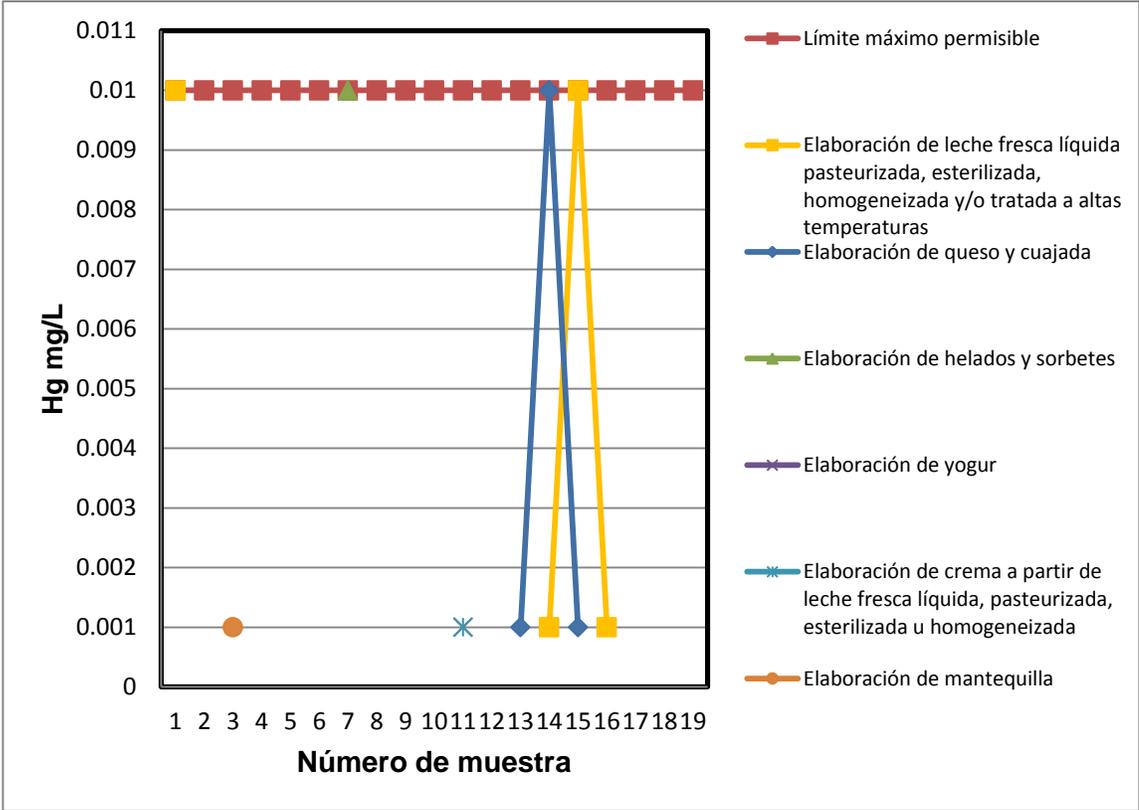
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 15. Comparación de cromo hexavalente con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



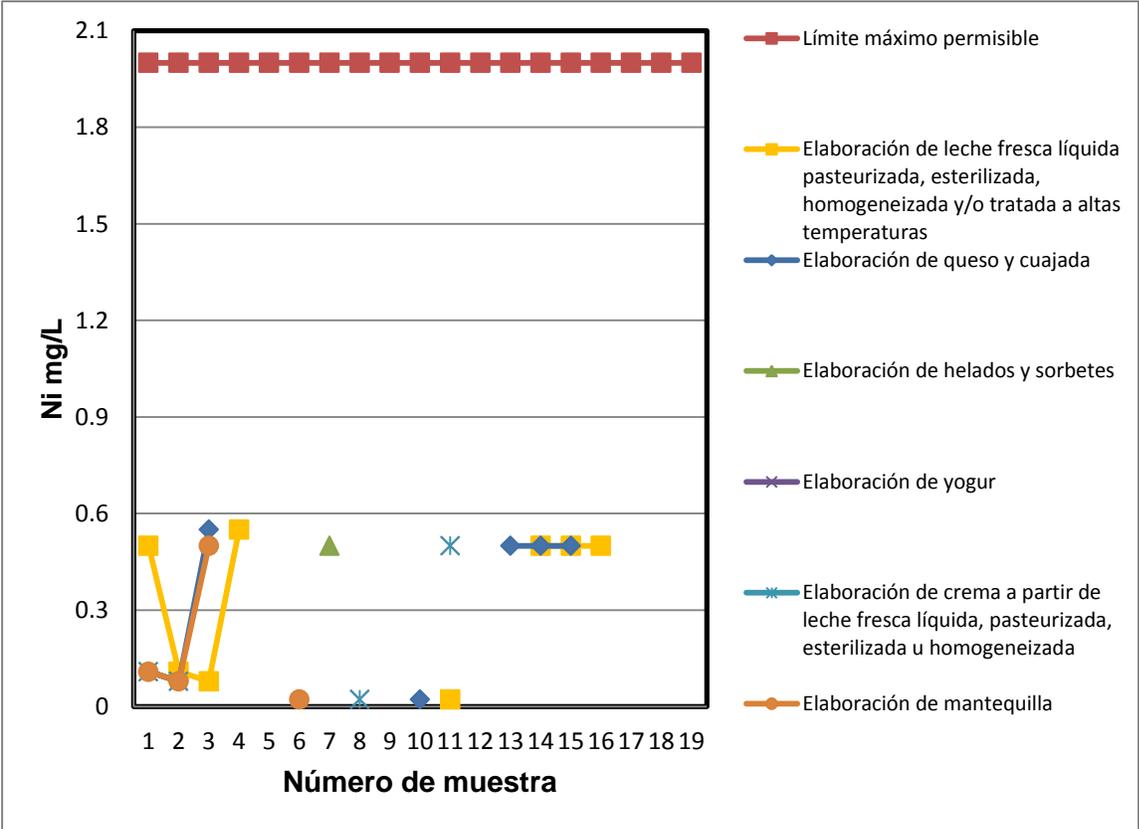
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 16. **Comparación de mercurio con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



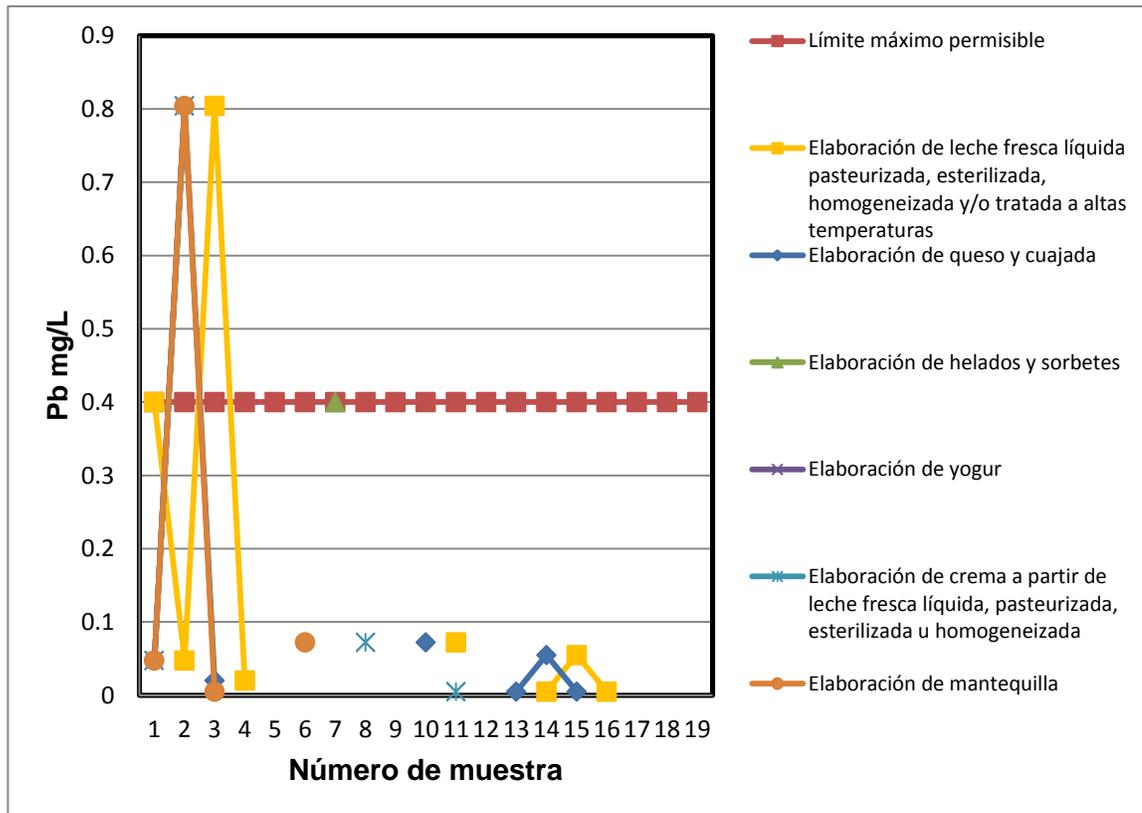
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 17. **Comparación de níquel con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



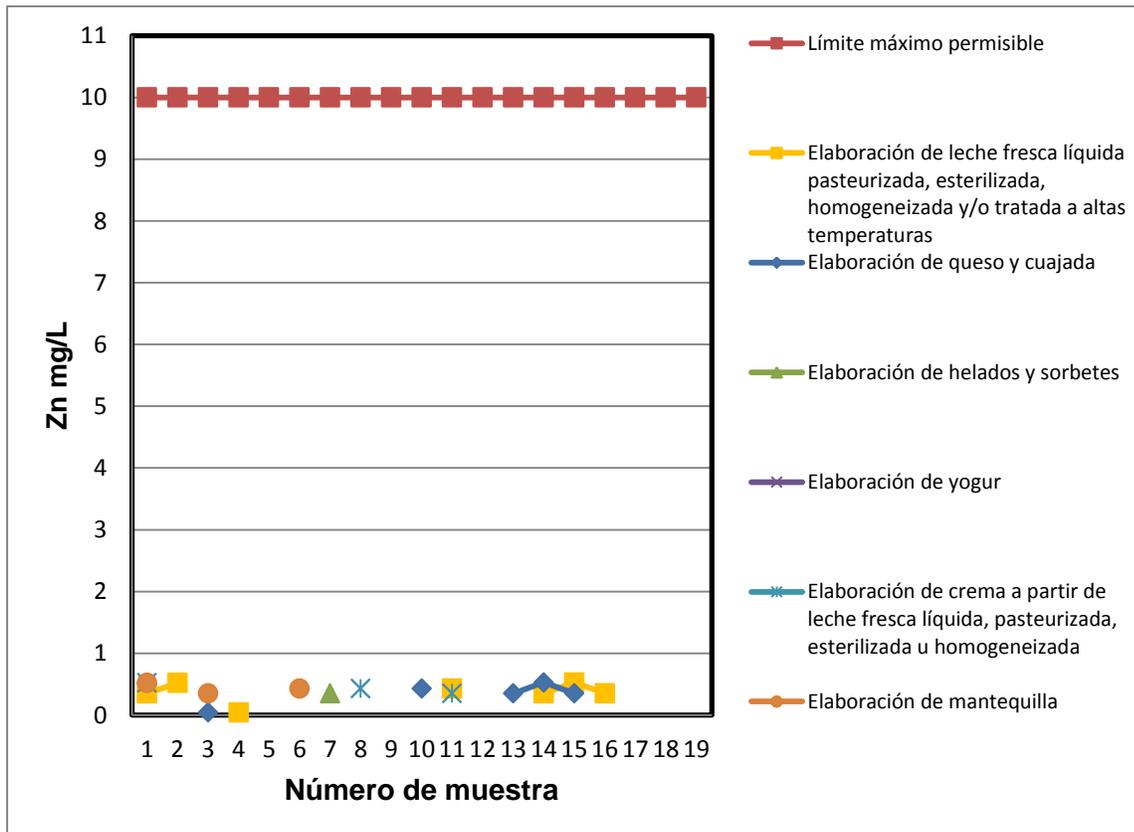
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 18. **Comparación de plomo con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



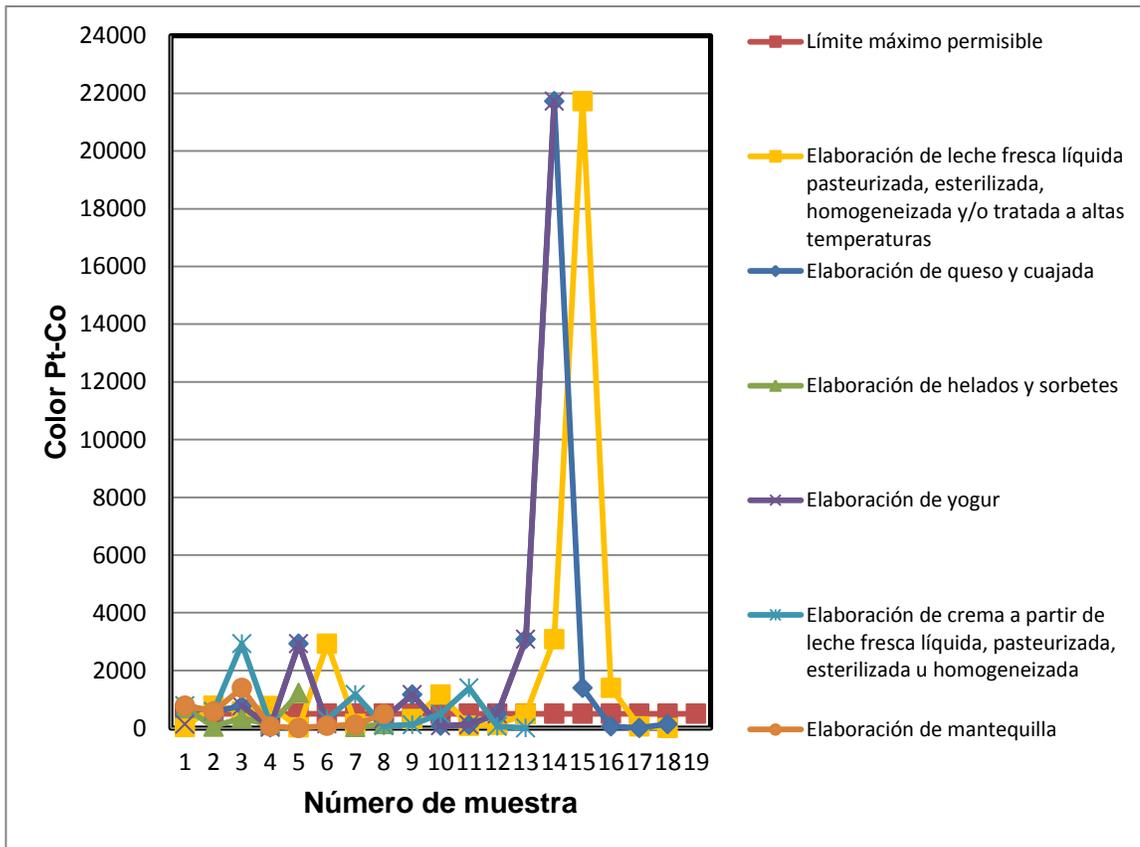
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 19. **Comparación de zinc con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



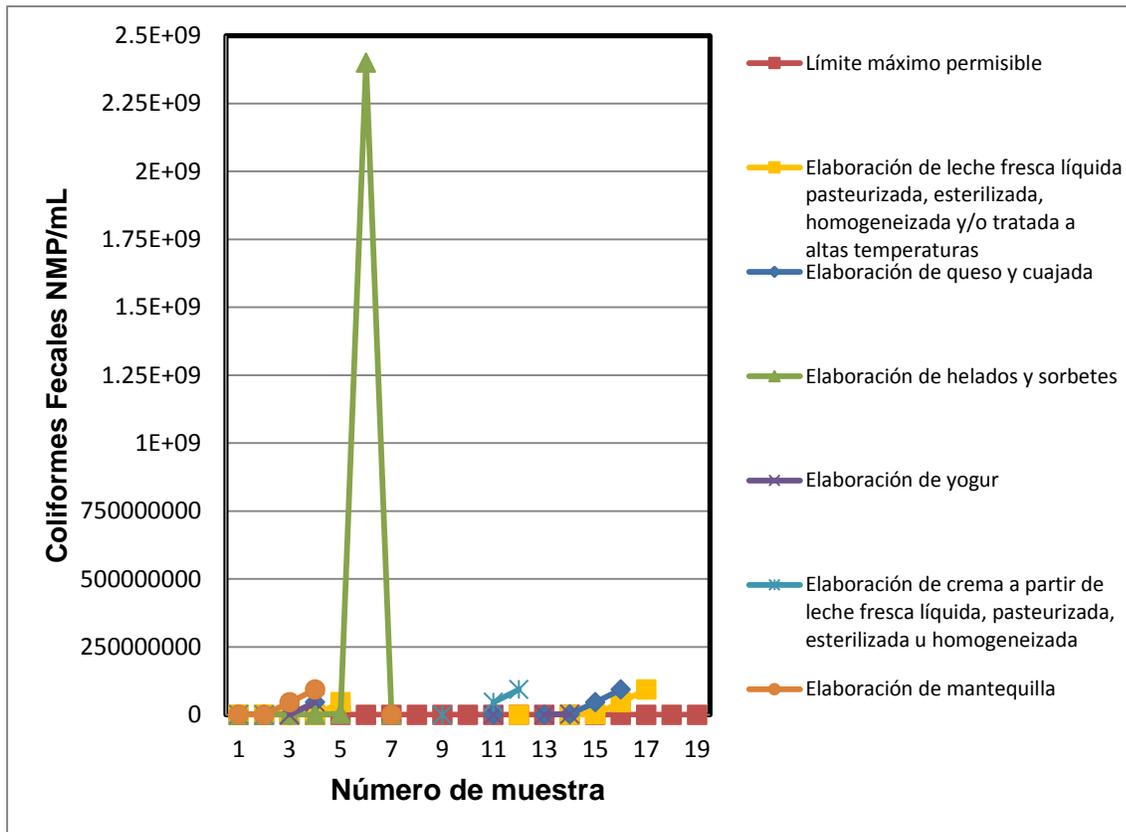
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 20. **Comparación de color con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006**



Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

Figura 21. Comparación de coliformes fecales con límite permisible de descarga de la 4ta. etapa de cumplimiento del A G 236-2006



Fuente: elaboración propia, con base en las tablas IV-IX.

3.7.2.2. Cumplimiento porcentual de los grupos industriales del sector lácteo del área metropolitana con los límites establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006

Se procedió a evaluar porcentualmente el cumplimiento de las industrias del sector lácteo y los grupos industriales, con la cuarta etapa del A G 236-2006 de la tabla XIII a la XIV.

Tabla XIII. Cumplimiento de los grupos industriales con la cuarta etapa del A G 236-2006

Parámetro	Elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas (Total 18 industrias)		Elaboración de queso y cuajada (Total 19 industrias)	
	Cantidad de empresas	Porcentaje de cumplimiento	Cantidad de empresas	Porcentaje de cumplimiento
pH	16	89	18	95
Temperatura °C	18	100	19	100
G Y A mg/L	0	0	2	11
MF	5	29	7	39
SST mg/L	0	0	2	11
DBO _{5,20} mg/L	0	0	2	11
DQO mg/L	0	0	2	11
N total mg/L	11	61	12	63
P total mg/L	7	39	10	56
As mg/L	4	100	3	100
Cd mg/L	7	100	6	100
CN mg/L	7	100	6	100
Cu mg/L	8	100	7	100
Cr hexavalente mg/L	4	67	2	40
Hg mg/L	4	100	3	100
Ni mg/L	8	100	7	100
Pb mg/L	8	100	6	86
Zn mg/L	7	100	6	100
Color Pt-Co	9	53	9	53
CF NMP/100 mL	4	40	4	44

Continuación de la tabla XIII.

Parámetro	Elaboración de helados y sorbetes (Total 9 industrias)		Elaboración de yogur (Total 14 industrias)	
	Cantidad de empresas	Porcentaje de cumplimiento	Cantidad de empresas	Porcentaje de cumplimiento
pH	8	89	14	100
Temperatura °C	9	100	13	93
G Y A mg/L	2	22	2	14
MF	6	67	6	46
SST mg/L	4	44	2	14
DBO _{5,20} mg/L	3	33	2	14
DQO mg/L	3	33	2	14
N total mg/L	7	78	9	64
P total mg/L	8	89	9	64
As mg/L	1	100	2	100
Cd mg/L	1	100	3	100
CN mg/L	1	100	3	100
Cu mg/L	1	100	4	100
Cr hexavalente mg/L	1	100	1	50
Hg mg/L	1	100	2	100
Ni mg/L	1	100	4	100
Pb mg/L	1	100	4	100
Zn mg/L	1	100	4	100
Color Pt-Co	5	71	7	58
CF NMP/100 mL	2	29	3	60

Continuación de la tabla XIII.

Parámetro	Elaboración de crema a partir de leche fresca líquida, pasteurizada, esterilizada u homogeneizada (Total 13 industrias)		Elaboración de mantequilla (Total 8 industrias)	
	Cantidad de empresas	Porcentaje de cumplimiento	Cantidad de empresas	Porcentaje de cumplimiento
pH	13	100	8	100
Temperatura °C	13	100	8	100
G Y A mg/L	0	0	0	0
MF	3	25	2	29
SST mg/L	0	0	0	0
DBO _{5,20} mg/L	0	0	0	0
DQO mg/L	0	0	0	0
N total mg/L	9	69	5	63
P total mg/L	6	50	2	29
As mg/L	1	100	1	100
Cd mg/L	2	50	2	50
CN mg/L	3	100	3	100
Cu mg/L	4	100	4	100
Cr hexavalente mg/L	1	33	1	33
Hg mg/L	1	100	1	100
Ni mg/L	4	100	4	100
Pb mg/L	3	75	3	75
Zn mg/L	3	100	3	100
Color Pt-Co	7	58	5	63
CF NMP/100 mL	2	40	2	40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga de parámetros nacionales e internacionales (total de 6 empresas)

Parámetro	Cantidad de empresas que cumplen parámetro nacional	Cantidad de empresas que cumplen parámetro internacional	Porcentaje que cumple parámetro nacional	Porcentaje que cumple parámetro internacional
pH	6	6	100	100
Temperatura °C	3	3	100	100
G Y A mg/L	2	1	33	17
MF	4	4	67	67
SST mg/L	2	1	33	17
DBO _{5,20} mg/L	2	1	33	17
DQO mg/L	---	1	---	17
N total mg/L	5	5	83	83
P total mg/L	5	2	83	33
As mg/L*	2	2	100	100
Cd mg/L*	2	2	100	100
CN mg/L*	2	2	100	100
Cu mg/L*	2	2	100	100
Cr hexavalente mg/L*	1	1	50	50
Hg mg/L*	2	2	100	100
Ni mg/L*	2	1	100	100
Pb mg/L*	2	2	100	100
Zn mg/L*	2	2	100	100
Color Pt-Co	1	0	17	0
CF NMP/100 mL*	2	1	50	33

* Parámetros en los cuales no se muestrearon las aguas residuales correspondientes a las 6 industrias totales.

Fuente: elaboración propia, con base en las tablas II y III.

3.7.2.3. Identificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el sector lácteo

Se identificaron los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el sector lácteo a partir de información de visitas técnicas, formularios de inspección e información presente en estudios técnicos y de monitoreo. La información se categorizó de acuerdo a los principales sistemas de tratamiento identificados y las principales unidades de tratamiento de agua residual identificadas. Dicha información se muestra en las tablas XV y XVI.

Tabla XV. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales identificados

Sistema de tratamiento	No. Industrias	No. Total de industrias	Porcentaje de industrias
Pretratamiento	8	15	53
Tratamiento Primario	5	15	33
Tratamiento Secundario	2	15	13
Tratamiento terciario	0	15	0
Sin tratamiento	5	15	33

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

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

Sistema de tratamiento	No. Industrias	No. Total de industrias	Porcentaje de industrias
Sin tratamiento	5	15	33
Trampa de grasa	7	15	47
Trampa de grasa y sedimentador	2	15	13
Cribas y trampa de grasa	2	15	13
Fosa séptica	2	15	13
Tanque séptico	1	15	7
Tanque imhoff	1	15	7
Filtro biológico	1	15	7
Sistema de decantación	1	15	7
Tamices	1	15	7
Tanque de homogenización	1	15	7
Laguna de sedimentación	1	15	7

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó a través del uso de la estadística descriptiva numérica para cada parámetro, con las medidas de tendencia central y el cálculo de los errores absolutos, errores relativos y errores relativos porcentuales. Es importante agregar que el cálculo de la eficacia en la disminución de los parámetros según los STAR no se realizó, ya que en las industrias monitoreadas no permitieron el acceso a la información necesaria para este análisis, debido a políticas internas de las mismas.

3.8.1. Medidas de tendencia central de los parámetros del A G 236-2006 de los grupos industriales del sector de lácteos

Las medidas de tendencia central son de utilidad para verificar los valores promedio a través de la Media aritmética y la mediana, además a través de la Desviación estándar podemos analizar un rango promedio de los datos, ya que la misma es de utilidad por si se tienen valores muy alejados entre sí dentro del análisis.

Las medidas de tendencia central fueron de utilidad en el análisis para determinar los parámetros prioritarios para el sector lácteo, ya que a través de los valores promedio y desviación de los datos obtenidos por los muestreos realizados nos permite analizar si los promedios se encuentran por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la cuarta etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006. En las tablas del número XVII a la XIX se analizan las medidas de tendencia central para cada grupo industrial establecido en el CIU para el sector lácteo utilizando los datos obtenidos en las caracterizaciones de agua residual realizadas.

Tabla XVII. Medidas de tendencia central de los grupos industriales correspondientes a la elaboración de la leche líquida tratada térmicamente y queso y cuajada

Parámetro	Elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas (Total 18 industrias)			Elaboración de queso y cuajada (Total 19 industrias)		
	Media aritmética	Mediana	Desviación estándar	Media aritmética	Mediana	Desviación estándar
pH	6,992	7,030	2,104	7,209	7,060	0,836
Temperatura °C	26,566	26,150	1,122	26,588	26,100	2,020
G Y A mg/L	372,264	365,600	279,414	315,018	249,400	278,444
MF	---	---	---	---	---	---
SST mg/L	576,769	354,500	606,660	516,813	318,670	613,672
DBO5 mg/L	2954,222	1144,000	3882,361	2476,537	986,000	3788,598
DQO mg/L	4915,611	2024,000	6154,656	4130,632	1 554,000	6013,405
N total mg/L	24,931	6,125	37,941	23,924	5,600	37,124
P total mg/L	64,566	11,450	134,407	60,211	10,450	131,602
As mg/L	0,004	0,005	0,002	0,005	0,005	0,000
Cd mg/L	0,172	0,100	0,227	0,184	0,053	0,246
CN mg/L	0,042	0,100	0,052	0,048	0,023	0,055
Cu mg/L	0,167	0,108	0,156	0,189	0,130	0,155
Cr hexavalente mg/L	0,478	0,094	0,764	0,563	0,117	0,821
Hg mg/L	0,006	0,006	0,005	0,004	0,001	0,005
Ni mg/L	0,345	0,500	0,229	0,323	0,500	0,238
Pb mg/L	0,176	0,051	0,285	0,144	0,048	0,292
Zn mg/L	0,368	0,350	0,163	0,371	0,390	0,178
Color Pt-Co	1984,247	493,000	5174,670	1990,158	493,000	5172,367
CF NMP/100 mL	1,88E+07	2,80E+05	3,22E+07	2,08E+07	1,00E+05	3,35E+07

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XVIII. **Medidas de tendencia central de los grupos industriales correspondientes a la elaboración de helados y yogur**

Parámetro	Elaboración de helados y sorbetes (Total 9 industrias)			Elaboración de yogur (Total 14 industrias)		
	Media aritmética	Mediana	Desviación estándar	Media aritmética	Mediana	Desviación estándar
pH	6,826	7,000	1,213	7,401	7,110	0,824
Temperatura °C	23,224	24,700	2,690	26,327	26,000	1,786
G Y A mg/L	191,657	131,000	237,716	354,243	365,600	290,365
MF	---	---	---	---	---	---
SST mg/L	288,992	114,000	278,899	538,460	310,835	709,504
DBO5 mg/L	1304,333	200,000	2107,030	2848,871	994,500	4353,858
DQO mg/L	2624,111	493,000	3440,956	4612,929	1430,000	6938,766
N total mg/L	10,244	4,700	9,707	24,282	6,125	40,115
P total mg/L	3,647	2,330	4,556	71,786	9,800	148,120
As mg/L	0,002	0,002	---	0,005	0,005	0,000
Cd mg/L	0,100	0,100	---	0,036	0,006	0,055
CN mg/L	0,010	0,010	---	0,064	0,032	0,072
Cu mg/L	0,010	0,010	---	0,201	0,218	0,174
Cr hexavalente mg/L	0,050	0,050	---	1,010	1,010	1,329
Hg mg/L	0,010	0,010	---	0,006	0,006	0,006
Ni mg/L	0,500	0,500	---	0,393	0,500	0,248
Pb mg/L	0,400	0,400	---	0,038	0,038	0,031
Zn mg/L	0,350	0,350	---	0,339	0,390	0,210
Color Pt-Co	372,783	140,480	438,320	2583,790	405,000	6122,787
CF NMP/100 mL	3,44E+08	2,10E+05	2,10E+05	9,68E+06	2,30E+03	2,03E+07

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XIX. **Medidas de tendencia central de los grupos industriales correspondientes a la elaboración de crema y mantequilla**

Parámetro	Elaboración de crema a partir de leche fresca líquida, pasteurizada, esterilizada u homogeneizada (Total 13 industrias)			Elaboración de mantequilla (Total 8 industrias)		
	Media aritmética	Mediana	Desviación estándar	Media aritmética	Mediana	Desviación estándar
pH	7,011	7,050	0,506	6,891	7,025	0,598
Temperatura °C	26,815	26,700	2,306	26,900	27,100	2,312
G Y A mg/L	315,518	313,800	237,049	277,068	255,000	206,052
MF	---	---	---	---	---	---
SST mg/L	455,911	346,000	331,533	444,938	375,350	191,406
DBO5 mg/L	1 468,462	943,000	1 592,984	1 302,875	1 114,000	874,713
DQO mg/L	2 532,077	1 554,000	2 253,925	2 502,125	2 024,000	1 420,418
N total mg/L	15,819	3,400	21,733	20,094	4,125	26,097
P total mg/L	37,523	10,450	85,102	58,429	19,500	109,760
As mg/L	0,005	0,005	---	0,005	0,005	---
Cd mg/L	0,250	0,229	0,286	0,250	0,229	0,286
CN mg/L	0,032	0,015	0,041	0,032	0,015	0,041
Cu mg/L	0,135	0,084	0,151	0,135	0,084	0,151
Cr hexavalente mg/L	0,266	0,117	0,364	0,266	0,117	0,364
Hg mg/L	0,001	0,001	---	0,001	0,001	---
Ni mg/L	0,178	0,094	0,218	0,178	0,094	0,218
Pb mg/L	0,232	0,060	0,382	0,232	0,060	0,382
Zn mg/L	0,433	0,430	0,085	0,433	0,430	0,085
Color Pt-Co	673,100	405,000	840,494	440,150	305,500	480,336
CF NMP/100 mL	2,78E+07	1,00E+05	4,15E+07	2,78E+07	1,10E+05	4,15E+07

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

3.8.2. Cumplimiento de las industrias muestreadas del sector de lácteos con los límites máximos establecidos en la cuarta etapa A G 236-2006

Se realizó un análisis de errores absolutos y relativos mediante la comparación de los resultados obtenidos en los análisis de agua residual y los límites máximos permisibles establecidos en la cuarta etapa A G 236-2006, según el tipo de descarga (hacia cuerpo receptor o alcantarillado público), con el fin de evaluar y cuantificar el cumplimiento de las industrias con la normativa.

Tabla XX. Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria I con descarga hacia cuerpo receptor

Parámetro	Valores A G 236-2006 Cuarta etapa	Monitoreo	Error absoluto	Error relativo	Error relativo porcentual
pH	6 a 9	7,7	---	---	---
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	27,6	---	---	---
G Y A (mg/L)	10	196,2	186,2	18,62	1 862
MF	Ausente	Presente	---	---	---
SST (mg/L)	100	311	211	2,11	211
DBO5 (mg/L)	100	2 625	2 525	25,25	2 525
DQO (mg/L)	---	3 495	----	---	---
N total (mg/L)	20	1,4	18,6	0,93	93
P total (mg/L)	10	1,45	8,55	0,855	85,50
As (mg/L)	0,1	<0,005	0,095	0,95	95
Cd (mg/L)	0,1	<0,002	0,098	0,98	98
CN (mg/L)	1	0,079	0,921	0,921	92,10
Cu (mg/L)	3	<0,35	2,65	0,883333	88,33
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	0,68	0,58	5,8	580
Hg (mg/L)	0,01	<0,001	0,009	0,9	90
Ni (mg/L)	2	<0,5	1,5	0,75	75
Pb (mg/L)	0,4	<0,005	0,395	0,9875	98,75
Zn (mg/L)	10	<0,35	9,65	0,965	96,50
Color Pt-Co	500	1396,3	896,3	1,7926	179,26
CF NMP/100 mL	10000	4,6 X 10 ⁷	45 990 000	4 599	459 900

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XXI. Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria II con descarga hacia cuerpo receptor

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Error absoluto	Error relativo	Error relativo porcentual
pH	6 a 9	6,78	---	---	---
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	24,7	---	---	---
G Y A (mg/L)	10	13,4	3,4	0,34	34
MF	Ausente	Ausente	---	---	---
SST (mg/L)	100	114	14	0,14	14
DBO5 (mg/L)	100	267	167	1,67	167
DQO (mg/L)	---	425	----	---	---
N total (mg/L)	20	27,6	7,6	0,38	38
P total (mg/L)	10	4,34	5,66	0,566	56,60
As (mg/L)	0,1	---	---	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---	---	---
CN (mg/L)	1	---	---	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---	---	---
Color Pt-Co	500	1 217	717	1,434	143,40
CF NMP/100 mL	10 000	4,6 X 10 ⁶	4 590 000	459	45 900

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XXII. Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la industria III con descarga hacia cuerpo receptor

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Error absoluto	Error relativo	Error relativo porcentual
pH	6 a 9	6,95	---	---	---
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	25,4	---	---	---
G Y A (mg/L)	10	249,4	239,4	23,94	2394
MF	Ausente	Ausente	---	---	---
SST (mg/L)	100	584	484	4,84	484
DBO5 (mg/L)	100	2 150	2 050	20,5	2050
DQO (mg/L)	---	3 774	----	---	---
N total (mg/L)	20	5,6	14,4	0,72	72
P total (mg/L)	10	11,65	1,65	0,165	16,50
As (mg/L)	0,1	<0,005	0,095	0,95	95
Cd (mg/L)	0,1	<0,002	0,098	0,98	98
CN (mg/L)	1	0,013	0,987	0,987	98,70
Cu (mg/L)	3	<0,35	2,65	0,88333333	88,33
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	0,07	0,03	0,3	30
Hg (mg/L)	0,01	<0,001	0,009	0,9	90
Ni (mg/L)	2	<0,5	1,5	0,75	75
Pb (mg/L)	0,4	<0,005	0,395	0,9875	98,75
Zn (mg/L)	10	<0,35	9,65	0,965	96,50
Color Pt-Co	500	3 089	2 589	5,178	517,80
CF NMP/100 mL	10 000	2,1 X10 ²	9 790	0,979	97,90

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XXIII. Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la Industria IV con descarga hacia alcantarillado público

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Error absoluto	Error relativo	Error relativo porcentual
pH	6 a 9	7,19	---	---	---
Temperatura (°C)	<40	20	---	---	---
G Y A (mg/L)	60	16,8	43,2	0,72	72
MF	Ausente	Ausente	---	---	---
SST (mg/L)	200	75	125	0,625	62,50
DBO5 (mg/L)	200	200	0	0	0
DQO (mg/L)	---	493	----	---	---
N total (mg/L)	40	3,3	36,7	0,9175	91,75
P total (mg/L)	10	0,55	9,45	0,945	94,50
As (mg/L)	0,1	---	---	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---	---	---
CN (mg/L)	1	---	---	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---	---	---
Color Pt-Co	500	696	196	0,392	39,20
CF NMP/100 mL	10 000	<30	9 970	0,997	99,70

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XXIV. Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la Industria V con descarga hacia alcantarillado público

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Error absoluto	Error relativo	Error relativo porcentual
pH	6 a 9	7,37	---	---	---
Temperatura (°C)	<40	25,7	---	---	---
G Y A (mg/L)	60	61,2	1,2	0,02	2
MF	Ausente	Presente	---	---	---
SST (mg/L)	200	363	163	0,815	81,50
DBO5 (mg/L)	200	1 003	803	4,015	401,50
DQO (mg/L)	---	1 263	----	---	---
N total (mg/L)	40	<0,5	39,5	0,9875	98,75
P total (mg/L)	10	9,75	0,25	0,025	2,50
As (mg/L)	0,1	----	----	----	----
Cd (mg/L)	0,1	----	----	----	----
CN (mg/L)	1	----	----	----	----
Cu (mg/L)	3	----	----	----	----
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	----	----	----	----
Hg (mg/L)	0,01	----	----	----	----
Ni (mg/L)	2	----	----	----	----
Pb (mg/L)	0,4	----	----	----	----
Zn (mg/L)	10	----	----	----	----
Color Pt-Co	500	2 927	2 427	4,854	485,40
CF NMP/100 mL	10 000	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

Tabla XXV. Errores absolutos, relativos y relativos porcentuales para la Industria VI con descarga hacia alcantarillado público

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Error absoluto	Error relativo	Error relativo porcentual
pH	6 a 9	8	---	---	---
Temperatura (°C)	<40	26,1	---	---	---
G Y A (mg/L)	60	<10	50	0,83333333	83,33
MF	Ausente	Ausente	---	---	---
SST (mg/L)	200	31	169	0,845	84,50
DBO5 (mg/L)	200	18,8	181,2	0,906	90,60
DQO (mg/L)	---	63	----	---	---
N total (mg/L)	40	3,6	36,4	0,91	91
P total (mg/L)	10	0,64	9,36	0,936	93,60
As (mg/L)	0,1	---	---	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---	---	---
CN (mg/L)	1	---	---	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---	---	---
Color Pt-Co	500	140,48	359,52	0,71904	71,90
CF NMP/100 mL	10 000	---	---	---	---

Fuente: elaboración propia, con base en los formularios de inspección.

4. RESULTADOS

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

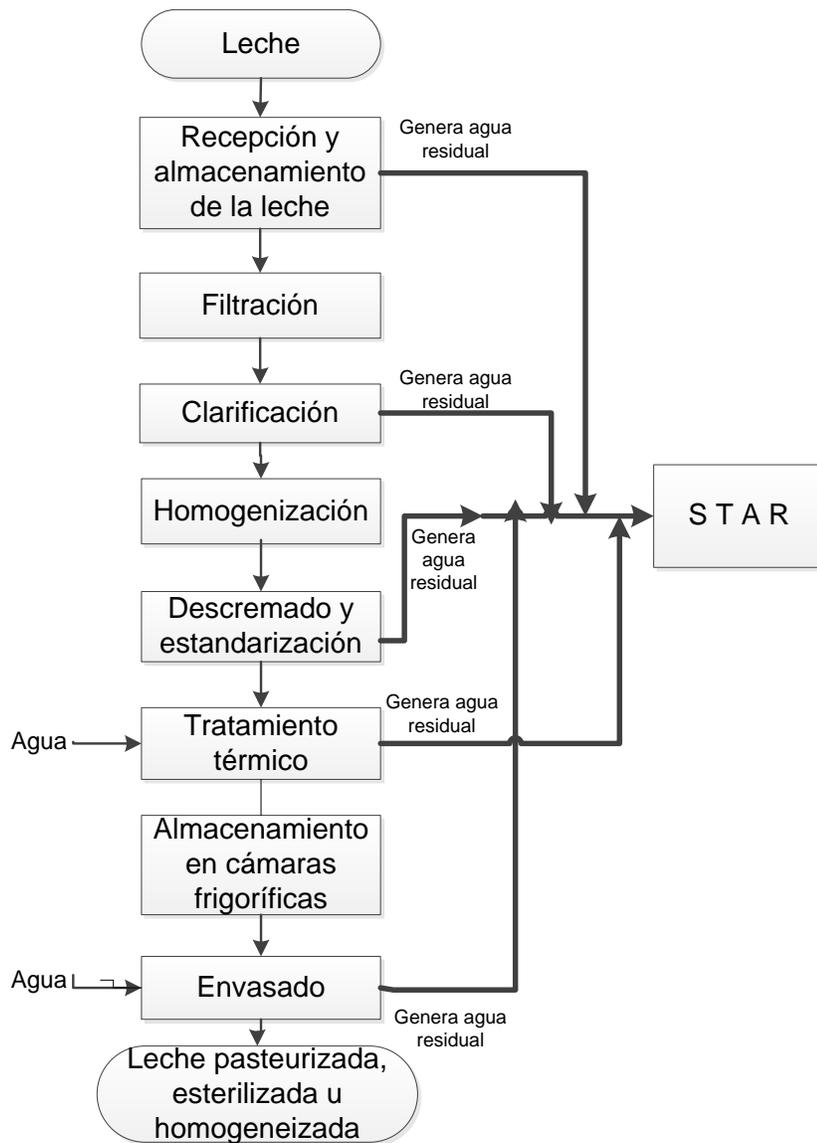
Se identificaron seis procesos de producción del sector de lácteos con base en el CIU en el área metropolitana: elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas; elaboración de crema; elaboración de mantequilla; elaboración de yogur; elaboración de queso y elaboración de helados.

4.1.1. Proceso de elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas

La leche tratada térmicamente (pasteurizada o esterilizada) permite aumentar el tiempo de conservación y eliminar posibles contaminaciones antes de ser consumida.

A continuación se describen las operaciones del proceso de producción de la leche fresca líquida con tratamiento térmico, así como las principales operaciones con mayor generación de agua residual observadas en las industrias monitoreadas del área metropolitana. Asimismo, se elaboró un diagrama del proceso, que se muestra en la figura 22, en el cual se colocan los principales procesos y se identifican los que poseen mayor cantidad de vertidos líquidos.

Figura 22. Diagrama de proceso de elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas

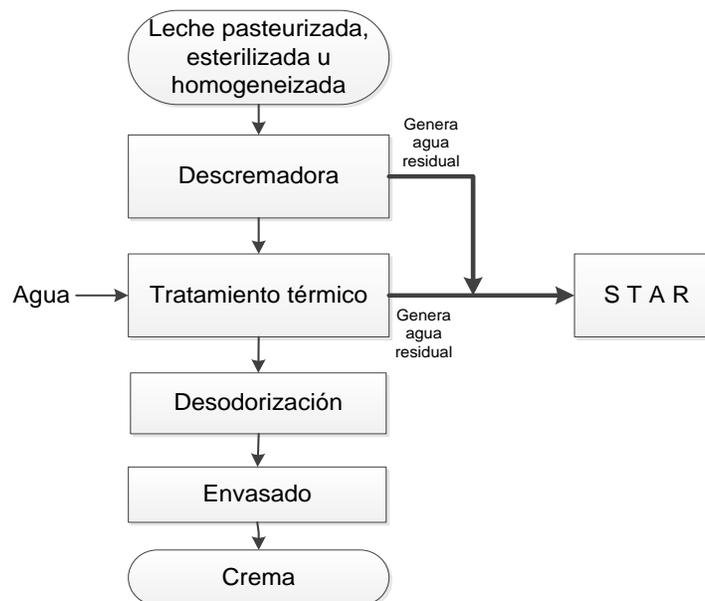


Fuente: elaboración propia, con base en información obtenida en los formularios de inspección.

4.1.2. Proceso de elaboración de crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada

La crema es el producto lácteo rico en materia grasa separado de la leche por decantación o centrifugación, que toma forma de una emulsión del tipo de grasa en agua. En Guatemala se comercializan varios tipos de crema, que generalmente difieren entre sí por su porcentaje de grasa. Para el análisis del proceso productivo de la crema se procedió a determinar sus principales procesos de elaboración y se identificó los que poseen mayor generación de aguas residuales, para lo cual se elaboró el diagrama de proceso que se muestra en la figura 23.

Figura 23. Diagrama de proceso de elaboración de crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada

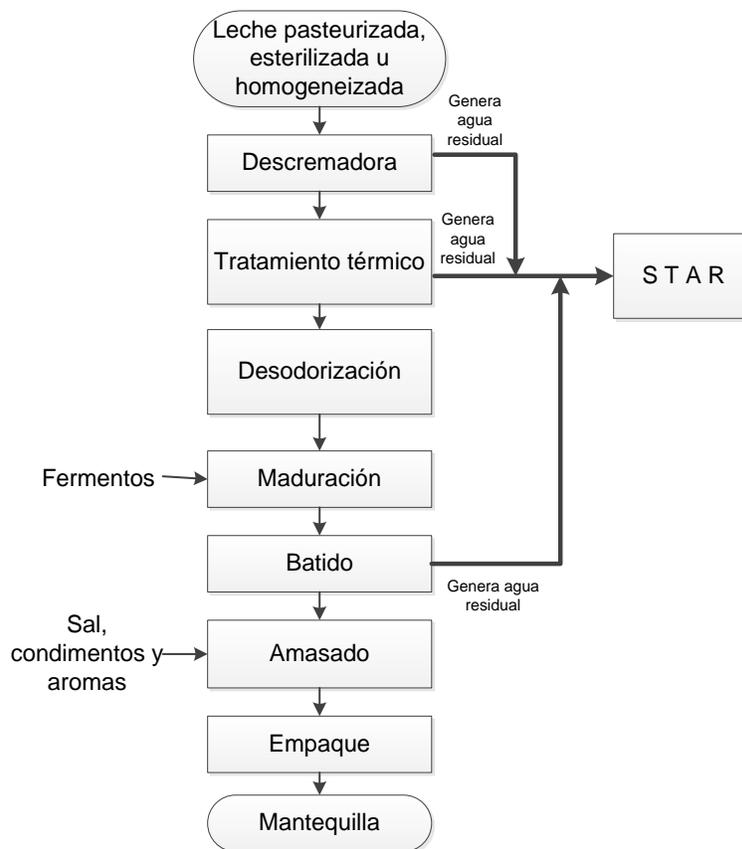


Fuente: elaboración propia, con base en información obtenida en los formularios de inspección.

4.1.3. Proceso de elaboración de mantequilla

La mantequilla es un producto de olor y sabor característicos obtenidos tras la maduración de la crema, en la que sufre una serie de transformaciones bioquímicas. Se elaboró un diagrama de proceso que se muestra en la figura 24, con las operaciones observadas en las industrias lácteas del área metropolitana, en el cual se determinan los principales procesos identificados y los procesos con mayor generación de agua residual.

Figura 24. Diagrama de proceso de elaboración de mantequilla



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

4.1.4. Elaboración de yogur

El yogur es el producto de la leche coagulada obtenido por fermentación láctica ácida, mediante la acción de los microorganismos *lactobacillus bulgáricus* y *streptococcus thermophilus*. Las bacterias lácticas deben ser viables y abundantes en el producto terminado.

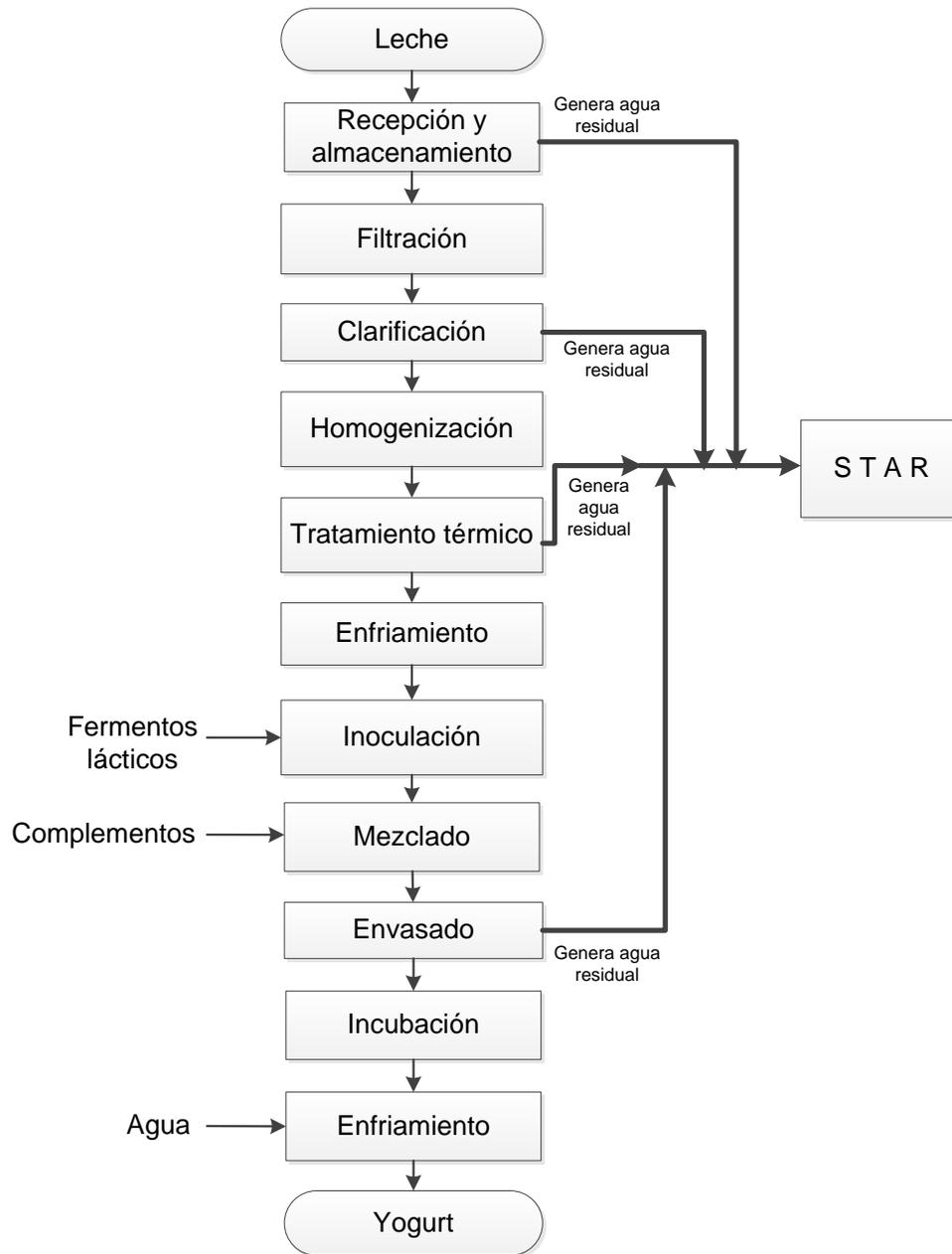
Existe una gran variabilidad de tipos de yogur producidos en las industrias lácteas, y pueden clasificarse según su:

- Consistencia (coagulados, líquidos)
- Sabor (natural, con azúcar, con sabores, con fruta, etc.)
- Composición (normal, enriquecido, descremado, semidescremado)

Se determinó que la materia prima del yogur es la leche previamente sometida a un tratamiento térmico y diversos ingredientes, los cuales dependerán de la industria en cuestión y del tipo de yogur a producir, tales como: estabilizantes, endulzantes, preservantes, frutas, semillas, azúcar y otros ingredientes posibles. Es importante mencionar que los ingredientes sólidos son pesados, mientras que los líquidos pueden ser pesados o dosificados por medidores volumétricos.

Para una mejor comprensión del proceso productivo del yogur se procedió a elaborar un diagrama de proceso que se muestra en la figura 25, en el cual se identifican los principales procesos de producción y los de mayor generación de agua residual.

Figura 25. Diagrama de proceso de elaboración de yogurt



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

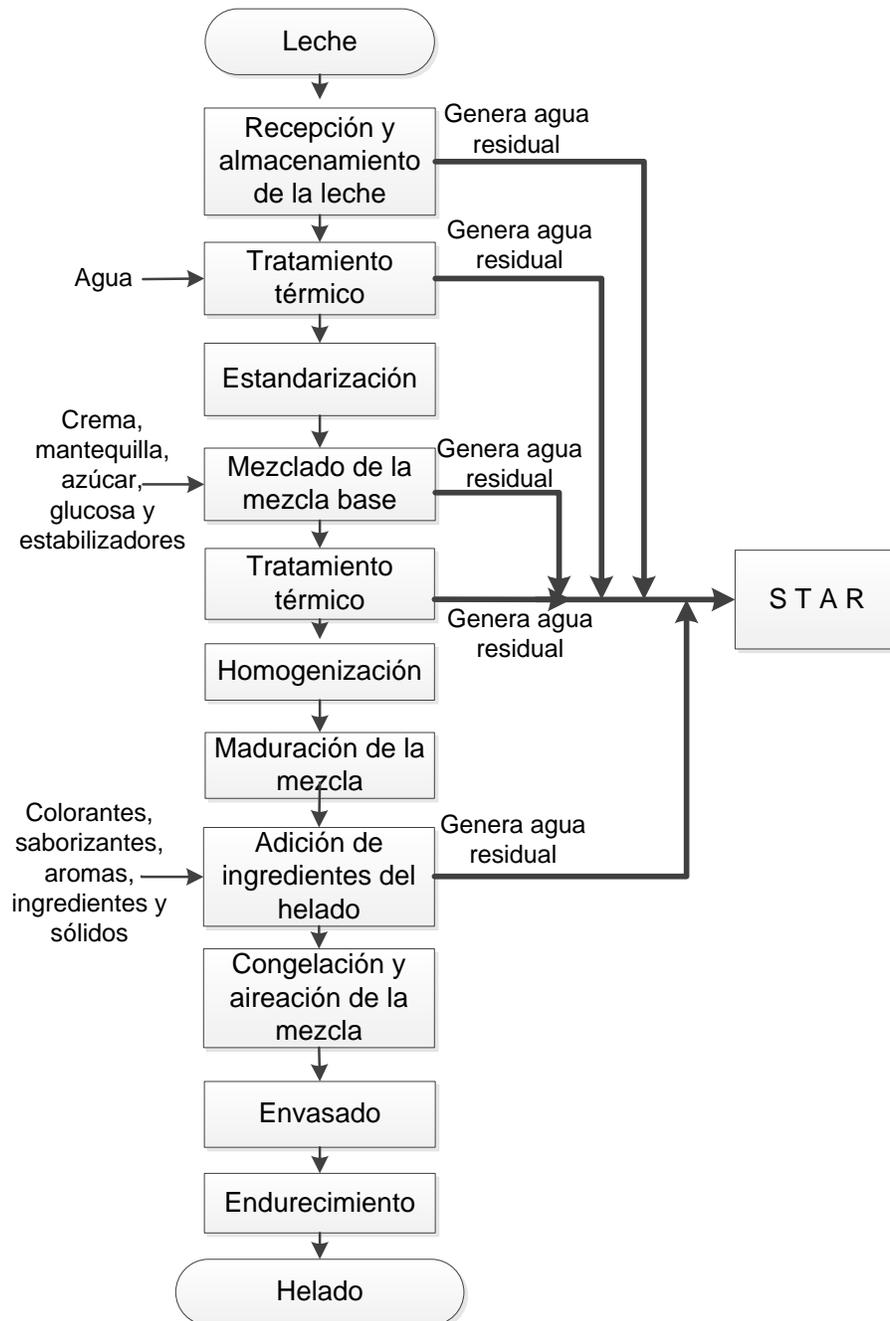
4.1.5. Elaboración de helado

El helado es una mezcla homogénea y pasteurizada, de diversos ingredientes que es batida y congelada para su posterior consumo en diversas formas y tamaños. La descripción del proceso se centrará en la elaboración de los helados de leche, los cuales tienen como base la leche u otros productos lácteos (crema, mantequilla, yogur, leche descremada, entre otros).

En las industrias lácteas muestreadas del área metropolitana se determinó a partir de los formularios de inspección que, para la producción de los helados se utilizan como materia prima diversos productos alimenticios entre los que destacan los siguientes: agua potable, leche y derivados lácteos (crema, mantequilla, leche en polvo, suero en polvo, leche descremada, entre otros), azúcares diversos (sacarosa, glucosa, sorbitol, entre otros), miel, grasas vegetales diversas (coco, palma, algodón, entre otros), frutas y zumos de frutas (fresa, piña, limón, entre otros), esencias artificiales, jaleas, huevos y productos derivados, proteínas de origen vegetal, almendras, pasas, pecanas, manías, avellanas, nueces, frutos secos, chocolate, café, cacao, cereales, galletas, canela, aditivos (espesantes, estabilizantes, aromas, colorantes, entre otros).

Se elaboró un diagrama de proceso que se muestra en la figura 26, basado en los principales métodos observados en las industrias lácteas guatemaltecas, en este se identificaron sus principales procesos y los que presentan una mayor generación de agua residual. Asimismo, se colocó la materia prima empleada en cada subproceso de elaboración del helado, lo cual será de utilidad para analizar los parámetros prioritarios en las descargas de agua residual.

Figura 26. Diagrama de proceso de elaboración de helado



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

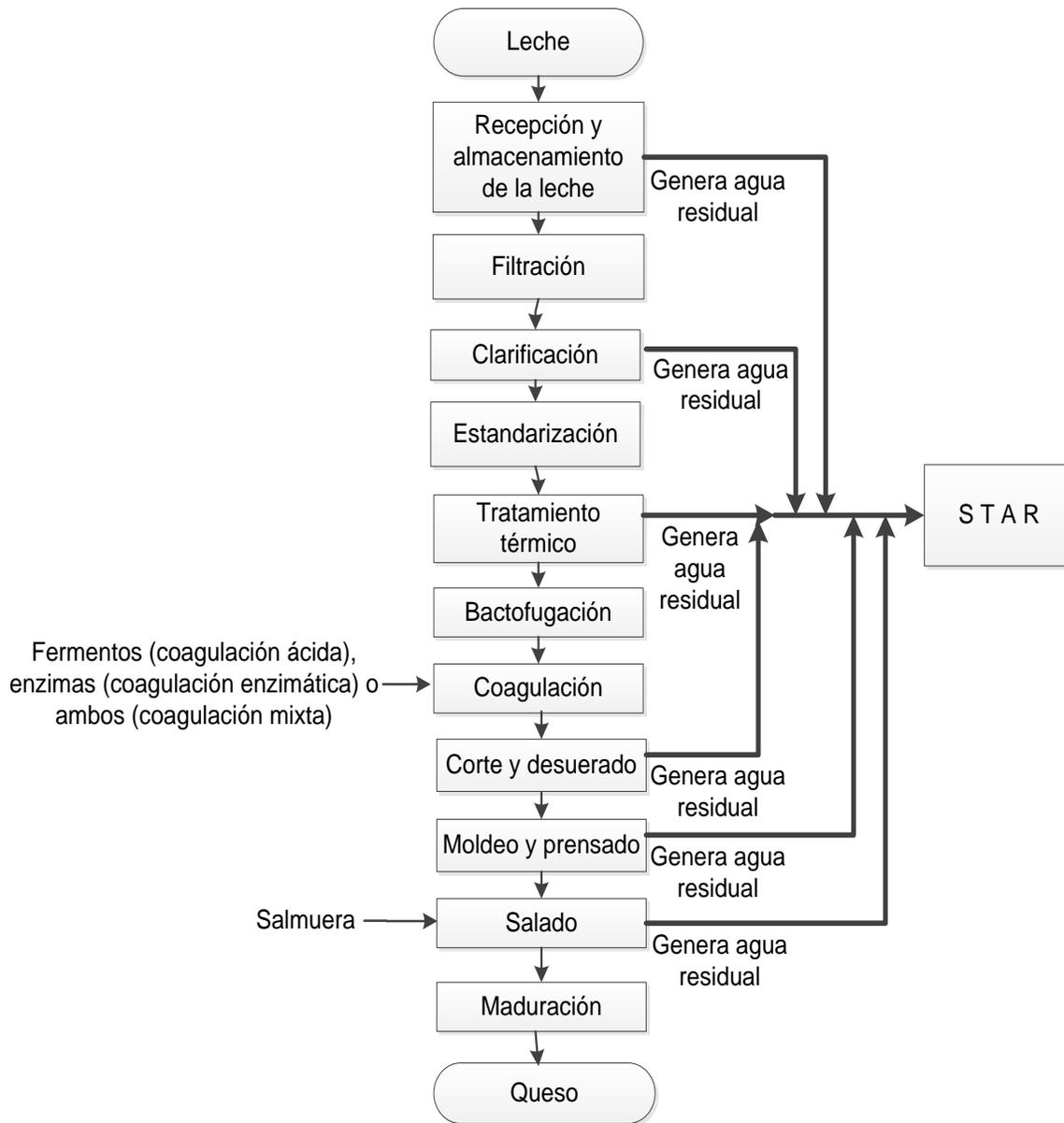
4.1.6. Elaboración de queso

El queso es el producto fresco o madurado, sólido o semisólido, obtenido por la coagulación de la leche, leche descremada, leche parcialmente descremada, crema, el suero de la mantequilla o de alguna mezcla de algunos o todos estos productos al someterse a la coagulación en la cual se realiza el cambio de la leche en estado líquido (suspensión) al estado sólido (gel), por la precipitación de la caseína, y se forma un gel blando y uniforme que ocupa completamente el volumen que anteriormente ocupaba la leche en el estado líquido. Por lo que el queso es producido al ser sometido al proceso de coagulación y realizar la eliminación parcial del lactosuero resultante de esta operación.

En las industrias visitadas del sector lácteo guatemalteco del área metropolitana, se determinó que los ingredientes básicos que se utilizan en la fabricación del queso son: leche entera, leche descremada, leche parcialmente descremada, crema, suero de la mantequilla, cultivos de levaduras o bacterias o bacterias lácticas, cuajo, ácidos o enzimas coagulantes, sal, aditivos como el cloruro cálcico, nitrato potásico, betacaroteno, entre otros.

Se procedió a elaborar un diagrama de proceso de elaboración del queso que se muestra en la figura 27, en el cual se identificaron los principales procesos observados en las industrias muestreadas del área metropolitana y las operaciones que presentan mayor generación de agua residual. Asimismo, se colocó según cada subproceso la materia prima involucrada en cada operación del mismo, lo cual será de utilidad para posteriormente identificar los parámetros prioritarios del sector lácteo del área metropolitana.

Figura 27. Diagrama de proceso de elaboración de queso



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

4.1.7. Operaciones de limpieza y desinfección

Las operaciones de limpieza y desinfección son importantes para garantizar las condiciones higiénicas de los equipos e instalaciones de las empresas lácteas y la calidad de los productos elaborados. Estas operaciones suponen la mayor parte del consumo de agua, energía y productos químicos de la instalación, así como un considerable volumen de aguas residuales. La limpieza y desinfección son dos operaciones que suelen realizarse sucesivamente, inicialmente con limpieza y luego desinfección, empleando detergentes y desinfectantes por separado. Sin embargo, también pueden realizarse de forma conjunta utilizando productos de acción combinada.

El agua es de vital importancia para las operaciones de limpieza y desinfección, ya que es el medio utilizado para disolver suciedad adherida a las superficies, la formación de las soluciones detergentes y eliminación de los restos de soluciones limpiadoras. El protocolo de limpieza y desinfección específico a aplicar está determinado por las características de la suciedad existente en cada equipo, superficie o instalación.

4.1.7.1. Limpieza

La limpieza es la eliminación total de todos los restos procedentes de la materia prima o el producto terminado de la industria láctea, por ejemplo, la leche o componentes de la misma y otras suciedades visibles. Siempre que la leche entra en contacto con el equipo, este queda sucio, pero el grado de suciedad varía con las circunstancias.

Los detergentes actúan por medio de reacciones químicas y pueden ser auxiliados, en forma general, por la elevación de temperaturas, por la acción

mecánica de cepillos, por la turbulencia, y por la aplicación en forma de chorro. En la tabla XXVI se presenta un resumen de los detergentes más utilizados en las industrias lácteas visitadas del área metropolitana.

Tabla XXVI. **Composición de detergentes de mayor uso en el sector lácteo del área metropolitana**

Categoría	Más utilizados en el sector lácteo	Acción
Detergentes alcalinos	Soda cáustica, Carbonato de sodio	Provocan la emulsión de las grasas, lo que las hace fácilmente arrastrables. Atacan directamente a las proteínas, saponifican las grasas, y los jabones formados aumentan el poder del detergente y la temperatura de la solución.
Detergentes ácidos	Ácido nítrico, Ácido fosfórico	Las soluciones de ácidos diluidas disuelven y eliminan las incrustaciones formadas por acumulación de las sales de leche y del agua.

Fuente: elaboración propia.

4.1.7.2. Desinfección

La desinfección es la eliminación total de los microorganismos patógenos y la mayoría de los no patógenos que afectarían a la calidad del producto. Si el equipo no se seca correctamente las bacterias que quedan se desarrollarán de nuevo y perjudicarán al producto que entre en contacto con el mismo. En la

tabla XXVII se enumeran los mecanismos de desinfección más comunes utilizados en las industrias lácteas muestreadas del área metropolitana.

Tabla XXVII. **Composición de desinfectantes de mayor uso en el sector lácteo**

Tipo de desinfección	Más utilizados en el sector lácteo	Ventajas	Desventajas
Por calor	Vapor directo	Elimina las bacterias por el calor húmedo, penetra a través de cualquier residuo de leche que haya quedado en el equipo, y penetra en todos los intersticios del material.	Gastos excesivos de vapor y, a veces, tuerce las piezas delicadas.
	Soluciones químicas calientes	Eliminación de bacterias patógenas.	Puede causar corrosión.
En frío	Hipocloritos	Es un método más rápido y económico que el vapor. Es el método de desinfección de equipo más utilizado.	Puede causar corrosión y no actúa eficientemente con un equipo que no esté bien limpio.
	Compuestos cuaternarios	No manchan, son inodoros, no corrosivos y relativamente no tóxicos.	

Fuente: elaboración propia.

Se identificó a través de los formularios de inspección, los métodos y productos de limpieza y desinfección utilizados en algunas de las industrias lácteas ubicadas en el área metropolitana detallados en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Métodos y/o productos de limpieza y desinfección utilizados en algunas de las industrias lácteas del área metropolitana

Industria	Métodos y/o productos de limpieza y desinfección utilizados
1	Detergentes, agua caliente y calor.
2	Lavado enzimático en todo el sistema todos los días al final de labores. El producto utilizado es un líquido formulado a base de bacterias facultativas, enzimas y surfactantes, especialmente diseñado para remover y limpiar grasas de origen animal y vegetal.
3	Desinfectantes, estabilizantes y yodo.
4	Limpieza: Soda cáustica y detergentes. Desinfección: Ácido peracético o Ácido nítrico. Utilizan el sistema CIP, sistema para limpieza y desinfección de toda la tubería conductora del producto en el proceso. El sistema puede ser parcial o totalmente automatizado y optimiza los consumos de agua, energía y productos de limpieza necesarios para realizar la operación.
5	Cloro, ácidos, bases y agua caliente.
6	Agua caliente, detergentes líquidos, enjuague, amonio cuaternario y agua.

Fuente: elaboración propia.

4.1.8. Compendio general de los grupos industriales del sector lácteo del área metropolitana

Se realizó un compendio con los procesos descritos anteriormente, con énfasis en los que poseen mayor generación de agua residual y los parámetros del A G 236-2006 que se ven afectados por los vertidos.

Tabla XXIX. Compendio de los principales procesos de generación de aguas residuales

Operaciones	Materia prima	Principales procesos de generación de aguas residuales	Vertido	Parámetros
Leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas	Leche Cruda	Recepción y almacenamiento de leche cruda	Limpieza de camiones, tanques, mangueras y conducciones, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Clarificación	Lodos de clarificación, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Descremado	Lodos producidos por el proceso de centrifugación.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Tratamiento térmico	Consumo de agua y generación de condensados	Temperatura
		Envasado	Pérdidas de producto.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
Crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada	Leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada	Descremado	Lodos producidos por el proceso de centrifugación.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Tratamiento térmico	Consumo de agua y generación de condensados	Temperatura

Continuación de la tabla XXIX.

Operaciones	Materia prima	Principales procesos de generación de aguas residuales	Vertido	Parámetros
Mantequilla	Leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada, fermentos lácticos, fermentos productores de aromas, estabilizantes, reguladores de pH, sal, condimentos, aromatizantes.	Descremado	Lodos producidos por el proceso de centrifugación.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Tratamiento térmico	Consumo de agua y generación de condensados	Temperatura
		Batido	Suero de mantequilla (mazada), lavado de granos de mantequilla para eliminar restos de mazada.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
Yogur	Leche Cruda, fermentos lácticos, estabilizantes, endulzantes, frutas, semillas, azúcar, aromatizantes, jaleas, aditivos (aromas, colorantes, preservantes, entre otros)	Recepción y almacenamiento de leche cruda	Limpieza de camiones, tanques, mangueras y conducciones, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Clarificación	Lodos de clarificación, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Tratamiento térmico	Consumo de agua y generación de condensados	Temperatura
		Envasado	Pérdidas de producto.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
Limpieza y desinfección	Detergentes alcalinos, ácidos, vapor, enzimas, soluciones químicas calientes, hipocloritos, compuestos cuaternarios.	Operaciones de limpieza y desinfección.	Suponen la mayor parte de consumo de agua y la mayor generación de aguas residuales.	pH, temperatura, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color

Continuación de la tabla XXIX.

Operaciones	Materia prima	Principales procesos de generación de aguas residuales	Vertido	Parámetros
Helado	Agua potable, leche y derivados lácteos, azúcares diversos, miel, grasas vegetales diversas, frutas y zumos de frutas, esencias artificiales y naturales, jaleas, huevos y productos derivados, proteínas de origen vegetal, semillas, frutos secos, cereales, galletas, aditivos (espesantes, estabilizantes, aromas, colorantes, entre otros)	Recepción y almacenamiento de leche cruda	Limpieza de camiones, tanques, mangueras y conducciones, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Tratamiento térmico	Consumo de agua y generación de condensados	Temperatura
		Mezclado de la mezcla base	Fugas o derrames.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Adición de ingredientes del helado	Fugas o derrames de producto.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
Queso	Leche cruda, fermentos lácticos (coagulación ácida/mixta), enzimas (coagulación enzimática/mixta), agua potable, sal, preservantes.	Recepción y almacenamiento de leche cruda	Limpieza de camiones, tanques, mangueras y conducciones, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Clarificación	Lodos de clarificación, pérdidas de leche.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Tratamiento térmico	Consumo de agua y generación de condensados	Temperatura
		Corte y desuerado	Grandes volúmenes de lactosuero.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Moldeo y prensado	Pequeños volúmenes de lactosuero.	pH, MF, G y A, DBO _{5,20} , DQO, MF, SST, N total, P total, Color
		Salado	Consumo de agua para elaboración de salmuera y el vertido puntual de la misma.	pH

Fuente: elaboración propia.

4.2. Determinación del cumplimiento con el A G 236-2006

Verificación del cumplimiento de las seis industrias lácteas visitadas con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, según los parámetros establecidos para la descarga de agua residual hacia cuerpo receptor o alcantarillado público.

Tabla XXX. **Cumplimiento de industria I con el A G 236-2006 con descarga hacia cuerpo receptor**

Parámetro	A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Cumplimiento
pH	6 a 9	7,7	Sí
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	27,6	---
G Y A (mg/L)	10	196,2	No
MF	Ausente	Presente	No
SST (mg/L)	100	311	No
DBO _{5,20} (mg/L)	100	2 625	No
DQO (mg/L)	---	3 495	---
N total (mg/L)	20	1,4	Sí
P total (mg/L)	10	1,45	Sí
As (mg/L)	0,1	<0,005	Sí
Cd (mg/L)	0,1	<0,002	Sí
CN (mg/L)	1	0,079	Sí
Cu (mg/L)	3	<0,35	Sí
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	0,68	No
Hg (mg/L)	0,01	<0,001	Sí
Ni (mg/L)	2	<0,5	Sí
Pb (mg/L)	0,4	<0,005	Sí
Zn (mg/L)	10	<0,35	Sí
Color Pt-Co	500	1396,3	No
CF NMP/100 mL	10 000	4,6 X 10 ⁷	No

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a tablas II y III.

Tabla XXXI. **Cumplimiento de industria II con el A G 236-2006 con descarga hacia cuerpo receptor**

Parámetro	A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Cumplimiento
pH	6 a 9	6,78	Sí
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	24,7	---
G Y A (mg/L)	10	13,4	No
MF	Ausente	Ausente	Sí
SST (mg/L)	100	114	No
DBO _{5,20} (mg/L)	100	267	No
DQO (mg/L)	---	425	---
N total (mg/L)	20	27,6	No
P total (mg/L)	10	4,34	Sí
As (mg/L)	0,1	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---
CN (mg/L)	1	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---
Color Pt-Co	500	1 217	No
CF NMP/100 mL	10 000	4,6 X 10 ⁶	No

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a tablas II y III.

Tabla XXXII. **Cumplimiento de industria III con el A G 236-2006 con descarga hacía cuerpo receptor**

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Cumplimiento
pH	6 a 9	6,95	Sí
Temperatura (°C)	TCR +/- 7	25,4	---
G Y A (mg/L)	10	249,4	No
MF	Ausente	Ausente	Sí
SST (mg/L)	100	584	No
DBO _{5,20} (mg/L)	100	2 150	No
DQO (mg/L)	---	3 774	---
N total (mg/L)	20	5,6	Sí
P total (mg/L)	10	11,65	No
As (mg/L)	0,1	<0,005	Sí
Cd (mg/L)	0,1	<0,002	Sí
CN (mg/L)	1	0,013	Sí
Cu (mg/L)	3	<0,35	Sí
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	0,07	Sí
Hg (mg/L)	0,01	<0,001	Sí
Ni (mg/L)	2	<0,5	Sí
Pb (mg/L)	0,4	<0,005	Sí
Zn (mg/L)	10	<0,35	Sí
Color Pt-Co	500	3 089	No
CF NMP/100 mL	10 000	2,1 X10 ²	Sí

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a tablas II y III.

Tabla XXXIII. **Cumplimiento de industria IV con el A G 236-2006 con descarga hacía alcantarillado público**

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Cumplimiento
pH	6 a 9	7,19	Sí
Temperatura (°C)	<40	20	Sí
G Y A (mg/L)	60	16,8	Sí
MF	Ausente	Ausente	Sí
SST (mg/L)	200	75	Sí
DBO _{5,20} (mg/L)	200	200	Sí
DQO (mg/L)	Cuantificar	493	---
N total (mg/L)	40	3,3	Sí
P total (mg/L)	10	0,55	Sí
As (mg/L)	0,1	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---
CN (mg/L)	1	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---
Color Pt-Co	500	696	No
CF NMP/100 mL	10 000	<30	Sí

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a tablas II y III.

Tabla XXXIV. **Cumplimiento de industria V con el A G 236-2006 con descarga hacía alcantarillado público**

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Cumplimiento
pH	6 a 9	7,37	Sí
Temperatura (°C)	<40	25,7	Sí
G Y A (mg/L)	60	61,2	No
MF	Ausente	Presente	No
SST (mg/L)	200	363	No
DBO _{5,20} (mg/L)	200	1 003	No
DQO (mg/L)	Cuantificar	1 263	---
N total (mg/L)	40	<0,5	Sí
P total (mg/L)	10	9,75	Sí
As (mg/L)	0,1	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---
CN (mg/L)	1	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---
Color Pt-Co	500	2 927	No
CF NMP/100 mL	10 000	---	---

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a tablas II y III.

Tabla XXXV. **Cumplimiento de industria VI con el A G 236-2006 con descarga hacía alcantarillado público**

Parámetro	Valores A G 236-2006 cuarta etapa	Monitoreo	Cumplimiento
pH	6 a 9	8	Sí
Temperatura (°C)	<40	26,1	Sí
G Y A (mg/L)	60	<10	Sí
MF	Ausente	Ausente	Sí
SST (mg/L)	200	31	Sí
DBO _{5,20} (mg/L)	200	18,8	Sí
DQO (mg/L)	Cuantificar	63	---
N total (mg/L)	40	3,6	Sí
P total (mg/L)	10	0,64	Sí
As (mg/L)	0,1	---	---
Cd (mg/L)	0,1	---	---
CN (mg/L)	1	---	---
Cu (mg/L)	3	---	---
Cr hexavalente (mg/L)	0,1	---	---
Hg (mg/L)	0,01	---	---
Ni (mg/L)	2	---	---
Pb (mg/L)	0,4	---	---
Zn (mg/L)	10	---	---
Color Pt-Co	500	140,48	Sí
CF NMP/100 mL	10 000	---	---

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a tablas II y III.

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

Tabla XXXVI. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga hacía cuerpo receptor (total de 3 empresas)

Parámetro	Cantidad de empresas que cumplen la cuarta etapa del A G 236-2006	Cantidad de empresas que cumplen parámetro internacional	Porcentaje que cumple la cuarta etapa del A G 236-2006	Porcentaje que cumple parámetro internacional
pH	3	3	100	100
Temperatura °C	---	---	---	---
G Y A mg/L	0	0	0	0
MF	2	2	67	67
SST mg/L	0	0	0	0
DBO _{5,20} mg/L	0	0	0	0
DQO mg/L	---	0	---	0
N total mg/L	2	2	67	67
P total mg/L	2	0	67	0
As mg/L*	2	2	100	100
Cd mg/L*	2	2	100	100
CN mg/L*	2	2	100	100
Cu mg/L*	2	2	100	100
Cr hexavalente mg/L*	1	1	50	50
Hg mg/L*	2	2	100	100
Ni mg/L*	2	2	100	100
Pb mg/L*	2	2	100	100
Zn mg/L*	2	2	100	100
Color Pt-Co	0	0	0	0
CF NMP/100 mL	1	1	33	33

* Parámetros en los cuales no se muestrearon las aguas residuales correspondientes a las 3 industrias que descargan hacía cuerpo receptor.

Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XXX-XXXV.

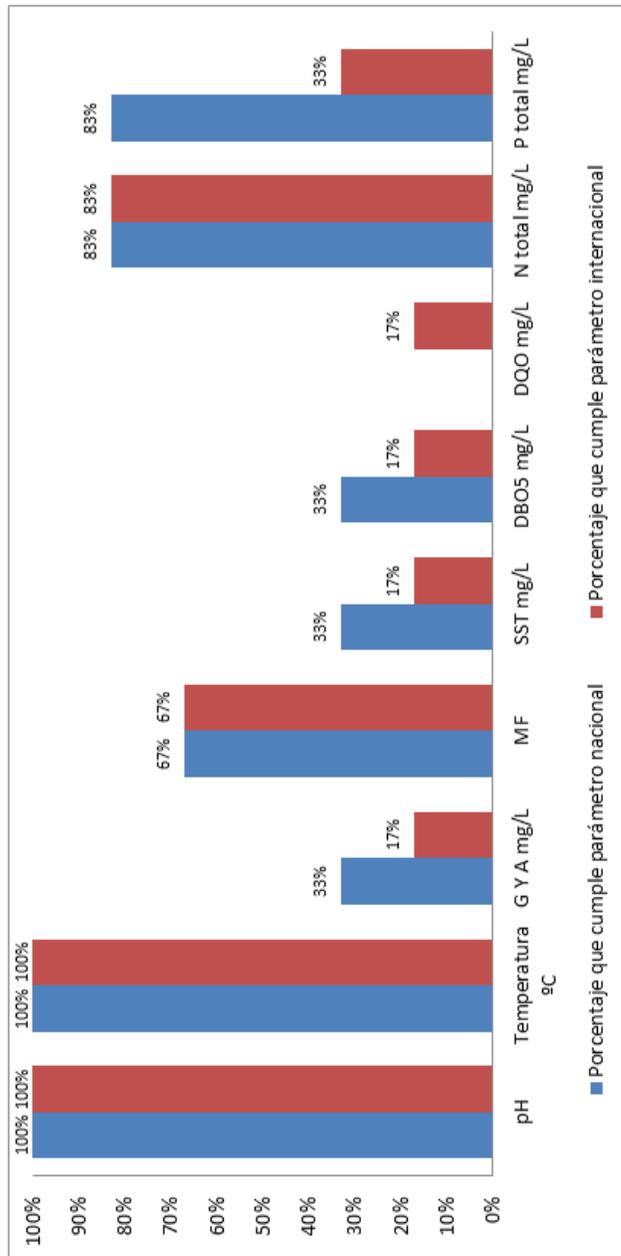
Tabla XXXVII. Porcentaje de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga hacia alcantarillado público (total de 3 empresas)

Parámetro	Cantidad de empresas que cumplen la cuarta etapa del A G 236-2006	Cantidad de empresas que cumplen parámetro internacional	Porcentaje que cumple la cuarta etapa del A G 236-2006	Porcentaje que cumple parámetro internacional
pH	3	3	100	100
Temperatura °C	3	3	100	100
G Y A mg/L	2	1	66	33
MF	2	2	67	67
SST mg/L	2	1	67	33
DBO _{5,20} mg/L	2	1	67	33
DQO mg/L	---	1	---	33
N total mg/L	3	3	100	100
P total mg/L	3	2	100	67
As mg/L	---	---	---	---
Cd mg/L	---	---	---	---
CN mg/L	---	---	---	---
Cu mg/L	---	---	---	---
Cr hexavalente mg/L	---	---	---	---
Hg mg/L	---	---	---	---
Ni mg/L	---	---	---	---
Pb mg/L	---	---	---	---
Zn mg/L	---	---	---	---
Color Pt-Co	1	0	33	0
CF NMP/100 mL *	1	---	100	---

* Parámetros en los cuales no se muestrearon las aguas residuales correspondientes a las 3 industrias que descargan hacia alcantarillado público.

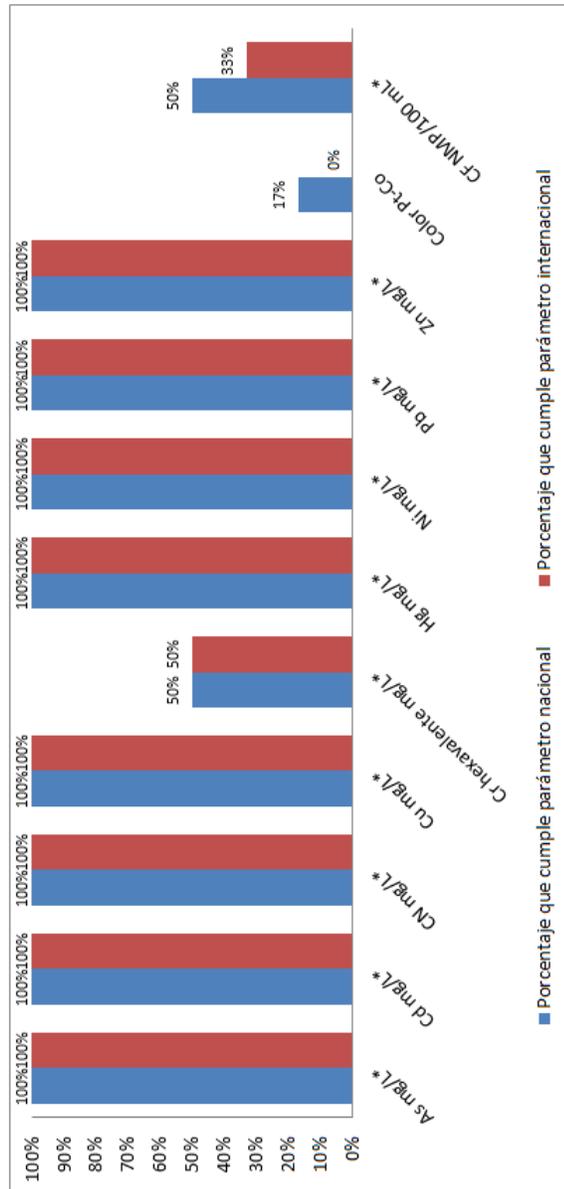
Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XXX-XXXV.

Figura 28. **Gráfico comparativo del porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga de parámetros nacionales e internacionales (parte uno)**



Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XXX-XXXV.

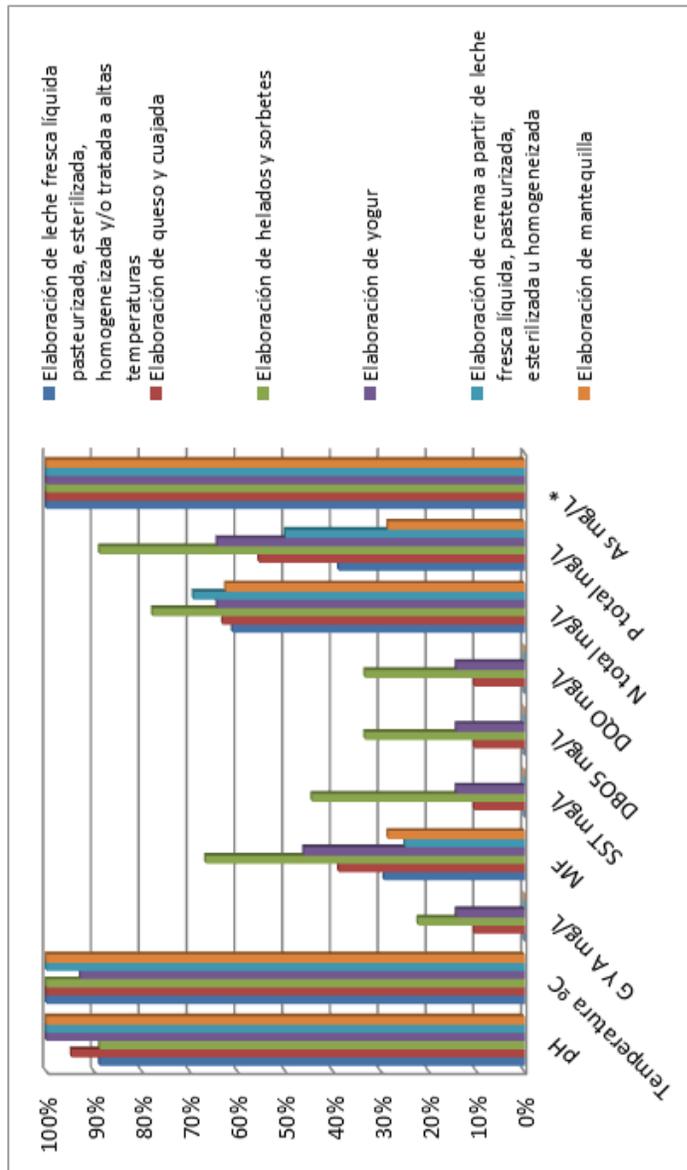
Figura 29. **Gráfico comparativo del porcentaje total de empresas que cumplen con los límites permisibles de descarga de parámetros nacionales e internacionales (parte dos)**



* Parámetros que no fueron analizados en la totalidad de industrias muestreadas.

Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XXX-XXXV.

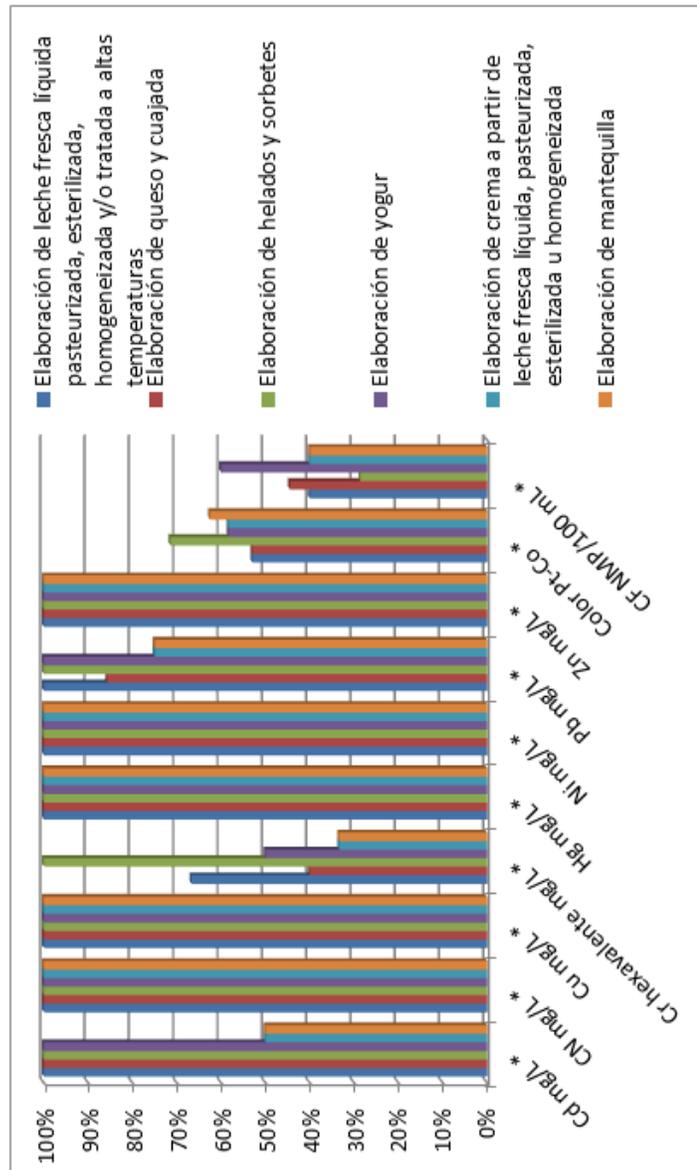
Figura 30. **Gráfico comparativo del cumplimiento de cada grupo industrial del sector lácteo del área metropolitana con los límites permisibles de descarga de la cuarta fase del A G 236-2006 (parte uno)**



* Parámetros que no fueron analizados en la totalidad de industrias muestreadas.

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIII.

Figura 31. **Gráfico comparativo del cumplimiento de cada grupo industrial del sector lácteo del área metropolitana con los límites permisibles de descarga de la cuarta fase del A G 236-2006 (parte dos)**



* Parámetros que no fueron analizados en la totalidad de industrias muestreadas.

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIII.

4.3. Determinación de parámetros prioritarios

Se realizó un análisis de proceso y materia prima para identificar los principales parámetros prioritarios del A G 236-2006, para lo cual, también se utilizó como base el cumplimiento de los mismos con los límites máximos establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006 y cumplimiento de estos con parámetros internacionales. Los parámetros determinados como prioritarios son:

- Potencial de hidrógeno (pH)
- Temperatura
- Grasas y aceites (G Y A)
- Materia flotante (MF)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20})
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitrógeno total (N total)
- Fósforo total (P total)
- Color
- Coliformes fecales

Por lo que se elaboró la tabla XXXVIII en la cual se colocó para cada parámetro, según el A G 236-2006, las principales fuentes de generación de aguas residuales de las distintas operaciones de producción de cada grupo industrial del sector lácteo. Asimismo, en esta tabla se pueden identificar los procesos con mayor generación de agua residual que afectan directamente a cada parámetro determinado como prioritario.

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

Parámetro	Principales fuentes
pH	Recepción y almacenamiento de leche cruda, clarificación, descremado, envasado de leche tratada térmicamente, batido de la mantequilla, envasado de yogur, mezclado de la mezcla base y adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo, prensado y salado de queso, procesos de limpieza y desinfección.
Temperatura	Aguas de refrigeración y calderas.
G Y A	Recepción y almacenamiento de leche cruda, clarificación, descremado, envasado de leche tratada térmicamente, batido de la mantequilla, envasado de yogur, mezclado de la mezcla base y adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo y prensado de queso, procesos de limpieza y desinfección.
MF	Clarificación, descremado, batido de la mantequilla, envasado de yogur, adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo y prensado de queso, procesos de limpieza y desinfección.
SST	Clarificación, descremado, batido de la mantequilla, envasado de yogur, adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo y prensado de queso, procesos de limpieza y desinfección.
DBO _{5,20}	Recepción y almacenamiento de leche cruda, clarificación, descremado, envasado de leche tratada térmicamente, batido de la mantequilla, envasado de yogur, mezclado de la mezcla base y adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo y prensado de queso, procesos de limpieza y desinfección.

Continuación de la tabla XXXVIII.

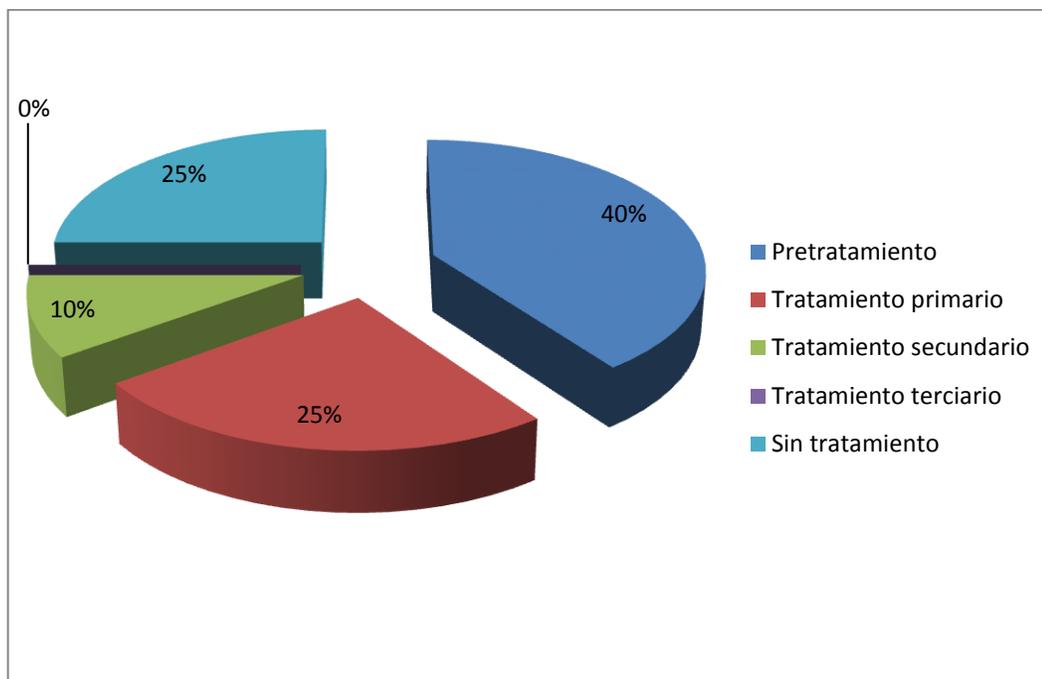
Parámetro	Principales fuentes
DQO	Recepción y almacenamiento de leche cruda, clarificación, descremado, envasado de leche tratada térmicamente, batido de la mantequilla, envasado de yogur, mezclado de la mezcla base y adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo y prensado de queso, procesos de limpieza y desinfección.
N total	Operaciones de limpieza y desinfección.
P total	Operaciones de limpieza y desinfección.
As	No se genera durante el proceso.
Cd	No se genera durante el proceso.
CN⁻ total	No se genera durante el proceso.
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	Recepción y almacenamiento de leche cruda, clarificación, descremado, envasado de leche tratada térmicamente, envasado de yogur, mezclado de la mezcla base y adición de ingredientes al helado, corte, desuerado, moldeo y prensado de queso, procesos de limpieza y desinfección.
CF	Conexión con alcantarillado sanitario, crecimiento bacteriano en las aguas residuales. (Por factores externos).

Fuente: elaboración propia.

4.4. Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales

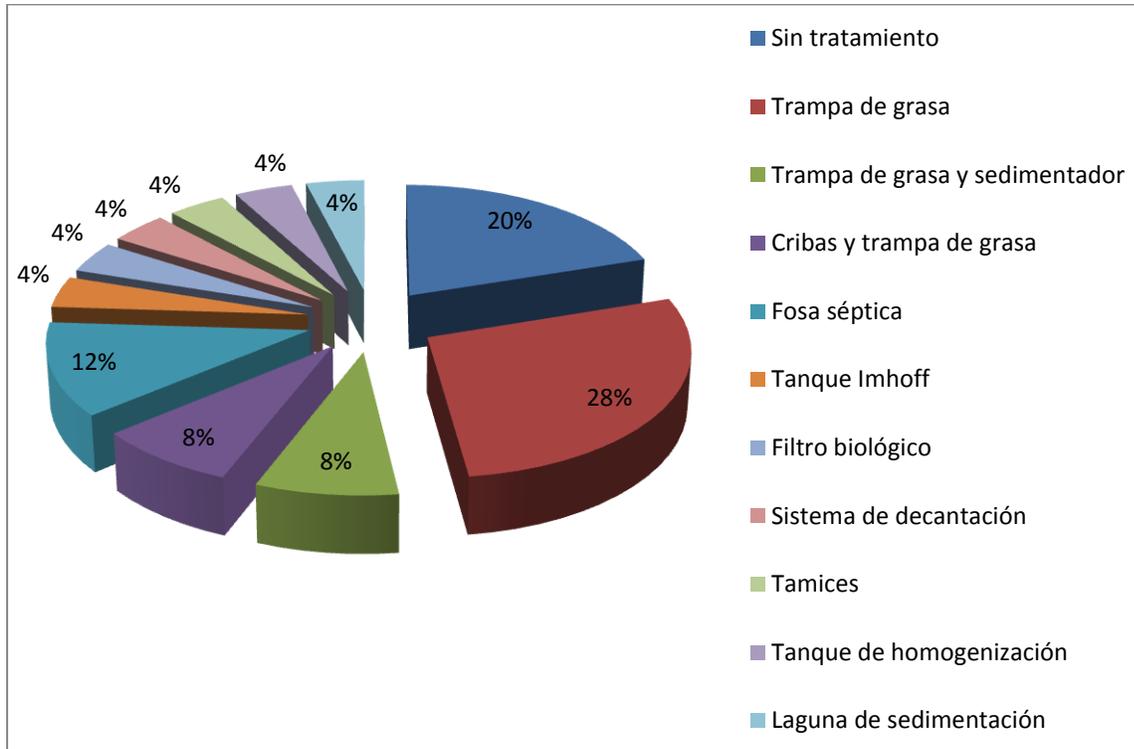
Mediante formularios de inspección y visitas a industrias del sector lácteo del área metropolitana se procedió a determinar si poseían un sistema de tratamiento de agua residual, si lo tenían se procedió a realizar una categorización por tipo de sistema.

Figura 32. **Gráfica con los STAR identificados en porcentaje total de las industrias visitadas del área metropolitana**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XV.

Figura 33. Gráfica con las principales unidades de tratamiento de aguas residuales identificadas en las industrias visitadas del área metropolitana



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVI.

4.5. Propuesta de unidades de tratamiento de aguas residuales

Las principales descargas de aguas residuales del área metropolitana se realizan, principalmente a partir de la producción de suero, del lavado de depósitos y otros utensilios y algunos desperdicios, tal como se planteó anteriormente. Además, poseen como parámetros principales pH, temperatura, aceites y grasas, materia flotante, sólidos suspendidos totales, DBO_{5,20}, DQO, color, coliformes fecales, nitrógeno total y fósforo total (nutrientes), lo cual obliga a las industrias a evaluar el impacto creado por sus descargas sobre los cuerpos superficiales.

Las aguas residuales generadas en las industrias lácteas deben someterse a un tratamiento, para ser dispuestos con el mínimo impacto ambiental, para lo mismo se debe buscar la reducción de los parámetros que se determinaron como prioritarios en el sector lácteo del área metropolitana y, además se debe considerar que los mismos cumplan con los valores límite permitidos del A G 236-2006. Se proponen las siguientes unidades de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de disminuir los parámetros contenidos en los residuos industriales líquidos. Las unidades de tratamiento propuestas se categorizarán en: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

4.5.1. Pretratamiento

El pretratamiento de las aguas residuales de las industrias lácteas tiene como objetivo remover partículas grandes, ya sea que floten o se sedimenten, antes de que lleguen a las unidades de tratamiento posteriores y busca homogenizar la mezcla para que el sistema de tratamiento no sufra pérdidas de

eficiencia y/o no requiera de continuos, costosos y desfavorables cambios en el mismo.

Tabla XXXIX. **Unidades de tratamiento propuestas para el pretratamiento del agua residual del sector lácteo guatemalteco**

Unidad	Aplicación
Separación de sólidos gruesos	Las cribas se utilizan para eliminar partículas gruesas, las mismas ayudan a proteger de daños físicos y obturaciones todos los equipos y accesorios del STAR.
Separación de sólidos finos	Restos de queso, cuajada, etc., pueden ser sólidos putrescibles, para retirarlos se pueden utilizar tamices.
Trampas de grasa y aceite	Separación física de las grasas y aceites procedentes de los procesos de producción del sector de lácteos, esto se realiza por flotación natural en donde los aceites y las grasas, se mantienen en la superficie del tanque donde son fácilmente retenidos y retirados.
Tanque de homogenización	El tanque de homogenización tiene como objetivo amortiguar las variaciones en el pH y la temperatura.
Ajuste de pH	Dosificación de un agente neutralizante para ajustar el pH a un nivel óptimo para la posterior etapa de coagulación.

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario de las aguas residuales del sector lácteo tendrá como objetivo eliminar un gran porcentaje de sólidos, para lo cual se busca sedimentar los materiales suspendidos.

Tabla XL. **Unidades de tratamiento propuestas para el tratamiento primario del agua residual del sector lácteo guatemalteco**

Unidad	Aplicación
Tanque tipo Imhoff	Los tanques Imhoff tienen dos funciones: sedimentar el material suspendido en el primer compartimiento y en el segundo compartimiento se da la digestión y almacenamiento de lodos, lo cual reduce el material orgánico procedente de los procesos de elaboración del sector de lácteos.
Fosa séptica	La fosa séptica realiza la separación y transformación fisicoquímica de la materia orgánica contenida en las aguas residuales. La fosa séptica es un licuefactor que por la intermediación de las bacterias anaeróbicas transforma, la materia orgánica producto del proceso productivo del sector de lácteos en lodos residuales, en gas metano y en agua clara pero no purificada. La fosa séptica debe conectarse a un tratamiento secundario que puede ser: un drenaje en el terreno o un filtro biológico percolador.
Biodigestor	Un biodigestor es un contenedor dentro del cual se fermenta y deposita el material orgánico procedente de los procesos productivos del sector de lácteos por fermentación anaerobia y se produce gas metano y lodos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, dejando el agua residual luego de esta operación con un menor contenido orgánico.

Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo reducir el contenido en materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. Esta fase puede incluir procesos biológicos y químicos, sin embargo, el tipo de tratamiento más empleado es el biológico, por lo cual es fundamental para el tratamiento de las aguas residuales del sector lácteo, ya que por medio del tratamiento biológico, se reducirá la materia orgánica carbónica presente en los efluentes lácteos, como los carbohidratos, azúcares, aceites y grasas, lactosa, entre otros.

El tratamiento secundario se suele hacer conduciendo el efluente del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de microorganismos, se puede dividir en tratamientos aerobios y anaerobios, lo cual indica si la acción microbiológica se realiza en presencia o ausencia de oxígeno, respectivamente. En el caso de los tratamientos aerobios se tienen tanques con sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de microorganismos y en los procesos anaerobios la agitación y un posible calentamiento se requiere sin acceso de oxígeno. Posteriormente se realiza la separación de los lodos producidos por cualquiera de los dos métodos.

Se proponen unidades de tratamiento secundario, las cuales deberán ser seleccionadas considerando factores técnicos que categorizarán a cada industria del sector lácteo particularmente como: costos de operación, área designada para el STAR, caudal, condiciones ambientales, entre otros.

Tabla XLI. **Unidades de tratamiento propuestas para el tratamiento secundario del agua residual del sector lácteo guatemalteco**

Unidad	Aplicación
Floculación	Aglomeración de partículas para la formación de flóculos.
Coagulación	Aglomeración de partículas de tamaño coloidal y flóculos para la formación de coágulos. En esta operación se sedimentan por acción natural los coágulos y el agua residual puede separarse por medio de rebalse.
Filtro percolador	El agua residual se vierte uniformemente sobre el lecho del filtro a través de los distribuidores rotativos atraviesa todo el material permeable hasta llegar al fondo perforado donde es recolectada. Tiene como ventaja que presenta bajos costos de operación, sin embargo, tiene como desventaja que presenta baja remoción de nitrógeno y fósforo.
Lodos activados	El agua residual es mezclada con oxígeno y microorganismos con el objetivo de acelerar el proceso natural de biodegradación de materia orgánica. El sistema de aireación dependerá de la profundidad del tanque de aireación, la necesidad del diseño de una planta compacta y la capacidad de la PTAR. Este proceso presenta alta eficiencia, sin embargo, involucra altos costos de operación, debido al proceso de aireación.
Reactores UASB	Los reactores UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket System) son reactores anaeróbicos de flujo ascendente, los cuales tienen como ventaja presentar bajo consumo energético, sin embargo, tienen como desventaja que no presentan remoción de nitrógeno y fósforo.

Continuación de la tabla XLI.

<p>Sistemas de lagunaje aerobio</p>	<p>Las lagunas aerobias o de maduración son lagunas de muy poca profundidad (entre 0,7 y 1,1 m), en las que se presenta muy poca demanda de oxígeno y una tasa alta de actividad fotosintética; por esta razón, predominan los fenómenos de foto-oxidación y asimilación celular de nutrientes. Suelen ser lagunas de pulimento en la eliminación de la carga orgánica y de patógenos y nutrientes (fósforo y nitrógeno) que pueden causar inconvenientes de hipereutrofización en cuerpos hídricos de baja velocidad.</p>
<p>Sistema de lagunaje anaerobio</p>	<p>Las lagunas anaerobias tienen entre 3 a 5 m de profundidad. Generalmente, es el primer reactor del sistema de lagunaje y recibe el agua residual bruta, después de haber pasado por el pretratamiento. Allí se presenta la mayor parte de la sedimentación de la materia orgánica, por lo que se presenta una alta demanda de oxígeno disuelto que sumada a la poca superficie de intercambio y gran profundidad, condiciona el predominio de los fenómenos de tipo anaerobio.</p>

Fuente: elaboración propia.

4.5.4. Tratamiento terciario

En el tratamiento secundario se elimina la materia orgánica disuelta y en estado coloidal, sin embargo, en la mayoría de tratamientos secundarios no se elimina la materia orgánica no carbónica (como el nitrógeno y fósforo presente

en las aguas residuales del sector lácteo), por lo cual será necesario implementar un tratamiento terciario. En el tratamiento terciario se emplean tipos de tratamientos físicos y químicos con los que se consigue limpiar las aguas de parámetros específicos, que para el efluente lácteo será el fósforo y el nitrógeno a través de la remoción de nutrientes, el cual se realiza por la precipitación química o biológica.

Tabla XLII. **Unidades de tratamiento propuestas para el tratamiento terciario del agua residual del sector lácteo guatemalteco**

Fase	Descripción
Remoción de nutrientes	<p>La remoción del nitrógeno, por lo general, se realiza mediante la oxidación biológica del nitrógeno, del amoníaco a nitrato; y entonces mediante la reducción, el nitrato es convertido al gas nitrógeno donde finalmente es expulsado a la atmósfera. Para retirar el fósforo por acción biológica se pueden adicionar al agua microorganismos llamados <i>polyphosphate</i> que absorben y acumulan dentro de ellos grandes cantidades de fósforo, además el fósforo, también puede ser removido por precipitación química, añadiendo sales de hierro o de aluminio.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Compendio de unidades de tratamiento propuestas para el STAR del sector lácteo guatemalteco y parámetros reducidos**

Tipo de tratamiento	Unidad de tratamiento propuesta	Parámetros reducidos
Pretratamiento	Separación de sólidos gruesos	MF
	Separación de sólidos finos	SST, MF
	Trampas de grasa y aceite	G y A
	Tanque de homogenización	T, pH
	Ajuste de pH	pH
Tratamiento primario	Tanque tipo Imhoff	SST, MF, N total, P total, DBO _{5,20} , DQO
	Fosa séptica	SST, MF, N total, P total, DBO _{5,20} , DQO
	Biodigestor	SST, MF, N total, P total, DBO _{5,20} , DQO
Tratamiento secundario	Coagulación	SST, MF
	Floculación	SST, MF
	Filtro percolador	SST, MF, N total, P total, DBO _{5,20} , DQO
	Lodos activados	DBO _{5,20} , DQO, N total, P total, color, CF
	Reactores UASB	DBO _{5,20} , DQO, color, CF
	Sistemas de lagunaje	DBO _{5,20} , DQO, N total, P total, color, CF
Tratamiento terciario	Remoción de nutrientes	N total, P total

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Determinación de procesos de generación de aguas residuales y análisis de materias primas para cada grupo industrial lácteo

Los procesos productivos de las industrias ubicadas en el área metropolitana del sector de lácteos, se catalogaron de acuerdo a seis grupos industriales determinados en el CIIU, estos procesos incluyen la elaboración de:

- Leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas.
- Crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada.
- Mantequilla.
- Yogur.
- Queso y cuajada.
- Helados.

Los seis grupos industriales se analizaron de acuerdo a su materia prima, proceso de producción, producto terminado, principales procesos de generación de aguas residuales y unidades de tratamiento de agua residual. El análisis para cada grupo industrial se compiló mediante su diagrama de proceso y detalle de materias primas, productos y subproductos de los mismos; dichos diagramas se encuentran en las figuras del número 22 a la 27. Se procederá a describir los principales subprocesos de producción de cada grupo industrial, en donde se hará énfasis en los de mayor generación de agua residual y se describirá el origen de los vertidos.

5.1.1. Proceso de producción de la leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas

El proceso de elaboración de la leche fresca líquida consiste desde la recepción de la leche cruda hasta los procesos en los cuales se eliminan partículas o coágulos de grasa no deseados en la leche, para luego pasar a un tratamiento térmico, el cual puede variar acorde a la industria y al tiempo de vida que se le desee brindar a la leche, luego pasa a ser envasada. Los subprocesos anteriormente descritos se exponen en las secciones de la 5.1.1.1. a la 5.1.1.8.

5.1.1.1. Recepción y almacenamiento de la leche

En este proceso se recibe, verifica y registra el peso o volumen de la leche en las plantas y estaciones de recepción, la leche, generalmente se transporta en camiones cisterna o en tanques, en la mayoría de las plantas muestreadas al ser recibida la leche se realizan análisis de calidad y determinación del contenido graso y proteico de la leche. Luego se conduce a través de una bomba, manguera y tuberías sanitarias previamente lavadas y sanitizadas hacía los tanques donde se almacena a temperaturas entre los 4 y 5 grados centígrados hasta su entrada en línea.

Se determinó que en esta etapa se genera agua residual debido a pérdidas de leche en las operaciones de vaciado y llenado de los depósitos, limpieza de los camiones, mangueras, conducciones y depósitos. Si estas pérdidas llegan a los sistemas de evacuación de aguas residuales se aumenta la carga orgánica presente en las mismas.

5.1.1.2. Filtración

En el proceso de filtración se eliminan las partículas más groseras de la leche, tanto orgánicas como inorgánicas, que pueda contener la leche tras el ordeño o debido al transporte.

5.1.1.3. Clarificación

En el proceso de clarificación, las industrias buscan eliminar las partículas orgánicas e inorgánicas y los aglomerados de proteínas; en este procedimiento se asegura la máxima limpieza de la leche al eliminar la mayor parte de macropartículas. En las industrias muestreadas esta operación se realiza utilizando centrifugas, donde se separan todo el contenido físico no deseado con un peso específico superior al de la leche.

La operación de clarificación genera aguas residuales por pérdidas de leche y por lodos de clarificación formados por partículas de suciedad, componentes sanguíneos, gérmenes y por otras sustancias, principalmente de tipo proteico. Si estos residuos son vertidos en el efluente final pueden afectar directamente el medio receptor.

5.1.1.4. Homogenización

En las industrias visitadas se determinó que el proceso de homogenización se puede realizar antes o después del tratamiento térmico, este proceso se aplica a la leche o crema para reducir el tamaño de los glóbulos de grasa. La finalidad de la operación es favorecer una distribución uniforme de la materia grasa y evitar el ascenso de la grasa a la superficie.

5.1.1.5. Descremado y estandarización

El descremado tiene como finalidad remover total o parcialmente el contenido de grasa de la leche. Se utiliza la descremadora que realiza la operación por centrifugación. En las industrias lácteas analizadas se observó que se obtienen tres subproductos de este proceso, leche descremada, crema y grasa de la leche. Generalmente se realiza una estandarización del contenido graso de la leche, y la crema sobrante se destina a la elaboración de otros productos como crema para consumo o mantequilla.

En esta operación se generan lodos, los cuales si son vertidos en el efluente final, afectarían los parámetros del cuerpo receptor. Estos lodos tienen un contenido menor de componentes sanguíneos y bacterias que en el caso de los lodos de clarificación.

5.1.1.6. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico destruye todos los agentes microbianos causantes de enfermedades al hombre y microorganismos saprófitos, que por lo general, afectan la calidad de la leche y sus subproductos. Se observó que en las industrias lácteas muestreadas del área metropolitana, en su mayoría se prefiere el uso de la esterilización (proceso UHT), porque garantiza una mayor inocuidad de la leche y permite prolongar el tiempo de vida de la misma siempre y cuando se realice un envasado aséptico, sin embargo, el proceso de pasteurización es el de mayor uso en pequeñas industrias.

Es importante mencionar que en el tratamiento térmico se da consumo de agua y generación de condensados, el volumen de los mismos dependerá del sistema empleado.

5.1.1.7. Almacenamiento en cámaras frigoríficas

Luego de realizar el tratamiento térmico se procede a su refrigeración y almacenamiento en tanques hasta su envasado. Este almacenamiento permite controlar la calidad de la leche antes de su envasado e independizar esta etapa del proceso de producción. En el almacenamiento refrigerado se puede producir agua residual debido a posibles pérdidas de leche que pueden darse durante su estancia en los tanques de almacenamiento.

5.1.1.8. Envasado

El envasado es la última etapa del proceso y consiste en el llenado en condiciones asépticas de los envases con el producto. Los tipos de envases más habituales para la leche con los de vidrio, plástico y cartón. En la operación de envasado se puede generar agua residual, porque en ocasiones se producen pérdidas de producto que se eliminan en las operaciones de limpieza.

5.1.2. Proceso de producción de crema a partir de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada

El proceso de producción de crema inicia con los procesos para obtener la leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada u homogeneizada, por lo que llevará todos los subprocesos descritos en las secciones 5.1.1.1. a la 5.1.1.6. luego la leche pasa a la descremadora, la cual permite obtener leche descremada y crema. Para prolongar el tiempo de vida de la crema y eliminar los microorganismos patógenos se le da un tratamiento térmico, luego se desodoriza y se envasa. Los subprocesos de elaboración anteriormente descritos, se presentan de la sección 5.1.2.1. a la 5.1.2.4.

5.1.2.1. Descremado

El descremado tiene como finalidad remover total o parcialmente el contenido de grasa de la leche a través de la descremadora que realiza la operación por centrifugación, dando como resultado leche descremada, crema y grasa de la leche. La crema que no se utiliza para la normalización de la leche, se destina a la elaboración de otros productos como mantequilla o crema para consumo, que puede ser pura o una mezcla con grasa de la leche obtenida. La operación de descremado genera aguas residuales si los lodos o fangos producidos por el proceso de separación de la crema por centrifugación son vertidos en el efluente final.

5.1.2.2. Tratamiento térmico de la crema

Las temperaturas de pasteurización de la crema oscilan entre los 95 y 110 grados centígrados. Se determinó en el muestreo que cuanto mayor es el contenido de grasa más alta debe ser la temperatura de pasteurización. A las cremas esterilizadas y UHT se les da un período de vida de hasta doce meses y las pasteurizadas de veinticinco días. Es importante recordar que en el tratamiento térmico se da consumo de agua y generación de condensados, pero la cantidad de los mismos es en función del sistema de tratamiento térmico empleado.

5.1.2.3. Desodorización de la crema

La desodorización de la crema consiste en la eliminación de parte de las sustancias aromáticas de la grasa que pueden posteriormente transmitir olores o sabores extraños a los productos finales y reduce también, la oxidación de los ácidos grasos y el crecimiento de microorganismos aerobios indeseables,

esta operación se puede realizar antes y/o después de la pasteurización. Se observó en las industrias analizadas que esta operación se realiza en tanques de cocción con una superficie abierta de chapa ondulada en la que se aprovecha la temperatura con la que llega la crema del pasteurizador. En el proceso de desodorización se genera como residuo vapor de agua.

5.1.2.4. Envasado

Para el envasado de la crema se utilizan envases de plásticos (poliestireno) o de cartón con capas de plástico o laminado de aluminio.

5.1.3. Proceso de producción de mantequilla

El proceso de elaboración de mantequilla inicia con las operaciones de descremado, tratamiento térmico y desodorización, desarrolladas previamente en el proceso de elaboración de la crema en las secciones 5.1.2.1, 5.1.2.2 y 5.1.2.3., respectivamente. La producción de la mantequilla es a partir de la maduración y batido de la crema, luego es amasada y empacada, dichos subprocesos se exponen en las secciones de la 5.1.3.1 a la 5.1.3.4.

5.1.3.1. Maduración

La maduración de la crema tiene como objetivo cristalizar los glóbulos de grasa y obtener determinadas características de aroma y sabor a través de una fermentación seleccionada con una acidez del medio y con una temperatura relativamente baja. La maduración en las industrias muestreadas se realiza en tanques equipados con un agitador y a veces con camisa externa de aislamiento para mantener las condiciones de temperatura requeridas en esta

etapa. La temperatura variará según las fases de la maduración, por lo que el control de la temperatura es importante en esta etapa.

5.1.3.2. Batido

El batido de la crema madurada produce una gran fuerza de cizallamiento que rompe la envoltura de los glóbulos grasos y permite su unión, de manera que al final de la operación se obtienen dos fases; una de grasa compuesta por grumos de mantequilla, y una acuosa, que usualmente se le denomina mazada o suero de mantequilla, si este suero se descarta junto con las aguas residuales generadas en la industria se puede afectar los parámetros del medio receptor.

5.1.3.3. Amasado

El amasado tiene como objetivo obtener una masa compacta a partir de los granos de mantequilla, ajustar el contenido en agua y mezclar de forma homogénea los aditivos que en su caso se puedan añadir (sal, aromas). Es importante agregar, que durante esta operación se puede aplicar vacío para eliminar el aire ocluido en el producto.

5.1.3.4. Empaque

El empaque debe proteger la mantequilla de la luz, prevenir la oxidación y ser resistentes al vapor de agua para evitar que se seque la superficie y puedan producirse cambios en la coloración. Los materiales más utilizados son: papel u hoja de aluminio laminado con papel vegetal o papel resistente a la grasa.

5.1.4. Proceso de producción del yogur

La elaboración de yogur inicia con las etapas de: recepción y almacenamiento de la leche, filtración, clarificación, homogenización y tratamiento térmico, operaciones que fueron descritas anteriormente en las secciones 5.1.1.1., 5.1.1.2., 5.1.1.3., 5.1.1.4. y 5.1.1.6., respectivamente. Tras estas operaciones, se procede a la estandarización de la materia grasa, ya sea eliminando crema hasta obtener el porcentaje graso requerido o bien mezclando en la proporción adecuada leche entera y leche descremada.

5.1.4.1. Enfriamiento

El enfriamiento, después del tratamiento térmico es necesario para conseguir una temperatura óptima para la posterior inoculación del cultivo y el desarrollo de bacterias lácticas.

5.1.4.2. Inoculación

En la inoculación se siembra el cultivo (*Lactobacillus bulgáricus* o *Streptococcus thermophilus*), según el tipo de yogur a producir firme o líquido. Se debe mezclar muy bien y extremarse las medidas higiénicas con el fin de evitar una contaminación en el producto. En las industrias lácteas muestreadas se observó que según el tipo de yogur, la inoculación puede efectuarse en régimen de continuidad, dosificando el cultivo directamente en el caudal de leche antes del envasado o de forma discontinua añadiéndolo en el tanque de incubación.

5.1.4.3. Mezclado

En la operación de mezclado la leche se mezcla con los ingredientes, los cuales dependen de la industria en cuestión y del tipo de yogur a producir. Para

la mezcla de los ingredientes son recomendables los tanques provistos de agitadores, con el fin de asegurar una distribución adecuada de todos los ingredientes.

5.1.4.4. Envasado

El envasado puede realizarse antes o después de la incubación. Generalmente, para el envasado del yogur se utilizan envases de poliestireno con tapas laminadas de aluminio recubierto de polietileno sellable con calor. Se observó que durante esta etapa se pueden producir vertidos por pérdidas de producto que se eliminan con las aguas residuales en las operaciones de limpieza.

5.1.4.5. Incubación

En el proceso de incubación los microorganismos fermentativos metabolizan la lactosa produciendo ácido láctico; este fenómeno hace que el pH descienda, produciéndose la coagulación de la caseína. Según el producto a elaborar y el tipo de instalación disponible este proceso puede realizarse de las siguientes maneras: incubación en los envases (fabricación de yogur firme), incubación discontinua en tanques (preferentemente para la fabricación de yogures batidos o firmes si se utilizan estabilizadores, más eficiente desde el punto de vista económico y energético), incubación continua (tecnología avanzada y costosa, ventajas desde el punto de vista productivo y energético).

5.1.4.6. Enfriamiento

El enfriamiento del yogur paraliza las reacciones fermentativas, evitando que el yogur siga acidificándose. Dependiendo del tipo de sistema de

incubación utilizado, se observaron dos sistemas de refrigeración principales: túneles de enfriamiento (cuando la incubación se realiza en el propio envase) e intercambiadores de placas (cuando el enfriamiento se produce luego de la incubación y antes del envasado).

5.1.5. Proceso de producción del helado

El proceso productivo de la elaboración del helado se inicia con la recepción y almacenamiento de la leche, para luego darle un tratamiento térmico que permita la eliminación de microorganismos patógenos, dichas operaciones han sido descritas anteriormente en las secciones 5.1.1.1. y 5.1.1.6, respectivamente.

5.1.5.1. Estandarización

La estandarización se utiliza para normalizar el contenido graso que debe contener la mezcla base del helado, para esto realizan cálculos e incorporan la cantidad de grasa necesaria. En las industrias muestreadas se determinó que para realizar el cálculo de la estandarización deben tomar en cuenta todos aquellos ingredientes que contribuyen al contenido graso de la mezcla, tales como: la misma leche, crema, yemas de huevo y otras fuentes de grasa utilizadas.

5.1.5.2. Mezclado de la mezcla base del helado

En este proceso los ingredientes se pesan y se dosifican de acuerdo a una fórmula prefijada por cada industria, para pasar a un tanque de mezcla en el cual la mezcla base, formada por los ingredientes básicos (leche, crema, mantequilla, azúcar, glucosa, grasas diversas, suero en polvo, estabilizadores, etc.) se mezcla, se agita y se calienta simultáneamente. Se observó que

durante el mezclado se pueden producir aguas residuales debido a fugas o derrames.

5.1.5.3. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico de la mezcla tendrá como objetivo principal la eliminación de microorganismos patógenos en la mezcla base que pueden producir intoxicaciones o transmitir enfermedades al consumidor. Este proceso fue descrito anteriormente en la sección 5.1.1.6.

5.1.5.4. Homogenización

La homogenización rompe los grandes glóbulos grasos en glóbulos más pequeños y de tamaño más uniforme, para asegurar una dispersión homogénea de los mismos en toda la mezcla base, esta es estabilizada con ayuda de agentes estabilizantes y emulsionantes que evitan una eventual reagrupación de los glóbulos grasos y la separación de fases (acuosa y grasa). Según las industrias lácteas del área metropolitana muestreadas se estableció que este proceso tiene varios efectos beneficiosos en la calidad del producto final, como: distribución uniforme de la grasa, color más brillante y atractivo, mayor resistencia a la oxidación y helados con mejor cuerpo y textura.

5.1.5.5. Maduración de la mezcla

Luego que la mezcla ha sido homogeneizada y pasteurizada, se conduce a tanques de almacenamiento refrigerados (a temperaturas bajas sin congelar) aproximadamente por un período de 3-4 horas. Durante este tiempo se consiguen cambios beneficiosos en la mezcla como:

- Cristalización de la grasa.
- Las proteínas y los estabilizadores añadidos tienen tiempo de absorber agua, con lo que el helado será de buena consistencia.
- La mezcla absorberá mejor el aire en su batido posterior.
- El helado obtenido tendrá mayor resistencia a derretirse.

5.1.5.6. Adición de ingredientes del helado

Al terminar la maduración se adicionan los ingredientes finales del helado a la mezcla base, estos ingredientes dependerán de la formulación utilizada por cada industria, tales como: colorantes, sabores, ingredientes sólidos (pasas, almendras, coco rallado, etc.), los cuales se incorporan inmediatamente antes de iniciar el congelamiento, o bien, algunas industrias lo colocan durante el congelamiento (dependiendo de las características del equipo: continuo o por lotes). En la adición de ingredientes finales se pueden producir aguas residuales si existiesen fugas o derrames del producto.

5.1.5.7. Congelación y aireación de la mezcla

La congelación-aireación es una de las etapas que más influyen en la calidad del helado final. En esta etapa se realizan dos importantes funciones:

- Incorporación de aire por agitación vigorosa de la mezcla, hasta conseguir el cuerpo deseado.
- Congelación rápida del agua de la mezcla, de forma que se formen pequeños cristales.

Se observó que cuando la congelación se realiza de forma rápida, los cristales formados son pequeños, lo que da una mejor textura al helado final.

5.1.5.8. Envasado

Las heladerías industriales observadas disponen, a partir de los congeladores, de líneas de envasado que se pueden clasificar en:

- Envasado de conos.
- Envasado de copas.
- Envasado de bloques.
- Envasado de helados a granel.
- Producción de barritas.

En las cuatro primeras líneas mencionadas el envasado sigue un endurecimiento de helado en un túnel de congelación. En el caso de las barritas, el endurecimiento se hace en la propia máquina llenadora.

5.1.5.9. Endurecimiento

Una vez que los helados han sido envasados y empaquetados en cajas de cartón, es necesario su endurecimiento, ya que debido a las manipulaciones del producto la temperatura sube, incluso por encima de 0 grados centígrados y es necesario que en el centro del helado se alcancen temperaturas de al menos, -23 grados centígrados. Para conseguirlo se puede recurrir a varios sistemas: cámaras frigoríficas a baja temperatura con y sin circulación forzada de aire (donde se introducen las cajas de helados y se dejan allí apiladas), túneles de congelación con sistema de transporte y los túneles criogénicos (los paquetes de helado salen y entran continuamente).

5.1.6. Proceso de producción de queso

Se determinó que el proceso productivo del queso da inicio con la recepción de la leche, filtración y clarificación de la misma, estos subprocesos fueron detallados en las secciones 5.1.1.1, 5.1.1.2 y 5.1.1.3 respectivamente. Las operaciones de filtración y clarificación se realizan con el objetivo de eliminar todo tipo de impurezas y parte de las bacterias y esporas.

5.1.6.1. Estandarización

La estandarización es función del tipo de queso a elaborar y consiste en estandarizar la relación de la materia grasa con la materia proteica de la leche recibida. Cada tipo de queso tiene características propias de composición con relación a la grasa. En las industrias visitadas se observó que se utiliza como materia prima leche entera, descremada obtenida por el proceso de descremado o leche semidescremada producto de la estandarización de la leche.

5.1.6.2. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico permite obtener quesos con sabor y aroma más puro, ya que según las industrias visitadas se pueden controlar más fácilmente los métodos de producción y la velocidad de maduración, además se obtienen productos de más larga conservación y con calidad superior. El subproceso del tratamiento térmico se detalla en la sección 5.1.1.6. del presente documento.

5.1.6.3. Bactofugación

La bactofugación es el subproceso realizado en una centrífuga de alta velocidad para eliminar bacterias formadoras de esporas que desprenden ácido butírico e hidrógeno, causantes de malos olores en el queso y destrucción de su estructura, respectivamente. Estas bacterias no pueden eliminarse en el tratamiento térmico, ya que si se sube la temperatura y se mantiene por más tiempo se puede perjudicar la calidad final de los quesos.

5.1.6.4. Coagulación

La operación de coagulación se basa en el cambio de la leche en estado líquido (suspensión) al estado sólido (gel) por la precipitación de la caseína. Durante la etapa de coagulación se pueden producir pérdidas o derrames de leche debido al manejo de la misma. Se determinó que en las industrias lácteas del sector guatemalteco se elabora el proceso de coagulación se realiza por tres vías distintas: vía ácida, enzimática o mixta.

5.1.6.4.1. Coagulación ácida

La coagulación ácida es usada para producir quesos blandos, frescos, o madurados, con fermentación en la superficie. Para coagular la leche por medio de acidificación, se pueden utilizar ciertos cultivos de bacterias que fermentan la lactosa con producción de ácido láctico y, generalmente, se utilizan mezclados con bacterias que fermentan el ácido cítrico y citratos con producción de elementos de aroma. La formación de ácido reduce el pH de la leche y al alcanzar un valor entre 4.5 y 4.7 a 22 grados centígrados, se observa la precipitación de la caseína que queda en un estado de suspensión en la fase líquida (lactosuero).

5.1.6.4.2. Coagulación enzimática

La coagulación enzimática es el sistema de coagulación más empleado en la elaboración de queso en el sector lácteo del área metropolitana, la misma se produce mediante la adición de enzimas tipo proteasas. La velocidad de coagulación y las características de la cuajada son afectadas por la acidez de la leche (pH), la concentración de las sales solubles de calcio (iones libres), la concentración de la caseína y fosfato coloidales, la temperatura de coagulación y la temperatura de conservación y de tratamiento de la leche.

5.1.6.4.3. Coagulación mixta

La coagulación mixta es el resultado de la acción conjunta del cuajo y la acidificación láctica. La obtención de un gel mixto puede realizarse adicionando cuajo a una leche ácida o acidificando un gel enzimático.

5.1.6.5. Corte y desuerado

El corte de la cuajada tiene por finalidad provocar y acelerar la salida del lactosuero (desuerado). El desuerado depende del tipo de coagulación empleada, debido a que si la cuajada se obtuvo por medio de coagulación ácida se tiene una cuajada más húmeda y poco desuerada, y si la cuajada fue obtenida por medio de coagulación enzimática, esta no desuera al dejarla en reposo, por lo que para la salida del lactosuero es necesario realizar acciones mecánicas, cortando la cuajada para conseguir multiplicar la superficie de exudación. Se observó que la separación del lactosuero se puede facilitar mediante tratamientos térmicos y mecánicos, según el tipo de queso deseado.

En algunas de las industrias lácteas visitadas se observó que en este proceso es donde se da la mayor generación de vertidos líquidos por derramamientos de suero láctico. Asimismo, se determinó por medio de formularios de inspección que las industrias muestreadas utilizan este suero para diferentes propósitos, tales como: elaboración de requesón, preparación de queso mozzarella; lo venden para alimentación de ganado porcino o se descarta junto con el resto de aguas residuales.

5.1.6.6. Moldeo y prensado

El moldeo tiene por finalidad dar al queso determinada forma y tamaño de acuerdo con sus características y, de cierto modo, de acuerdo con la tradición y las exigencias del mercado. En las industrias visitadas el proceso de prensado se realiza para separar un poco más el suero y compactar la masa dándole mayor consistencia al producto final. La intensidad de la presión ejercida y su duración variará en función del tipo de queso. Durante el prensado, también se produce la salida del lactosuero de la masa del queso, aunque la cantidad de lactosuero generado es menor que en el desuerado.

La forma de realización del moldeo y prensado depende de gran manera de la industria y el tipo de queso que se desea elaborar. Se pudo observar en algunas de las industrias lácteas visitadas que para la elaboración del queso fresco y de capas, el proceso de moldeo y prensado se realiza de forma manual. Sin embargo, para la elaboración del queso duro, el proceso de moldeo se realizó de forma manual y el proceso de prensado por medios mecánicos.

5.1.6.7. Salado

La salazón del queso se efectúa para impartirle cualidades de sabor que lo hacen más apetecible, dar al producto mayor conservación, inhibir o retardar el desarrollo de microorganismos indeseables y seleccionar la flora normal del queso. El queso se puede salar utilizando salmueras o sal seca. En la etapa de salado se produce el consumo de agua para la formación de la salmuera y el vertido puntual de estas una vez se agotan. En el caso de realizarse esta operación mediante la aplicación de sal seca sobre la superficie del queso, se producen restos de sal que se retiran con las aguas de limpieza. Esto produce un vertido de elevada conductividad.

5.1.6.8. Maduración

La maduración del queso se realiza en las cámaras de maduración, donde se tiene un control de la temperatura y la humedad. En este subproceso se tienen procesos físicos, microbiológicos y enzimáticos, dando lugar a un producto acabado con unas determinadas características de aroma, sabor y textura.

5.2. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006

El cumplimiento de las industrias del sector lácteo del área metropolitana con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 se evaluó, utilizando los resultados de la caracterización de la muestra de agua residual y de forma comparativa se utilizaron los límites máximos permisibles establecidos por la cuarta etapa del A G 236-2006.

Para evaluar el cumplimiento, inicialmente se procedió a elaborar gráficas comparativas con los datos obtenidos por la caracterización de las muestras de aguas residuales, para cada grupo industrial establecido en el CIIU versión 3.1 y los límites máximos permisibles establecidos en la cuarta etapa de cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, dichas gráficas corresponden a las figuras del número 3 a la 21. Las figuras permiten de una forma visual categorizar por cada grupo industrial los rangos de valores para cada parámetro, además de determinar si los mismos se encuentran en el rango normado o sobrepasan el límite establecido por la cuarta y última etapa del A G 236-2006.

Los gráficos mencionados anteriormente se utilizaron como herramienta para determinar según los resultados de la caracterización del efluente de las industrias muestreadas los parámetros que deben ser monitoreados e identificados como prioritarios dado que presentan valores muy por encima de los establecidos por el A G 236-2006.

Se determinó que el pH, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales y color poseen valores superiores a la normativa ambiental vigente. Además se concluyó que los metales pesados como el arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y cinc se encuentran en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de forma general, ya que en las gráficas pueden observarse ciertos picos en lo que respecta al cadmio, cromo hexavalente y plomo.

Además, según los datos obtenidos por el muestreo se procedió a analizar independientemente las industrias que descargan hacia alcantarillado público y las de cuerpo receptor, ya que se establecen diferentes valores límite

en el A G 236-2006. Se realizaron muestreos a industrias seleccionadas del sector lácteo de la ciudad de Guatemala y se muestrearon en total 6 industrias, 3 que descargaban a cuerpo receptor y 3 que descargaban a alcantarillado público.

Para analizar el cumplimiento de las industrias muestreadas que descargan hacia un cuerpo receptor y a alcantarillado público se realizaron las tablas de la no. XXX a la no. XXXV en donde se indican los datos obtenidos en el monitoreo, los límites máximos permisibles de la cuarta etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y para cada parámetro se establece si cumplen o no cumplen con lo normado. Luego, se procedió a la elaboración de la tabla XXVI y XXVII en donde se coloca de forma porcentual la cantidad de empresas que cumplen con lo establecido en el acuerdo y adicionalmente se determinó el porcentaje de empresas que cumplen los parámetros internacionales.

Con respecto a las industrias muestreadas que descargan hacia un cuerpo receptor, se determinó que de las industrias analizadas el 100 por ciento cumplen los valores establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006, para los siguientes parámetros: pH, As, Cd, CN, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. Además, se observó que se tiene un cumplimiento del 0 por ciento para los parámetros de G y A, SST, DBO y color. En el caso del N total, P total y MF se observa un cumplimiento del 67 por ciento de las industrias, para el cromo hexavalente 50 por ciento de industrias y coliformes fecales solo un 33 por ciento de las industrias cumplen con dicho parámetro.

Para las industrias muestreadas que descargan hacia alcantarillado público, se determinó que el 100 por ciento de las industrias cumplen con los parámetros de pH, temperatura, N total, P total y coliformes fecales establecidos en el A G 236-2006, un 67 por ciento para G y A, MF, DBO y un 33

por ciento de industrias cumplen con el parámetro de coliformes fecales. Es importante mencionar que no se realizó la caracterización de aguas residuales de las industrias que descargaban a alcantarillado público en lo que respecta a metales pesados, por lo cual se procedió a recolectar información de estudios técnicos y de monitoreo de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas, con el objetivo de completar la información y obtener un análisis más preciso del sector de lácteos.

Asimismo, se procedió a elaborar gráficas que presentan los porcentajes obtenidos de cumplimiento tanto con el A G 236-2006 como con parámetros internacionales, figuras 28 y 29, en donde se puede observar que, de forma general se observa un mayor incumplimiento con los parámetros internacionales que con los nacionales, esto es debido a que para ciertos parámetros la normativa internacional es más restrictiva con los vertidos de aguas residuales.

Para obtener un análisis más detallado del cumplimiento por grupo industrial de estudio se procedió a elaborar las figuras 30 y 31 con todos los datos obtenidos, no solamente por el monitoreo sino por estudios técnicos y de monitoreo de la URHC del MARN.

En dichas figuras se establecen que se observa un alto cumplimiento para los parámetros de pH, temperatura y metales pesados. Es importante observar que en lo que respecta a metales pesados, solamente para el As, CN, Cu, Hg, Ni y Zn se tiene el 100 por ciento de cumplimiento para todos los grupos industriales, ya que para el cadmio se tiene un 50 por ciento de cumplimiento en los grupos industriales de elaboración de crema y mantequilla, para el cromo hexavalente solamente el grupo industrial de elaboración de helados presenta un 100 por ciento de cumplimiento, ya que el resto de grupos industriales

manifiesta un porcentaje menor al 70 por ciento y el plomo solamente para los grupos industriales de elaboración de leche líquida tratada térmicamente, de yogur y de helados se tiene el 100 por ciento de cumplimiento.

Debido a que los parámetros de cadmio, cromo hexavalente y plomo se encuentran con un porcentaje bajo de cumplimiento con el A G 236-2006 se considera que aunque con esta información no esté dentro del alcance de la presente investigación realizar un seguimiento al monitoreo de las concentraciones de cadmio, cromo hexavalente y plomo en el afluente y efluente, se considera que su presencia se puede deber al afluente, dado que los grupos industriales correspondientes a la elaboración de crema, mantequilla y queso que muestran incumplimiento en dichos parámetros, en su mayoría las industrias lácteas pertenecientes a estos grupos industriales obtienen su agua por medio de pozos propios por lo que la presencia de estos parámetros podría deberse a la calidad de su afluente, asimismo, otra posible causa es por las actividades de limpieza y desinfección. Debido a que la presencia de estos metales pesados es independiente de cada industria se recomienda que cada industria evalúe la fuente de dichos parámetros y establezca acciones correctivas.

En forma general se observa un bajo cumplimiento en todos los grupos industriales para los parámetros de grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total lo cual se debe a la naturaleza de los procesos y a las actividades de limpieza y desinfección como se estableció anteriormente.

5.3. Determinación de parámetros prioritarios considerando procesos de elaboración, materia prima y cumplimiento con parámetros establecidos por la cuarta etapa del A G 236-2006 y parámetros internacionales

La determinación de los parámetros prioritarios se realizó considerando diferentes criterios, tales como:

- Procesos con mayor generación de aguas residuales de los seis grupos industriales, identificando los parámetros presentes en cada efluente y los efectos dados por la composición de las materias primas.
- Procesos auxiliares y su efecto sobre las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.
- Cumplimiento de los parámetros con los límites permisibles establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006.

A partir de los seis diagramas de proceso elaborados, se realizó la tabla XXVIII, en la cual se plasmó un resumen de los procesos de producción y el diagrama de proceso, enfocándose, principalmente a los procesos con mayor generación de aguas residuales. En dicha tabla se procedió a identificar a cada grupo industrial, la materia prima utilizada, los principales procesos de generación de agua residual, la descripción de la procedencia del vertido líquido y los parámetros ligados a la naturaleza de las aguas residuales.

De acuerdo a toda la información recabada se determinó que todos los grupos industriales poseen poca generación de aguas residuales, a excepción de la elaboración de queso y la mantequilla. En lo que respecta a la producción del queso se tiene un gran volumen de generación de aguas residuales debido

a los subprocesos de corte, desuerado, moldeo y prensado que produce grandes volúmenes de lactosuero y en el proceso de elaboración de mantequilla se tiene la generación de la mazada (suero de la mantequilla) en la operación de batido y posterior lavado de los granos de mantequilla para eliminar los restos del suero.

Generalmente, las descargas de agua residual hechas en los procesos de producción del sector de lácteos proceden de derrames, pérdidas de materia prima o producto en proceso o terminado.

La materia prima principal de los seis grupos industriales es la leche cruda que está compuesta por agua, materia grasa, proteínas, carbohidratos (lactosa), calcio, minerales y sal. Contiene aproximadamente un 87 por ciento de agua, por lo que es una mezcla muy compleja y heterogénea en la cual los minerales y los carbohidratos se encuentran disueltos, las proteínas están en forma de suspensión y las grasas como pequeñas partículas insolubles en agua.

Dada la composición de la leche, se puede concluir que las pérdidas de leche, lactosuero o sus derivados lácteos como productos en proceso o terminados, arrojados al ambiente sin ningún tipo de tratamiento repercuten por su misma naturaleza, en la composición del agua residual lo cual incide en el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, materia flotante, color, grasas y aceites y color. Además, si el efluente tiene contacto con coliformes fecales, se tendrá un crecimiento bacteriano acelerado dado que el entorno provee todos los nutrientes y condiciones necesarias para su desarrollo y reproducción.

Además de las descargas de aguas residuales generadas durante los procesos de producción, se determinó que la procedencia de la mayor

generación de vertidos líquidos de los seis grupos industriales es dada por las operaciones auxiliares del sector de lácteos, conformadas por las aguas de refrigeración, calderas y operaciones de desinfección y limpieza.

Las aguas generadas por los procesos de refrigeración y calderas inciden, principalmente, en la temperatura de las aguas residuales y en los sólidos suspendidos totales y pH, debido al arrastre de minerales que puede darse por calcificaciones en los equipos.

Las operaciones de limpieza y desinfección afectan las características del agua residual, aportando, mayoritariamente, en el aumento de los parámetros de nitrógeno total, fósforo total y el potencial de hidrógeno (pH) debido al uso de detergentes y desinfectantes, que generalmente, por sus características son altos en nutrientes y producen vertidos de soluciones ácidas y básicas. Las operaciones de desinfección y limpieza son las que generan un mayor impacto en la naturaleza de las aguas residuales debido al transporte de residuos de los distintos procesos de producción a través del agua y por el empleo de detergentes, soda cáustica, ácido nítrico u otras sustancias químicas necesarias para desinfección e higienización de la maquinaria y utensilios.

En las tablas XXVI y XXVII se encuentran descritos los principales métodos de limpieza y desinfección utilizados en el sector de lácteos y, de forma más específica se elaboró la tabla número XXVIII, en la cual se tiene los principales métodos y/o procesos de limpieza y desinfección utilizados en las industrias de estudio presentes en el área metropolitana.

Es importante agregar que en algunas industrias utilizan como medio de limpieza y desinfección, agua caliente y vapor respectivamente, lo que también puede presentar un aumento en la temperatura de descarga de las aguas

residuales. Asimismo, por el arrastre de los restos de productos y subproductos lácteos, se tiene un aumento en los parámetros de grasas y aceites, $DBO_{5,20}$, DQO, materia flotante, sólidos suspendidos totales y color.

El cumplimiento con el A G 236-2006 se utilizó como herramienta para determinar según los resultados de la caracterización del efluente de las industrias muestreadas los parámetros que deben ser monitoreados e identificados como prioritarios dado que presentan valores muy por encima de los establecidos. Se determinó que el pH, temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales y color se deben considerar como prioritarios, debido a que los mismos poseen valores considerados como altos según la normativa ambiental vigente, lo cual puede afectar los cuerpos de agua si se descargan sin ningún tipo de tratamiento.

Con respecto a las coliformes fecales se determinó que algunos resultados sobrepasan el límite establecido en el A G 236-2006, por lo que se establece como prioritario; sin embargo, mediante el análisis de los procesos productivos y materia prima de cada grupo industrial lácteo se determinó que el mismo no debería de estar presente por la naturaleza del proceso e insumos utilizados, dado a que son transferidas por contacto del efluente con excremento humano o de animales, la presencia de las mismas en las aguas residuales se debe a factores externos independientes para cada industria, por lo que se recomienda que las industrias del sector lácteo identifiquen la causa de su origen y tomen las medidas correctivas correspondientes.

Asimismo, el cadmio, cromo hexavalente y plomo presentaron ciertos valores pico que sobrepasaron el límite establecido por el A G 236-2006, sin

embargo, no se contaba con datos suficientes como para identificarlos como prioritarios. Por lo que se recomienda que a pesar de que dichos parámetros junto con las coliformes fecales, no deberían de considerarse como prioritarios por el análisis realizado posteriormente de la materia primaria y procesos productivos del sector de lácteos se propone un análisis más profundo de los mismos, como nuevo punto para un futuro trabajo de graduación.

Además se concluyó que los metales pesados como el arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y cinc, de forma general, se encuentran en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 lo cual es importante porque el sector de lácteos debe cumplir normativas especiales por producir productos alimenticios de consumo humano y es importante establecer que no se encuentran presentes en las aguas residuales de las industrias muestreadas ni en la materia prima, ya que si se llegasen a encontrar en el producto final pueden incidir negativamente en la salud del consumidor.

Asimismo, también se determinó en los resultados de la caracterización del efluente de las industrias lácteas muestreadas, que en su mayoría, la concentración de los metales pesados están por debajo del límite de detección de los equipos de análisis; lo cual reafirma la conclusión que los mismos no deben ser considerados como parámetros prioritarios para el análisis del efluente de las industrias del sector de lácteos.

Luego de evaluar el cumplimiento con el A G 236-2006 se compiló dicha información con el análisis de los procesos productivos y materia prima utilizada para cada grupo industrial. Lo que conllevó a realizar la tabla XXIX, la cual se elaboró utilizando la información de los subprocesos con mayor generación de aguas residuales con respecto al parámetro que deberá ser analizado debido a

las características físicas, químicas y biológicas del agua residual de cada subproceso. A partir de este análisis se procedió a elaborar la tabla XXII, en la cual se colocó cada parámetro y las principales fuentes encontradas de generación para dicho parámetro en los procesos productivos.

Por lo tanto, se concretó a partir de los datos del muestreo de aguas residuales, el cumplimiento con el A G 236-2006 y normativa internacional, análisis de materia prima, estudio de los procesos productivos de cada grupo industrial del sector de lácteos y los subprocesos con mayor generación de agua residual que los parámetros definidos como prioritarios basados en el A G 236-2006 son: pH, temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, DBO_{5,20}, DQO, nitrógeno total, fósforo total, color y coliformes fecales. Excluyendo de esta manera a los metales pesados como el arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y cinc

5.4. Identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y propuesta de unidades de tratamiento para el sector de lácteos

Para la identificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el sector de lácteos se procedió a elaborar la figura 22 con información obtenida por formularios de inspección y estudios técnicos y de monitoreo de la URHC del MARN.

En la figura 32 se identifican los porcentajes totales de los sistemas de tratamiento de agua residual identificados para las industrias muestreadas del área metropolitana, para lo cual se determinó que el 25 por ciento de las industrias no cuentan con ningún tipo de tratamiento de aguas residuales, y un 40 por ciento únicamente aplica un pretratamiento, el cual en su mayoría como

puede observarse en la figura 33 está conformado por trampas de grasa en un 28 por ciento, sistemas de decantación 4 por ciento, tamices 4 por ciento, tanque de homogeneización 4 por ciento y separación de sólidos gruesos en un 8 por ciento.

Además, el 25 por ciento de las industrias aplican un tratamiento primario, el cual se conforma de la sedimentación por gravedad 8 por ciento, fosa séptica 12 por ciento y tanque Imhoff 12 por ciento de las industrias. Con lo que respecta a un tratamiento secundario, solamente el 10 por ciento de las industrias lo aplican en el tratamiento de sus aguas residuales y según las industrias monitoreadas el 4 por ciento posee filtro biológico y el 4 por ciento laguna de sedimentación. Se determinó que ninguna industria muestreada realiza algún tipo de tratamiento terciario.

Con base en los resultados obtenidos, con respecto a la caracterización de aguas residuales de las industrias seleccionadas se puede determinar que los STAR empleados, actualmente, no son los suficientes o adecuados para el tratamiento de sus descargas, ya que en su mayoría para los parámetros determinados como prioritarios se tiene un incumplimiento con los límites máximos permisibles establecidos en la cuarta etapa del A G 236-2006.

Es importante para cada industria en particular, realizar el análisis de agua residual de los parámetros determinados como prioritarios y con base en los resultados obtenidos, determinar con asesoría el STAR más eficiente que se adecúe a específicamente a la industria en cuestión, considerando costos de instalación y operación, área designada para el STAR, caudal del efluente, condiciones ambientales, entre otros, para lograr decrementar las cargas de los parámetros en cuestión.

5.5. Propuesta de unidades de tratamiento para el sector de lácteos

El sector de lácteos posee gran variabilidad de procesos, con respecto a los seis grupos industriales analizados, se determinó que los resultados obtenidos por la caracterización de las aguas residuales dependen del caudal, de la cantidad de materia orgánica de los vertidos generados, el tipo de limpieza y desinfección utilizada, la tecnología empleada, el tipo de instalación, así como si se recuperan los subproductos para elaboración de otros productos o para otros usos.

Debido a la variabilidad existente no se puede elaborar un sistema único de tratamiento de agua residual para todas las industrias del sector lácteo, ya que se debe evaluar cada industria en particular, para determinar una solución adecuada para cada caso, sin embargo, sí es posible elaborar una propuesta de unidades de tratamiento de agua residual que son aplicables para la reducción de los parámetros determinados como prioritarios y considerar que los mismos cumplan con la cuarta etapa del A G 236-2006.

Las unidades propuestas para el pretratamiento tendrán como objetivo remover sólidos gruesos y finos, así como disminuir las grasas y aceites y regular el pH, con el objetivo de disminuir los parámetros de MF, SST y G y A, ya que según los porcentajes de cumplimiento se tiene que únicamente el 67, 33 y 33 por ciento de las industrias cumple con estos parámetros respectivamente. Asimismo, se procederá a nivelar la temperatura y pH acordes a lo establecido por el A G 236-2006.

Las unidades propuestas para el pretratamiento, como se puede observar en la tabla XXXIX, será colocar cribas para la separación de los sólidos gruesos con lo cual se reducirá la materia flotante y los sólidos

suspendidos totales, asimismo, se propone los tamices para eliminar los sólidos más finos como los restos de queso, cuajada, etc. Posteriormente, se propone realizar una separación de grasas y aceites para separar por medio de flotación natural las grasas y aceites presentes en la superficie. Luego se recomienda un tanque de homogeneización y ajuste de pH para amortiguar las variaciones que se pudiesen presentar en la temperatura y el pH, debido al tratamiento térmico o a los productos del proceso, limpieza y desinfección. Generalmente, se recomienda colocar un tanque de homogeneización porque regulariza el caudal del efluente, lo cual como su nombre lo indica, homogeneiza las características del agua residual.

El tratamiento primario tiene como objetivo eliminar una gran cantidad de sólidos suspendidos, así como lograr una reducción en la carga orgánica presente en el agua residual. Por lo que el objetivo de las unidades de tratamiento primario propuestas será reducir los parámetros de SST, MF, N total, P total, DBO y DQO, para lo cuales se determina que únicamente el 33, 67, 83, 83, 33 y 0 por ciento, cumplen con la cuarta etapa del A G 236-2006, respectivamente.

Con referencia a la tabla XL se propone como unidades de tratamiento primario el tanque tipo Imhoff, fosa séptica y el biodigestor, los cuales tienen en común que se realiza la transformación de la materia orgánica presente en el agua residual en gas metano y por sedimentación de partículas se producen lodos residuales ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, obteniendo como resultado agua residual con un menor contenido orgánico.

El tratamiento secundario tiene como objetivo reducir el contenido de materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales, se propusieron varias unidades de tratamiento que se recomiendan para la reducción de N

total, P total, DBO y DQO, color y coliformes fecales, los cuales presentan un cumplimiento para el color y coliformes fecales del 17 y 50 por ciento, respectivamente.

La cantidad de materia orgánica es característica para la industria de lácteos, por lo que se propuso como unidades de tratamiento de agua residual para el tratamiento secundario como se puede observar en la tabla XLI, la floculación y coagulación que, además de reducir la carga orgánica, disminuiría la cantidad de sólidos suspendidos totales por sedimentación natural. Asimismo, se propuso un filtro percolador que produce un decremento en la carga orgánica del agua residual, sin embargo, para el sector industrial en cuestión posee la desventaja de presentar una baja remoción de nitrógeno y fósforo, para lo cual sería necesario utilizar un tratamiento terciario más específico para las necesidades del sector.

Además, también se propuso como otra unidad de tratamiento secundario los lodos activados que disminuyen, de forma eficiente la carga orgánica, los nutrientes (N y P) a través de un proceso aerobio, sin embargo, posee la desventaja de que involucra altos costos de operación por los sistemas de aireación.

Se propuso también, los reactores Up Flow Anaerobic Sludge Blanket System, los cuales son reactores anaeróbicos los que presentan la ventaja de bajo consumo energético, pero no presentan remoción de nitrógeno y fósforo.

Por último, se propuso como otra unidad de tratamiento de agua residual el sistema de lagunaje aerobio o anaerobio, los cuales tienen como objetivo remover la carga orgánica y disminuir los nutrientes presentes en el agua a través de fenómenos aerobios o anaeróbicos, respectivamente.

Por último, se tiene el tratamiento terciario, el cual es específico para remover parámetros puntuales, para el sector de lácteos se tiene como objetivo disminuir la cantidad de N y P presentes en los efluentes, con referencia a la tabla XLIII se puede observar que el sistema propuesto para el tratamiento terciario es la remoción de nutrientes que se realiza por precipitación química o acción biológica.

Como se expuso con anterioridad en el presente trabajo, las fuentes de N y P se deben principalmente, a los derrames de suero o descarte de los mismos con las aguas residuales y los procesos de limpieza y desinfección utilizados en las industrias proporcionando un aumento en la carga de los parámetros con mayor representatividad del sector de lácteos. Por lo anteriormente expuesto se realizó la tabla XLIII, en la cual se puede observar por unidad de tratamiento el parámetro prioritario que se reducirá en el efluente.

CONCLUSIONES

1. Identificación de seis grupos industriales de producción en el sector lácteo guatemalteco del área metropolitana, los cuales consisten en la elaboración de leche fresca líquida tratada térmicamente, de queso, de crema, de mantequilla, de yogur y de helados.
2. La materia prima principal de los seis grupos industriales del sector de estudio es la leche cruda, a la cual se le agregan diversos ingredientes según el producto que se desee producir.
3. Los grupos industriales que presentan mayor generación de agua residual corresponden a los procesos de elaboración de queso y de mantequilla, debido a la generación de lactosuero en las operaciones de corte y desuerado y la generación de la mazada (suero de la mantequilla) en la operación de batido, respectivamente.
4. La generación de aguas residuales en los procesos de producción del sector de lácteos se presenta, principalmente debido a derrames, pérdidas de materia prima o producto en proceso o terminado.
5. Las operaciones de limpieza y desinfección son la fuente de mayor generación de agua residual en el sector de lácteos y son las que generan un mayor impacto en la naturaleza de las aguas residuales debido al transporte de residuos de los distintos procesos de producción y sustancias químicas.

6. Los once parámetros prioritarios para el sector de lácteos son: potencial de hidrógeno, temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, color y coliformes fecales debido a la composición de la materia prima, a los procesos productivos de cada grupo industrial y los subprocesos con mayor generación de agua residual, la caracterización del efluente de las industrias y de forma general el bajo cumplimiento con la cuarta etapa del A G 236-2006.
7. Los metales pesados y el cianuro total no son representativos para el análisis de las características del agua residual del sector de lácteos, dado a que no se encuentran presentes en la composición de la materia prima ni en los procesos productivos y, en su mayoría presentan valores bajos en la caracterización del agua residual, lo que conlleva a un alto cumplimiento con la cuarta etapa del A G 236-2006.
8. La presencia de coliformes fecales en el agua residual es ajena a la materia prima y a los procesos de producción del sector de lácteos, debido a que los mismos son transferidos por contacto del efluente con excremento humano o de animales su presencia es por factores externos al proceso productivo y debe ser determinado de forma particular para cada industria.
9. La propuesta elaborada de las unidades de tratamiento de agua residuales considera desde un pretratamiento hasta un tratamiento terciario, con el objetivo de reducir los parámetros determinados como prioritarios y considerar que los mismos cumplan con la cuarta etapa del A G 236-2006.

RECOMENDACIONES

1. Elaborar estudios para determinar los parámetros prioritarios de otros sectores industriales de importancia en el país, ayudará a tener un mejor control sobre las características del agua residual y su tratamiento.
2. Las autoridades competentes deben realizar estudios para identificar parámetros representativos de las descargas de agua residual del sector de lácteos y de otros sectores productivos importantes del país no incluidos en el A G 236-2006, tales como: la conductividad, las sustancias activas al azul de metileno, concentración de cloro, entre otros.
3. Las autoridades competentes deben incentivar a las industrias del sector de lácteos para que implementen, con carácter urgente, una política de producción más limpia para reducir el consumo de agua en los procesos industriales y operaciones de limpieza y desinfección, lo que a su vez, producirá una menor generación de aguas residuales y una mejora ambiental de los recursos hídricos del país.
4. Es importante implementar un tanque de captación de suero de todos los procesos, para evitar que el suero se descargue junto con las aguas residuales, ya que este aumenta la carga orgánica de la misma y dificulta su tratamiento, además de forma adicional se deben evaluar los posibles usos del lactosuero generado.

5. Las industrias del sector de lácteos deben realizar monitoreos para darle un seguimiento a las concentraciones de cadmio, cromo hexavalente y plomo tanto del afluente y del efluente para determinar si se encuentran presentes en sus aguas industriales y en caso afirmativo determinar posibles causas de origen y realizar acciones correctivas.
6. Proponer como un nuevo punto, para un futuro trabajo de graduación el estudio del sector de lácteos fuera del área metropolitana guatemalteca, para determinar si las concentraciones de cadmio, cromo hexavalente, plomo y coliformes fecales son superiores a los límites máximos permisibles del A G 236-2006, y en caso afirmativo se deben evaluar el origen de los mismos y realizar un plan de acciones correctivas para su disminución.
7. Las industrias del sector de lácteos deben evaluar la naturaleza de sus descargas y buscar asesoría para implementar un sistema de tratamiento de agua residual idóneo, para reducir los parámetros determinados como prioritarios y cumplir con las necesidades de cada industria en particular.
8. La Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales debe continuar las investigaciones en conformidad con el A G 236-2006, con el objetivo de mejorar la calidad de las aguas residuales del sector de lácteos a través de los procesos productivos y la debida aplicación de las normativas nacionales ambientales vigentes.

BIBLIOGRAFÍA

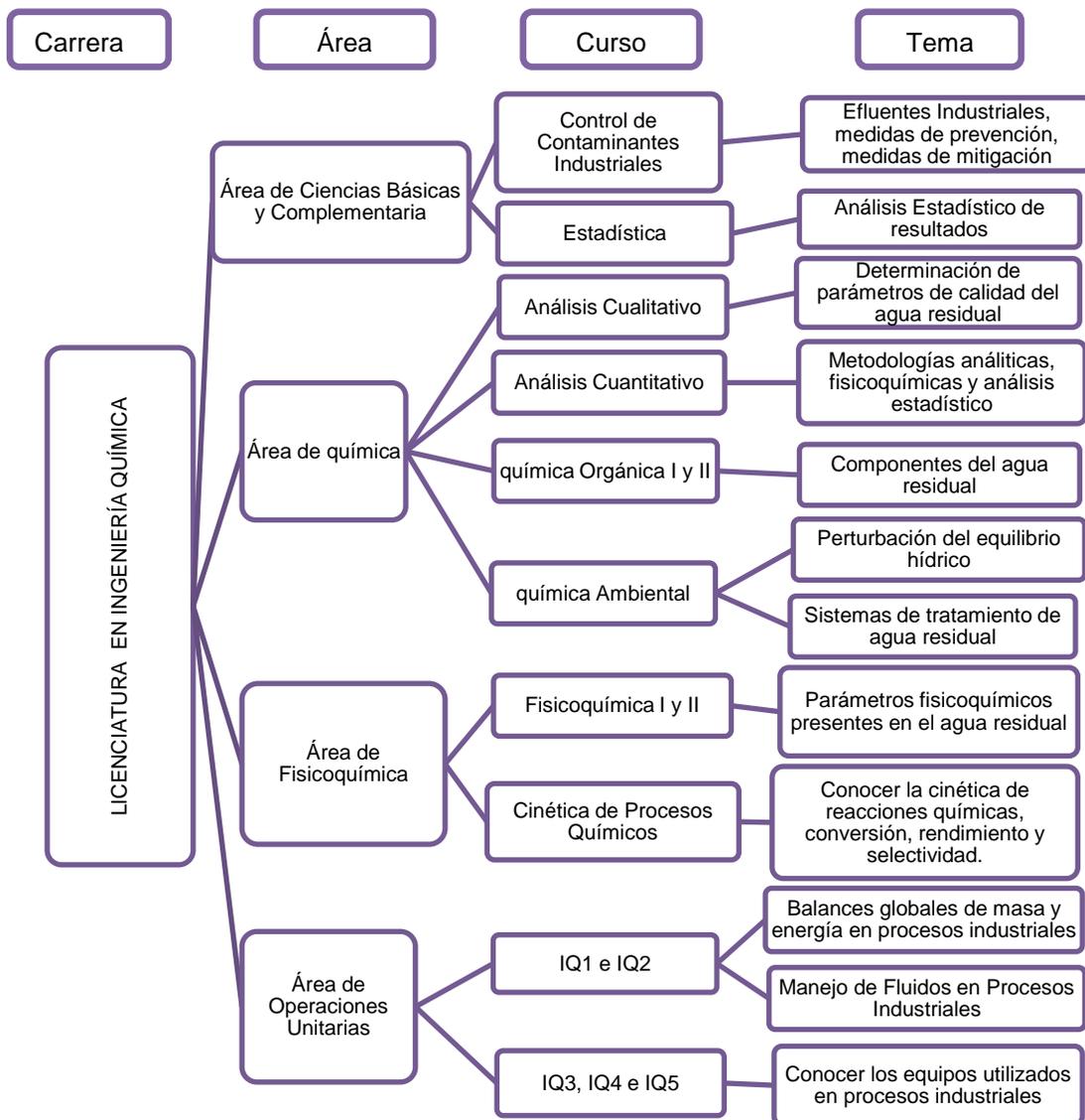
1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Manual de aguas para usos industriales*. Grupo Noriega, México: LIMUSA, 1976. 4 p.
2. AZNAR, Antonio. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. España: Instituto tecnológico de química y materiales, 2000. 12 p.
3. CAMBRANES MORALES, Erick Martín. *Instalación y control de una planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales con base en las regulaciones ambientales de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 9 p.
4. ECHARRI, Luis. *Ciencias de la Tierra y el medio ambiente*. [en línea]. <<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>> [Consulta: 22 de enero de 2012].
5. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Quality criteria for water*. United States: 1986. 26 p.
6. GALVÁN, María del Pilar. *Proceso básico de la leche y el queso*. Coordinación de Publicaciones Digitales, DGSCA-UNAM. México. [en línea]. <<http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art87/int87.htm>> [Consulta: 15 de agosto de 2011].

7. KEMMER, Frank; MCCALLION, John. *Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Nalco Chemical Company. México: McGraw-Hill, 1990. 8 p.
8. MANOSALVAS, Diana. *Estudio del tratamiento de las descargas líquidas de la estación de servicios y propuestos de ALTER*. Universidad Central del Ecuador. [en línea]. <<http://repositorio.eppetroecuador.ec/bitstream/20000/119/1/T-UCE-091.PDF>> [Consulta: 15 de agosto de 2011].
9. 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: MARN, 2006. 14 p.
10. MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. *Acuerdo Ministerial número 105-2008. Manual general del Acuerdo Gubernativo 236-2006*. Guatemala: MARN, 2008. 5 p.
11. PERRY, Robert H; Green Don W. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 1999. 25 p.
12. RAMÍREZ LORENZANA, Ednar Pavel; 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. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 8 p.

13. SOLSONA, Felipe. *Guías para elaborar normas de calidad del agua de bebida en los países en desarrollo*. OPS/CEPIS/OMS. Perú: 2002. p. 70.
14. 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: 15 de julio de 2011].
15. VARGAS, Trina. *Calidad e inocuidad de la leche y productos lácteos*. [en línea]. <www.cavilac.org> [Consulta: 14 de mayo de 2011].

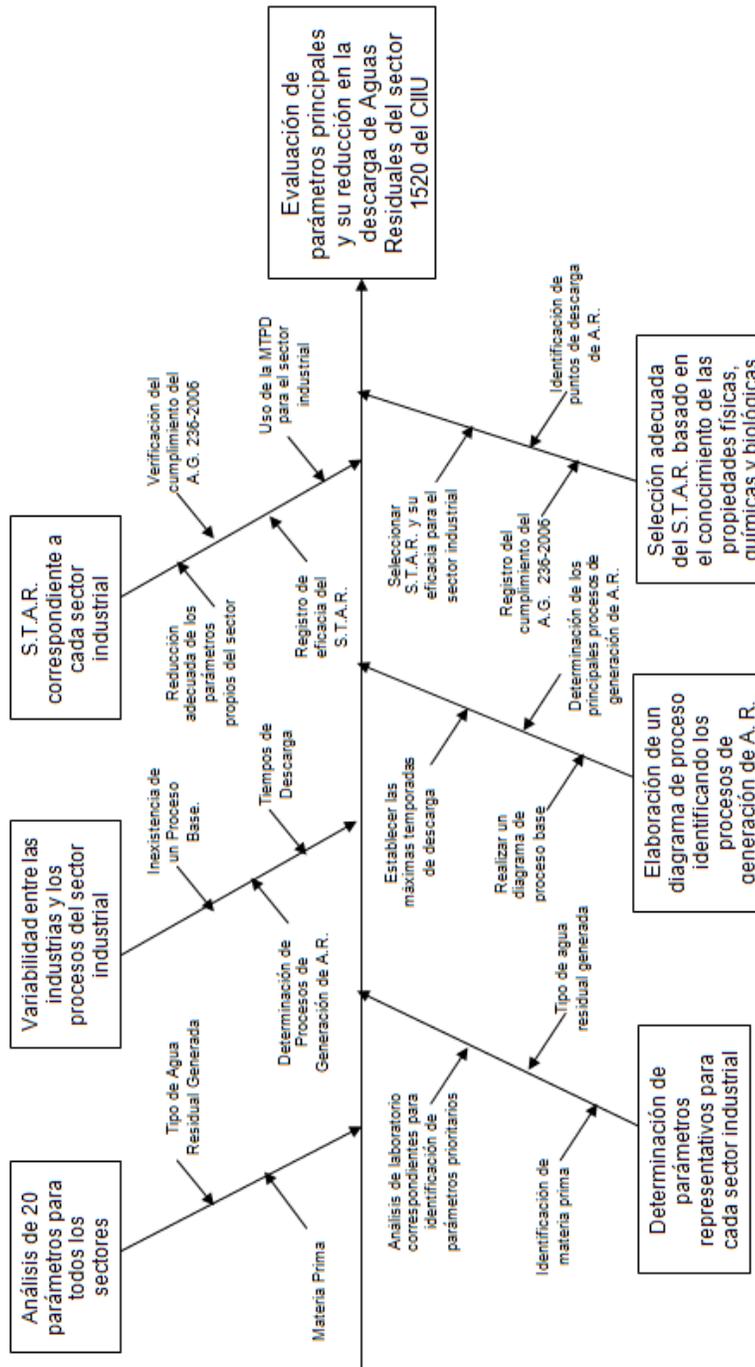
APÉNDICE

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
Elaboración de Protocolo	■	■	■	■																
Corrección y Aprobación del Protocolo					■	■	■	■												
Visita a Industrias, obtención de datos y muestras de AR									■	■	■	■								
Tabulación y Ordenamiento de resultados													■	■						
Identificación de Parámetros prioritarios															■					
Elaboración de Diagrama de Proceso Base																■				
Elaboración de propuesta de STAR																	■			
Conclusiones Finales																		■		
Período de correcciones																			■	
Presentación y aprobación final																				■

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Costos para recolección de muestras de agua

Cantidad	Descripción	Costo (Quetzales)
150 Km	Combustible a Q38.00/ galón (40Km/ galón)	Q. 142.50
	Sub-total	Q. 142.50

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Costos para el equipo

Cantidad	Equipo	Descripción	Costo (Q)
1	Equipo de muestreo automático	Sistema de muestreo ISCO GLS	Q. 2,000.00
1	Potenciómetro	Marca Hach, Electrodo digital	Q. 1,800.00
1	Termómetro	De mercurio graduado 100°C	Q. 30.00
		Sub-total	Q. 3,830.00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Costos varios

Cantidad	Artículo	Descripción	Costo (Quetzales)
10	Frasco	Plástico	100.00
1	Mascarillas	Caja	98.75
1	Guantes látex	Caja	70.00
1	Costo Asesoría Profesional	----	500.00
		Sub-total	Q768.75

Fuente: elaboración propia.

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

Cantidad	Descripción del Análisis	Costo (Q.)	Costo Total (Q.)
1	Paquete Básico residual: pH in-situ, Temperatura in-situ, Aceites y Grasas, materia flotante, Sólidos Suspendidos, Sólidos Sedimentables, DQO, DBO _{5,20} , nitrógeno Total, Fósforo Total, Color, Coliformes Fecales	Q. 1,265.00	Q. 7,590
1	Metales Pesados: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo total, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc, Cianuro	Q. 1,990.00	Q. 11,940
	Sub-total	Q. 3,255.00	Q. 19,530

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Costos totales

Descripción	Sub-Totales (Q.)
Recolección de muestras de agua	Q. 142.50
Equipo	Q. 3,830.00
Varios	Q 768.75
Análisis de caracterización de agua residual (Laboratorio Nacional de Salud)	Q. 19,530.00
Total	Q. 24,271.25

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Formulario de Inspección

FORMULARIO DE INSPECCIÓN													
Evaluación de parámetros representativos 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 Razón Social: _____													
1.4 Dirección: _____													
1.5 Persona Contacto: _____													
1.6 Teléfono: _____						1.7 C. Electrónico: _____							
1.8 Subclasificación de industria													
Elaboración de leche fresca líquida pasteurizada, esterilizada, homogeneizada y/o tratada a altas temperaturas												<input type="checkbox"/>	
Elaboración de crema a partir de leche fresca líquida, pasteurizada, esterilizada u homogeneizada												<input type="checkbox"/>	
Elaboración de helados y sorbetes												<input type="checkbox"/>	
Elaboración de bebidas no alcohólicas a base de leche						<input type="checkbox"/>	Elaboración de leche o crema en forma sólida						<input type="checkbox"/>
Elaboración de leche en polvo o condensada, azucarada o sin azucarar						<input type="checkbox"/>	Elaboración de mantequilla						<input type="checkbox"/>
Elaboración de yogur						<input type="checkbox"/>	Elaboración de queso y cuajada						<input type="checkbox"/>
Elaboración de sueros						<input type="checkbox"/>	Elaboración de caseína y lactosa						<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 Horario de Operación:													
<input type="checkbox"/> Lunes a Viernes	Inicia:		(a.m./p.m)	Inicia:		(a.m./p.m)							
	Termina:		(a.m./p.m)	Termina:		(a.m./p.m)							
<input type="checkbox"/> Sábado	Inicia:		(a.m./p.m)	Inicia:		(a.m./p.m)							
	Termina:		(a.m./p.m)	Termina:		(a.m./p.m)							
<input type="checkbox"/> Domingo	Inicia:		(a.m./p.m)	Inicia:		(a.m./p.m)							
	Termina:		(a.m./p.m)	Termina:		(a.m./p.m)							
2.4 Número de días de operación por mes:													
2.5 Nivel de producción:													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1) Temporada alta de producción 2) Producción parcial 3) Producción media 4) Producción baja 5) Producción selectiva 6) Otro (especifique) _____													
2.6 Nombre del proceso según tipo de producto:													
<input type="checkbox"/> Producción de leche fresca líquida						<input type="checkbox"/> Producción de crema							
<input type="checkbox"/> Producción de leche en polvo						<input type="checkbox"/> Producción de queso							
<input type="checkbox"/> Producción de yogur						<input type="checkbox"/> Producción de mantequilla							
<input type="checkbox"/> Producción de helados o sorbetes						<input type="checkbox"/> Otro (especifique) _____							
<input type="checkbox"/> Producción de sueros						<input type="checkbox"/> Otro (especifique) _____							

2.6.1 Etapas del proceso:			
<input type="checkbox"/> Recepción	<input type="checkbox"/> Desodorización	<input type="checkbox"/> Añejado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Almacenamiento	<input type="checkbox"/> Adición de cuajo	<input type="checkbox"/> Saborizado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Pesaje y dosificación	<input type="checkbox"/> Coagulación	<input type="checkbox"/> Batido	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Clarificación	<input type="checkbox"/> Moldeo	<input type="checkbox"/> Lavado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogeneización	<input type="checkbox"/> Prensado	<input type="checkbox"/> Amasado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Enfriamiento	<input type="checkbox"/> Maduración	<input type="checkbox"/> Deslactosar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Pasteurización	<input type="checkbox"/> Corte	<input type="checkbox"/> Descremar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogeneización	<input type="checkbox"/> Mezclado	<input type="checkbox"/> Ultrapasteurización (HTST)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mantecación	<input type="checkbox"/> Tratamiento térmico	<input type="checkbox"/> Centrifugación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Envasado	<input type="checkbox"/> Inoculación	<input type="checkbox"/> Separador	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición de cultivo	<input type="checkbox"/> Congelamiento	<input type="checkbox"/> Incubación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición de colorantes	<input type="checkbox"/> Secado por Aspersión	<input type="checkbox"/> Evaporación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Congelación	<input type="checkbox"/> Adición edulcorantes	<input type="checkbox"/> Esterilización	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición saborizantes	<input type="checkbox"/> Adición Aromatizantes	<input type="checkbox"/> Filtración	<input type="checkbox"/>
2.6.2 Producto terminado			
2.6.3 Subproductos			
2.6.4 Materia prima			
<input type="checkbox"/> Leche Entera	<input type="checkbox"/> Mermeladas	<input type="checkbox"/> Cloruro de calcio	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Leche Concentrada	<input type="checkbox"/> Saborizantes	<input type="checkbox"/> Agua	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Leche en polvo	<input type="checkbox"/> Manteca	<input type="checkbox"/> Nitrato de Sodio	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Harina de Trigo	<input type="checkbox"/> Fermento	<input type="checkbox"/> Nitrato de Potasio	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grasa Vegetal	<input type="checkbox"/> Enzimas	<input type="checkbox"/> Aromatizantes	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Azúcar	<input type="checkbox"/> Cultivo de bacterias	<input type="checkbox"/> Ácido Cítrico	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Sal	<input type="checkbox"/> Cuajo	<input type="checkbox"/> Ácido Láctico	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Frutas	<input type="checkbox"/> Cloruro de Sodio	<input type="checkbox"/> Crema de Leche	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Leche Descremada	<input type="checkbox"/> Preservantes	<input type="checkbox"/> Huevos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Leche descremada parcial	<input type="checkbox"/> Estabilizantes	<input type="checkbox"/> Miel	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Edulcorantes	<input type="checkbox"/> Colorantes	<input type="checkbox"/> Suero de Leche	<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:			
<input type="checkbox"/> Recepción	<input type="checkbox"/> Desodorización	<input type="checkbox"/> Añejado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Almacenamiento	<input type="checkbox"/> Adición de cuajo	<input type="checkbox"/> Saborizado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Pesaje y dosificación	<input type="checkbox"/> Coagulación	<input type="checkbox"/> Batido	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Clarificación	<input type="checkbox"/> Moldeo	<input type="checkbox"/> Lavado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogeneización	<input type="checkbox"/> Prensado	<input type="checkbox"/> Amasado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Enfriamiento	<input type="checkbox"/> Maduración	<input type="checkbox"/> Deslactosar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Pasteurización	<input type="checkbox"/> Corte	<input type="checkbox"/> Descremar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogeneización	<input type="checkbox"/> Mezclado	<input type="checkbox"/> Ultrapasteurización (HTST)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mantecación	<input type="checkbox"/> Tratamiento térmico	<input type="checkbox"/> Centrifugación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Envasado	<input type="checkbox"/> Inoculación	<input type="checkbox"/> Separador	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición de cultivo	<input type="checkbox"/> Congelamiento	<input type="checkbox"/> Incubación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición de colorantes	<input type="checkbox"/> Secado por Aspersión	<input type="checkbox"/> Evaporación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Congelación	<input type="checkbox"/> Adición edulcorantes	<input type="checkbox"/> Esterilización	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición saborizantes	<input type="checkbox"/> Adición Aromatizantes	<input type="checkbox"/> Filtración	<input type="checkbox"/>
4.2 Etapas del proceso donde se genera A.R.			
<input type="checkbox"/> Recepción	<input type="checkbox"/> Desodorización	<input type="checkbox"/> Añejado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Almacenamiento	<input type="checkbox"/> Adición de cuajo	<input type="checkbox"/> Saborizado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Pesaje y dosificación	<input type="checkbox"/> Coagulación	<input type="checkbox"/> Batido	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Clarificación	<input type="checkbox"/> Moldeo	<input type="checkbox"/> Lavado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogeneización	<input type="checkbox"/> Prensado	<input type="checkbox"/> Amasado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Enfriamiento	<input type="checkbox"/> Maduración	<input type="checkbox"/> Deslactosar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Pasteurización	<input type="checkbox"/> Corte	<input type="checkbox"/> Descremar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Homogeneización	<input type="checkbox"/> Mezclado	<input type="checkbox"/> Ultrapasteurización (HTST)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mantecación	<input type="checkbox"/> Tratamiento térmico	<input type="checkbox"/> Centrifugación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Envasado	<input type="checkbox"/> Inoculación	<input type="checkbox"/> Separador	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición de cultivo	<input type="checkbox"/> Congelamiento	<input type="checkbox"/> Incubación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición de colorantes	<input type="checkbox"/> Secado por Aspersión	<input type="checkbox"/> Evaporación	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Congelación	<input type="checkbox"/> Adición edulcorantes	<input type="checkbox"/> Esterilización	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Adición saborizantes	<input type="checkbox"/> Adición Aromatizantes	<input type="checkbox"/> Filtración	<input type="checkbox"/>
4.3 Otras fuentes de generación de A.R.			

5. Información sobre la limpieza de equipos						
5.1. Productos y métodos de limpieza utilizados						
<input type="checkbox"/> Cloro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Calor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Ácidos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Vapor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bases	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Agua Caliente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Detergentes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Agua Oxigenada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2. Horario de limpieza						
<input type="checkbox"/> Lunes a Viernes	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)
		Termina:	(a.m./p.m)		Termina:	(a.m./p.m)
	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)
		Termina:	(a.m./p.m)		Termina:	(a.m./p.m)
<input type="checkbox"/> Sábado	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)
		Termina:	(a.m./p.m)		Termina:	(a.m./p.m)
	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)
		Termina:	(a.m./p.m)		Termina:	(a.m./p.m)
<input type="checkbox"/> Domingo	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)
		Termina:	(a.m./p.m)		Termina:	(a.m./p.m)
	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)	Etapa del proceso: ()	Inicia:	(a.m./p.m)
		Termina:	(a.m./p.m)		Termina:	(a.m./p.m)
6. Información sobre la descarga de A.R.						
6.1 Tipo de A.R. que descarga: <input type="checkbox"/> Ordinaria <input type="checkbox"/> Especial <input type="checkbox"/> Mezcla de ambas						
6.2 Lugar de descarga: <input type="checkbox"/> Alcantarillado Público <input type="checkbox"/> Cuerpo Receptor						
6.3 Tipo de descarga: <input type="checkbox"/> Continua <input type="checkbox"/> Discontinua						
6.4 Número de puntos de descarga: _____						
6.5 Horario de Descarga de A.R.:						
Día/Tipo A.R.	A.R. Ordinaria		A.R. Especial		A.R. Mezcla de ambas	
<input type="checkbox"/> Lunes a Viernes	Inicia:		Inicia:		Inicia:	
	Termina:		Termina:		Termina:	
	Inicia:		Inicia:		Inicia:	
	Termina:		Termina:		Termina:	
<input type="checkbox"/> Sábado	Inicia:		Inicia:		Inicia:	
	Termina:		Termina:		Termina:	
	Inicia:		Inicia:		Inicia:	
	Termina:		Termina:		Termina:	
<input type="checkbox"/> Domingo	Inicia:		Inicia:		Inicia:	
	Termina:		Termina:		Termina:	
	Inicia:		Inicia:		Inicia:	
	Termina:		Termina:		Termina:	

