

Mon
628.3
G633
2011

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“Pre-Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales en Industrias Cárnicas Integradas de
Nicaragua”**

Monografía Presentada por:

Br. Marcio Daniel Gómez Medina

Br. Meyling Erenia Sánchez Navarro

Para optar al título de:

Ingeniero Químico

Tutor:

Ing. Larisa Korsak

Managua, Nicaragua

ÍNDICE

	ACÁPITE	Pág.
AGRADECIMIENTO		2
RESUMEN		3
I. INTRODUCCIÓN		4
II. OBJETIVO		5
2.1 Objetivo General		5
2.2 Objetivos Específicos		5
III. MARCO TEÓRICO		6
3.1 Generalidades de la ICI		6
a) Proveedores de la ICI		6
b) Lay-out de la planta		7
3.1.1 Descripción de las actividades de la ICI		7
a) Acopio de productos cárnicos		7
b) Despacho de productos cárnicos		8
c) Distribución de productos cárnicos		8
d) Procesamiento de productos cárnicos		8
e) Uso del agua en las actividades		10
3.2 Generalidad de Aguas Residuales		11
3.2.1 Aguas residuales domesticas		11
3.2.2 Aguas residuales industriales		11
3.2.3 Constituyentes presentes en el agua residual		11
a) Parámetros y características físicas		12
b) Parámetros y características químicas		12
3.2.4 Tratamientos de aguas residuales		14
a) Tipos de tratamientos de aguas residuales		14
3.2.5 Criterios de selección de tratamientos		18
a) Características de las aguas residuales		19
b) Costos del sistema		19
c) Calidad del efluente		19

3.3 Uso y Manejo de Agua	19
IV. METODOLOGÍA	22
4.1 Caracterización de las Aguas Residuales	22
4.1.1 Muestreo	22
4.1.2 Análisis de los muestreos	23
4.2 Metodología de Proyecciones	23
4.2.1 Proyecciones del volumen de producción total	24
4.2.2 Proyección del caudal	24
a) Cálculo del Índice de Consumo de Agua del año 2009	24
b) Cálculo del Caudal de Agua Residual	25
4.2.3 Proyección de la carga contaminante	26
4.3 Selección de las Etapas de Tratamiento	27
4.4 Pre-diseño de las Etapas de Tratamiento	28
4.5 Metodología de Estimación de Costos	28
4.6 Metodología de Valoración de Uso y Manejo de Agua	28
V. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
5.1 Caracterización de Aguas Residuales	29
5.1.1 Análisis de los parámetros	31
a) Análisis in situ	31
b) Análisis en laboratorio	32
5.1.2 Parámetros del pre-diseño	34
5.2 Resultados de Proyecciones	34
5.2.1 Resultados de los Volúmenes de Producción Totales	34
a) Cálculo de las proyecciones de los Volúmenes de Producción	35
5.2.2 Proyección de caudal de agua residual	42
5.2.3 Proyección de cargas contaminantes	43
5.3 Selección de las Etapas de Tratamiento	46
5.4 Pre-Diseño de las Etapas de Tratamiento	47
5.4.1 Trampa de grasa	47
a) Esquema de la trampa de grasa	48
b) Remociones que ocurren en la trampa de grasa	49
5.4.2 Tanque de sedimentación primaria (TSP)	49

a) Esquema del TSP	50
b) Remociones que ocurren en el TSP	51
5.4.3 Sistema de lodos activados por mezcla completa	51
a) Esquema del sistema de lodos activados	52
b) Remociones que ocurren en el sistema de lodos activados	53
5.4.4 Tanque de sedimentación secundaria (TSS)	53
a) Esquema del TSS	54
b) Remociones que ocurren en el TSS	55
5.5 Resultados de la Remoción en el Sistema de Tratamiento	55
5.6 Valoración de Uso y Manejo de Agua	56
a) Sanitización de la planta	56
b) Lavandería	56
c) Higiene del personal	57
d) Lavado de cajillas	57
5.7 Estimación de Costos	58
a) Costos de obras civiles	58
b) Costos de proveedores	59
VI. CONCLUSIONES	60
VII. RECOMENDACIONES	62
a) Recomendaciones generales	62
b) Recomendaciones sobre la construcción del sistema	62
c) Recomendaciones sobre la puesta en marcha del sistema	62
d) Recomendaciones sobre el manejo de recursos hídricos	62
e) Recomendaciones sobre el funcionamiento de las unidades de tratamiento	62
VIII. REFERENCIAS	65
8.1 Referencias Bibliográficas	65
8.2 Referencias de Páginas Web	65
ANEXOS	
ANEXO A.	69

ANEXO B. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS NORMALIZADOS DE OPERACIÓN	71
1. Metodología de Análisis in Situ	71
2. Metodología de Determinación de los Análisis en Laboratorio	72
ANEXO C. DATOS PROPORCIONADOS POR LA ICI	85
ANEXO D. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN TOTALES	88
1. Cálculo de los Volúmenes de Producción por Categoría y Mercado	88
2. Cálculo de los Volúmenes de Producción Totales para el periodo 2015-2020	102
ANEXO E. CÁLCULO DE LAS PROYECCIONES DE CAUDALES DE AGUA RESIDUAL	104
1. Cálculo del Índice de Consumo de Agua	104
2. Cálculo de los Caudales Proyectados de Agua Residual	104
ANEXO F. CÁLCULO DE LAS PROYECCIONES DE CARGAS CONTAMINANTES	105
1. Cálculo de la Carga y del Factor Contaminante para el año 2009	105
2. Cálculo de las Proyecciones de Cargas Contaminantes para el periodo 2010 - 2020	106
ANEXO G. DISEÑO DE LA TRAMPA DE GRASA	110
1. Diseño para el año 2020	111
2. Diseño para el año 2015	112
3. Cálculo de Remociones en el año 2020	113
3.1 Remoción de AyG	113
3.2 Remoción de DQO	116
3.3 Remoción de DBO ₅	118
ANEXO H. DISEÑO DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	120
1. Cálculo del Área del Sedimentador	121
2. Cálculo del Tiempo de Retención	122

3. Cálculo del Porcentaje de Remoción	122
4. Cálculo de Remociones en el año 2020	124
4.1 Remoción de DQO	124
4.2 Remoción de DBO ₅	124
4.3 Remoción de SST	125
4.4 Remoción de sólidos sedimentables	126
5. Cálculo del Flujo de Lodo Primario	127
ANEXO I. DISEÑO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS POR MEZCLA COMPLETA	129
1. Cálculo del Caudal de Agua Residual que entra al Tanque	129
2. Estimación de la DBO ₅ en el Efluente	129
3. Cálculo de las Concentraciones con base en el caudal del sistema	130
4. Cálculo de la Eficiencia	132
5. Corrección de la Fracción de Decaimiento	133
6. Cálculo del Volumen del Tanque	133
7. Cálculo del Rendimiento Real del Sistema	135
8. Cálculo del Flujo de Lodos de Purga	135
9. Cálculo del Flujo de Lodos en el Sistema	137
10. Cálculo del Flujo de Recirculación de Lodos	138
11. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulico	139
12. Cálculo del Parámetro A/M	140
13. Cálculo de la Carga Orgánica Volumétrica	141
14. Cálculo de la DBO Última	141
15. Cálculo del Flujo de Aire Requerido en el Sistema	142
16. Cálculo de la Potencia del Compresor de Aire	146
17. Cálculo de las Unidades de Difusores Requeridas en el Sistema	147
18. Remociones en el Sistema de Lodos Activados	147
18.1 Cálculo del porcentaje de remoción de SST	147
18.2 Cálculo de la DBO ₅ en el efluente	148
18.3 Cálculo de la DQO en el efluente	148
ANEXO J. DISEÑO DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA	150
1. Cálculo del Caudal de Diseño	150

2. Cálculo del Área del Sedimentador	151
3. Cálculo del Diámetro del Tanque	151
4. Cálculo de la Carga de Sólidos	151
5. Cálculo del Volumen del Tanque	152
6. Cálculo del Tiempo de Retención	152
7. Remoción en el Sedimentador en el año 2020	153
7.1 Remoción de sólidos sedimentables	153
ANEXO K. CONSUMO DE AGUA EMITIDO POR ENACAL PARA LA ICI EN EL AÑO 2009	154

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS		Pág.
Tabla 4.1	Parámetros analizados	23
Tabla 4.2	Índices de consumo de agua históricos	25
Tabla 5.1	Resultados de los parámetros analizados en el año 2009	29
Tabla 5.2	Análisis estadístico de cada parámetro en el año 2009	31
Tabla 5.3	Valores de los parámetros para el diseño	34
Tabla 5.4	Datos históricos de Volúmenes de Producción Totales anuales	35
Tabla 5.5	Porcentaje de incremento de ventas para Res y Cerdo en el periodo 2010-2014	37
Tabla 5.6	Ventas en dólares para Res y Cerdo proyectadas para el periodo 2015-2020	38
Tabla 5.7	Precios en dólares por libras de Res y Cerdo proyectados para el periodo 2015-2020	40
Tabla 5.8	Volúmenes de producción en libras de Res y Cerdo proyectados para el periodo 2015-2020	41
Tabla 5.9	Volúmenes de Producción Totales proyectados para el periodo 2010-2020	41
Tabla 5.10	Caudales proyectados para el periodo 2010-2020	43
Tabla 5.11	Cargas de los contaminantes para el año 2009	43
Tabla 5.12	Factores de los contaminantes para el año 2009	44
Tabla 5.13	Cargas proyectadas de los contaminantes en el año 2015 y 2020	45
Tabla 5.14	Concentraciones proyectadas de los parámetros para el año 2020	45
Tabla 5.15	Dimensiones y características de diseño de la trampa de grasas	47
Tabla 5.16	Remoción de los contaminantes en la trampa de grasas	49
Tabla 5.17	Dimensiones y características de diseño del TSP para el año 2020	50
Tabla 5.18	Remoción de los contaminantes en el TSP	51
Tabla 5.19	Dimensiones y características de diseño del sistema de Lodos	52

Activados para el año 2020

Tabla 5.20	Remociones de los contaminantes en el sistema de Lodos Activados	53
Tabla 5.21	Dimensiones y características de diseño del sedimentador secundario para el año 2020	54
Tabla 5.22	Remoción de los contaminantes en el TSS	55
Tabla 5.23	Resultados de los parámetros de salida en el pre-diseño	56
Tabla 5.24	Costos estimados	58
Tabla 5.25	Accesorios mecánicos	59
Tabla 5.26	Costo aproximado de la construcción de la planta de Tratamiento de Agua Residual	59

TABLAS DE ANEXOS

ANEXO A.

Tabla A.1	Parámetros establecidos en el artículo 29 del decreto 33-95	69
------------------	--	-----------

ANEXO B.

Tabla B.1	Materiales para análisis in situ	70
Tabla B.2	Materiales para la determinación de la DBO₅	73
Tabla B.3	Materiales para la determinación de la DQO	77
Tabla B.4	Materiales para la determinación de los SST	80
Tabla B.5	Materiales para la determinación de Aceites y Grasas	82
Tabla B.6	Materiales para la determinación de los Sólidos Sedimentables	84

ANEXO C.

Tabla C.1	Volúmenes de Producción Totales proyectados por la ICI para el periodo 2010-2014	85
Tabla C.2	Ventas Totales en dólares proyectadas por la ICI para el periodo 2010-2014	86
Tabla C.3	Precios en dólares por libras de producto proyectados por la ICI para el periodo 2010-2014	87

ANEXO D.

Tabla D.1	Porcentaje de incremento de ventas de Formados para el periodo 2009-2014	92
Tabla D.2	Ventas en dólares de Formados proyectadas para el periodo 2015-2020	92
Tabla D.3	Precios en dólares por libras de Formados proyectados para el periodo 2015-2020	93
Tabla D.4	Libras de Formados proyectadas para el periodo 2015-2020	93
Tabla D.5	Porcentaje de incremento de ventas de Embutidos para el periodo 2009-2014	94
Tabla D.6	Ventas en dólares de Embutidos proyectadas para el periodo 2015-2020	94
Tabla D.7	Precios en dólares por libras de Embutidos proyectados para el periodo 2015-2020	95
Tabla D.8	Libras de Embutidos proyectadas para el periodo 2015-2020	95
Tabla D.9	Porcentaje de incremento de ventas de Marinados de Res y Cerdo para el periodo 2009-2014	96
Tabla D.10	Ventas en dólares de Marinados de Res y Cerdo proyectadas para el periodo 2015-2020	96
Tabla D.11	Precios en dólares por libras de Marinados de Res y Cerdo proyectados para el periodo 2015-2020	97
Tabla D.12	Libras de Marinados de Res y Cerdo proyectadas para el periodo 2015-2020	97
Tabla D.13	Porcentaje de incremento de ventas de Marinados de Pollo para el periodo 2009-2014	98
Tabla D.14	Ventas en dólares de Marinados de Pollo proyectadas para el periodo 2015-2020	98
Tabla D.15	Precios en dólares por libras de Marinados de Pollo proyectados para el periodo 2015-2020	99
Tabla D.16	Libras de Marinados de Pollo proyectadas para el periodo 2015-2020	99
Tabla D.17	Porcentaje de incremento de ventas de Pollo para el periodo 2009-2014	100
Tabla D.18	Ventas en dólares de Pollo proyectadas para el periodo 2015-	100

2020

Tabla D.19	Precios en dólares por libras de Pollo proyectadas para el periodo 2015-2020	101
Tabla D.20	Libras de Pollo proyectadas para el periodo 2015-2020	102
Tabla D.21	Volúmenes de Producción para Palí en todas las categorías en el año 2015	102
Tabla D.22	Volúmenes de Producción Totales proyectados para el periodo 2015-2020	103

ANEXO E.

Tabla E.1	Caudales proyectados para el periodo 2010-2020	104
------------------	---	------------

ANEXO F.

Tabla F.1	Cargas y factores de los contaminantes del año 2009	106
Tabla F.2	Cargas de los contaminantes proyectadas en kg/año para el periodo 2010-2015	107
Tabla F.3	Cargas de los contaminantes proyectadas en kg/día para el periodo 2010-2015	107
Tabla F.4	Cargas de los contaminantes proyectadas en kg/año para el periodo 2016-2020	108
Tabla F.5	Cargas de los contaminantes proyectadas en kg/día para el periodo 2016-2020	108

ANEXO G.

Tabla G.1	Valores considerados para el cálculo de la trampa de grasa en el periodo 2015-2020	110
Tabla G.2	Criterios seleccionados para el cálculo de la trampa de grasa en el periodo 2015-2020	110
Tabla G.3	Resultados de remociones en el año 2015	116

ANEXO H.

Tabla H.1	Valores considerados para el cálculo del TSP	120
Tabla H.2	Criterios seleccionados para el cálculo del TSP	120

Tabla H.3	Valores típicos para las constantes empíricas a 20 °C	122
Tabla H.4	Criterios seleccionados para el cálculo del flujo de lodo primario	128
ANEXO I.		
Tabla I.1	Valores considerados para el cálculo del Sistema de Lodos Activados	131
Tabla I.2	Criterios seleccionados para el cálculo del Sistema de Lodos Activados	132
Tabla I.3	Criterios seleccionados para el cálculo del Flujo de aire en base a la transferencia de oxígeno	143
ANEXO J.		
Tabla J.1	Valores considerados para el cálculo del TSS	150
Tabla J.2	Criterios seleccionados para el cálculo del TSS	150
ANEXO K.		
Tabla K.1	Valores de consumo de agua de la ICI en el año 2009	154

AGRADECIMIENTO

Primero que nada queremos agradecer a Dios por darnos la fortaleza para terminar la monografía. A nuestros padres por la confianza y el apoyo, y al tutor por su guía a lo largo del trabajo.

Br. Marcio Daniel Gómez Medina

Br. Meyling Erenia Sánchez Navarro

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en ICI para un periodo de 10 años (2010 – 2020).

Los caudales de agua y las cargas contaminantes para el año 2020, fueron proyectados con base en los volúmenes de producción, proporcionados parcialmente por ICI y también calculados por los tesisistas. El consumo de agua por kilogramo de producto sirvió para estimar los caudales de agua residual en el año final del proyecto. Por lo tanto el sistema de tratamiento, se diseñó con base en los cálculos previamente mencionados.

El sistema cuenta con un separador de grasas, un tanque de sedimentación primaria, el tanque de lodos activados y la unidad de sedimentación secundaria.

El separador de grasas o trampa retiene el agua por un periodo de 30 minutos en un tanque rectangular, y crea una separación por diferencia de densidades entre el agua y la grasa, la trampa remueve la mayor parte de aceites y grasas, generados durante el proceso.

La segunda unidad es la sedimentación primaria, se da en un tanque circular, que retiene el flujo de agua residual por un periodo de 3 horas, creando una separación de las partículas con mayor densidad que el agua, que luego son removidas por debajo del mismo.

La unidad de lodos activados es un tanque rectangular, donde ocurre el proceso de mezcla completa; donde se genera una suspensión conocida como lodos activados.

La etapa final es la unidad circular de sedimentación secundaria, donde la mezcla de agua residual y la suspensión de lodos activados, se separa, utilizando la diferencia de densidades entre ambas. Parte del lodo activado sedimentado es purgado por el fondo del tanque, y otra parte se retorna al tanque de aireación. Por tanto el sistema diseñado, permitirá que la calidad del efluente cumpla con los valores de los parámetros establecidos por MARENA.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento necesario e indispensable para la vida y desarrollo de la humanidad y está involucrada en una infinidad de procesos como parte fundamental en el desarrollo de las industrias nicaragüenses.

Las industrias generan una gran cantidad de agua residual con una enorme variedad de contaminantes debido a sus procesos, por tanto parte de la gestión ambiental de cualquier industria, debe ser tratar las aguas y asumir esta tarea como parte del proceso productivo.

Los sistemas de tratamientos en las industrias están destinados a mitigar la contaminación ocasionada por las aguas residuales, y la calidad del efluente en los sistemas son regulados en Nicaragua por medio del decreto 33-95 (ver Anexo A) de *“Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domesticas, Industriales y Agropecuarias”* establecido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).

El presente estudio consistió en el pre-diseño de un sistema que permite tratar las aguas residuales de Industrias Cárnicas Integradas (ICI), empresa que se dedica al acopio, distribución y procesamiento de carnes (cerdo, pollo y res), afiliada a Wal-Mart en Centroamérica, que actualmente se encuentra ubicada en Nicaragua, en la ciudad de Managua, en el km 7 ½ en carretera norte.

En el año 2010 ICI se trasladará a una nueva locación hacia la zona industrial en Tipitapa, con espacio disponible para implementar las operaciones de tratamiento de aguas residuales adecuadas.

Mediante las etapas de tratamiento diseñadas se logrará el cumplimiento de los parámetros de vertidos de aguas residuales establecidos por MARENA.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Realizar un pre-diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en Industrias Cárnicas Integradas para asegurar que la calidad del agua tratada, se ajuste a las normas establecidas por MARENA.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las aguas residuales generadas en Industrias Cárnicas Integradas y determinar el caudal.
- Proyectar las cargas de los contaminantes y el caudal para los próximos 10 años.
- Seleccionar las etapas de tratamiento que aseguren que la calidad del efluente se ajuste a los requerimientos establecidos por MARENA.
- Pre-diseñar las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales en Industrias Cárnicas Integradas.
- Estimar los costos de cada una de las etapas del sistema pre-diseñado de tratamiento de aguas residuales.
- Proponer medidas de ahorro para optimizar el uso de agua de procesos en Industrias Cárnicas Integradas.

III. MARCO TEÓRICO

En este acápite se abarcan los aspectos que fueron considerados necesarios para el pre-diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de Industrias Cárnicas Integradas (ICI), incluye también la descripción del proceso productivo de ICI y las características de los sistemas de tratamiento utilizados, para remover los contaminantes presentes en este tipo de aguas residuales.

3.1 Generalidades de ICI

La producción de carne y su industrialización posterior constituyen parte importante de la industria alimentaria del mundo, así también en Nicaragua, las actividades de matanza hasta el procesamiento de carnes son rubros fundamentales en la economía.

ICI está localizada en la ciudad de Managua en Carretera Norte Km. 7 ½, y las actividades desarrolladas dentro de la misma son las siguientes:

- Acopio de productos cárnicos.
- Procesamiento de productos cárnicos.
- Comercialización de productos cárnicos.

Los productos cárnicos con los que se trabaja en ICI son productos refrigerados y congelados de res, cerdo, pollo, además de embutidos y carnes marinadas; dichos productos son perecederos, es decir, se descomponen fácilmente y requieren de refrigeración para mantenerlos en condiciones óptimas y que su posterior consumo sea en condiciones adecuadas de calidad.

La información general de ICI mencionada en los acápites 3.1 y 3.1.1, fue tomada del Manual HACCP del año 2009 de la empresa, el cual fue elaborado en el departamento de Administración de Riesgos de la empresa.

a) Proveedores de ICI

Entre los proveedores de la empresa se encuentran:

- ICSM (Industrial Cárnico San Martín).
- INDAVINSA (Industria Avícola de Nicaragua S.A.).
- Matadero El Cacique.
- ICI-CR (Industrias Cárnicas Integradas de Costa Rica).

b) Lay-out de la Planta

La planta está distribuida en 2 cámaras, 3 bodegas de almacenamiento y una cámara de Procesos.

- **Cámara #1.** Se almacena producto de embutidos con perfil refrigerado.
- **Bodega #1.** Se almacena producto terminado que entra de ICI-CR, formados de res y pollo.
- **Bodega #2.** Se almacena materia prima y producto terminado de cerdo con perfil congelado.
- **Bodega # 3.** Se almacena producto para despacho con perfil congelado.
- **Cámara #3.** Se almacena materia prima de res y producto terminado de res con perfil refrigerado.
- **Cámara de Procesos.** Se procesa la materia prima de cerdo, res y pollo.

3.1.1 Descripción de las actividades de ICI

a) Acopio de productos cárnicos

En esta actividad se realizan dos operaciones:

- **Recepción de materia prima**

El producto cárnico sin procesar entra a la planta en contenedores debidamente refrigerados, en cajas de cartón o cajillas de plástico protegidas en el interior con bolsas de plástico grado alimenticio, el producto es almacenado en las cámaras de materias primas según sea el perfil

- **Almacenamiento**

El producto es almacenado en las cámaras, de acuerdo a su perfil ya sea producto refrigerado o si es un producto congelado, el producto refrigerado se almacena en cámara #3 y cámara #1, y el producto debe mantener su temperatura interna no mayor a 5 °C. El producto congelado es almacenado en las bodegas, y debe mantenerse no mayor a -10 °C para la preservación de los productos en condiciones óptimas.

b) Despacho de productos cárnicos

En el despacho de productos cárnicos se recibe el pollo, este viene en cajillas de plástico, proveniente de INDAVINSA; se realiza un trasiego del contenedor de pollo a los camiones distribuidores, el trasiego se hace manualmente, por medio de cajillas plásticas del proveedor a las cajillas de ICI.

Los productos cárnicos de las demás categorías, se alistan previamente, dentro de estos productos están los cortes frescos y los procesados (marinados de res, cerdo y pollo), estos son acomodados en el camión junto con el pollo en cajillas para su posterior distribución.

c) Distribución de productos cárnicos

Los productos cárnicos son distribuidos por medio de camiones refrigerados, estos camiones de distribución son subcontratados a varios negocios independientes.

La ruta de distribución está establecida para abastecer exclusivamente a los supermercados Palí y La Unión de todo el país.

d) Procesamiento de productos cárnicos

En el procesamiento de productos cárnicos se realizan los siguientes pasos:

- **Recepción:** el producto cárnico res, cerdo y pollo se descarga por medio de carretillas para ser transportado a las cámaras de almacenamiento y procesos.
- **Almacenamiento:** los productos cárnicos se almacenan en las cámaras para productos con perfil congelado y refrigerado respectivamente, para su posterior procesamiento.
- **Transporte a sala de procesos:** el producto es transportado de las cámaras de almacenamiento mediante carretillas, hacia la cámara de procesos.
- **Pesado:** El producto cárnico es pesado en la balanza digital para corroborar los datos de información de las cajas y luego es tabulado.
- **Fileteado:** El producto cárnico se debe cortar en las mesas de corte y dejarse en tamaños establecidos para cada proceso y cada especie.
- **Cargado del tomblor:** el tomblor es cargado con el producto a marinar así como los demás insumos a utilizar, agua, hielo y demás condimentos, estos se alistan previamente, según fórmula para cada especie, res, cerdo y pollo.
- **Tombleado o Mezclado:** una vez cargado el tomblor, se controlan parámetros: se ajusta un tiempo de vacío de 5 min, se detiene y se fija un tiempo de mezclado de 25 min y se echa a andar.
- **Descargado del tomblor:** el tomblor es automático, al terminar el ciclo el equipo se detiene, se quita la tapa del tomblor, y el producto es vertido en recipientes cuadrados (buggies) con ruedas para facilidad de transporte.
- **Empacado al Vacío:** El producto es empacado al vacío, en bolsas de librajés variados (según especificación de comercialización), el libraje varía de 5 a 15 libras.
- **Pesado:** el producto final o terminado es pesado en la balanza digital y luego tabulado en guías de producción.
- **Almacenamiento:** el producto es almacenado en cámaras y/o bodega según su perfil congelado o refrigerado.

- **Despacho y/o distribución:** el producto es distribuido a los supermercados por medio de camiones de distribución.

e) Usos del agua en las actividades

Dentro de todos los procesos de la empresa el agua es sumamente necesaria para las siguientes actividades:

- **Recepción y almacenamiento de productos cárnicos:** en ambas actividades el manejo de los productos genera escurrimiento de sangre, debido al tipo de corte y naturaleza del mismo, por lo que se debe enjuagar y escurrir constantemente el piso.
- **Proceso de sanitización:** con agentes químicos de las cámaras de almacenamiento, de la sala de procesos, y de las áreas externas de toda la empresa. Esta actividad se debe realizar diario como parte del proceso y para garantizar un producto inocuo y de calidad.
- **Lavandería:** diariamente los uniformes del personal son lavados con agentes químicos para la eliminación de la grasa.
- **Lavado de cajillas plásticas:** esta actividad se lleva a cabo por medio de agentes químicos, diariamente, y cada vez que sea necesario.
- **Higiene del personal de trabajo:** consiste en el lavado y restregado de manos y botas, con jabón y detergente respectivamente antes de entrar a la planta y comenzar actividades.
- **Llenado de pediluvios:** estanque de agua mezclada con agente desinfectante, donde el operario debe desinfectar las botas antes de entrar a planta.
- **Proceso de marinados:** el agua y el hielo son importantes para la formulación ya que es necesario que todos los productos marinados contengan agua, condimentos, especias y preservantes en sus respectivas formulaciones.

3.2 Generalidades de Aguas Residuales

El agua residual es aquella agua procedente de diversas actividades domésticas, comerciales e industriales, que constituyen el principal foco de contaminación hacia las fuentes acuáticas y si no son debidamente reguladas crean alteraciones en los diversos ecosistemas que dependen de estas fuentes, y deben ser tratadas adecuadamente para garantizar que la descarga a de estos efluentes líquidos sea segura.

3.2.1 Aguas residuales domésticas

Este tipo de agua es aquella que procede de:

- Áreas residenciales
- Centros comerciales
- Centros institucionales
- Centros recreativos entre otros

3.2.2 Aguas residuales industriales

Son aquellas que proceden de cualquier tipo de actividad industrial. Son enormemente variables en cuanto al tipo y los volúmenes de la industria, y también dependen del grado de reúso y de los métodos de tratamiento in situ (Metcalf y Eddy 2003).

3.2.3 Constituyentes presentes en el agua residual

El agua residual es caracterizada en términos de su composición física, química, y biológica, y el conocimiento de las características de las aguas es de suma importancia (C. Lesly; H. Mario 2007), principalmente para ayudar a determinar el impacto ambiental en las fuentes receptoras y para valorar un mejor tratamiento; que permita que los parámetros de calidad del agua sean los más adecuados para su vertimiento. Dentro de los principales constituyentes están:

a) Parámetros y características físicas

Entre las características físicas más importantes se debe mencionar los siguientes:

- **Temperatura:** Un líquido caliente que se agrega a un curso de agua (receptor) puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en el mismo.
- **Olor:** puede ser definido como el conjunto de sensaciones percibidas por el olfato al captar ciertas sustancias volátiles, el olor que presentan las aguas residuales se debe a la liberación de los gases cuando la materia orgánica es descompuesta.
- **Sólidos Totales:** el contenido total de sólidos se puede encontrar como: material flotante, material en suspensión, material coloidal y material en solución, dentro de estos existe la siguiente clasificación:

Sólidos Totales (ST): analíticamente se define a los sólidos totales como la materia de residuo que se obtiene después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103° y 105° C. (SM)

Sólidos Sedimentables (S.Sed.): son aquellos sólidos de mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o turbulencias.

Sólidos Suspendidos (SS): son el residuo no filtrable de una muestra de agua y se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105 °C hasta peso constante. (SM)

b) Parámetros y características químicas

Existen una gran variedad de sustancias químicas que pueden estar presentes en el agua, a continuación se detallan algunas que corresponden a las características del agua residual en general.

- **Parámetros y características químicas inorgánicas**

pH: La acidez del agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles.

Alcalinidad o Dureza: La alcalinidad del agua corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos de hidróxidos. En la mayoría de los casos se debe principalmente a la presencia de iones calcio y magnesio, y algunas veces también se unen hierro, aluminio, manganeso y estroncio.

Sulfatos: en aguas residuales pueden llegar a causar la proliferación de gases y ácidos altamente tóxicos para la salud humana, así mismo dichos ácidos y gases además de ser explosivos en combinación con el oxígeno, son también corrosivos atacando a estructuras metálicas y de concreto (Acevedo. 2006).

Nitrógeno: el nitrógeno inorgánico es bastante soluble en el agua y móvil en el suelo, por lo que se puede encontrar en grandes cantidades. El nitrógeno inorgánico acidifica las aguas, causa la eutrofización de las aguas dulces, y además es tóxico para los seres vivos (Camargo y Alonso 2007).

- **Parámetros y características químicas orgánicas**

Aceites y grasas: Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas que entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, y es por tal razón que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

Demanda biológica de oxígeno: es la medida del oxígeno que la materia orgánica necesita para ser biológicamente descompuesta, en un periodo de cinco días, y por eso se le llama DBO5.

Demanda química de oxígeno: determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo ciertas condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

3.2.4 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son generalmente tratadas por una combinación de operaciones unitarias (físicas, químicas y biológicas), algunas operaciones donde predominan las fuerzas de separación física son: la sedimentación, y la flotación.

Las operaciones químicas funcionan mediante la adición de productos químicos que permiten la eliminación parcial y total de los contaminantes, por ejemplo la precipitación, y la desinfección.

Las operaciones biológicas son aquellos procesos que se llevan a cabo gracias a la acción biológica de bacterias que degradan la materia orgánica, algunas de estas operaciones son los sistemas de lodos activados y la digestión anaerobia en fosas sépticas.

a) Tipos de tratamientos de aguas residuales

La complejidad de un sistema de tratamiento depende principalmente de la calidad de agua a la que se quiere llegar, teniendo en cuenta un gran número de operaciones y procesos disponibles, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- **Tratamiento Preliminar**
 - **Tratamiento Primario**
 - **Tratamiento Secundario**
 - **Tratamiento Terciario**
-
- **Tratamiento preliminar**

En este tratamiento se remueven los constituyentes del agua residual tales como trapos, ramas, objetos flotantes, arenilla, y grasa, que pueden causar problemas en operaciones de mantenimiento, y en las operaciones o procesos del tratamiento y sistemas auxiliares (Crites y Tchobanoglous. 2000).

Entre los tipos de tratamientos preliminares están:

Rejillas: Con éstas se retiene todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, etc.

En las industrias alimenticias se usa frecuentemente este tratamiento, para remover los sólidos de gran tamaño, entre las mayores aplicaciones se encuentran los mataderos, las industrias alimenticias y sistemas de alcantarillado sanitario.

- **Tratamiento primario**

Entre los tipos de tratamientos primarios más comunes se encuentran:

Separación de aceites y grasas: la separación de grasas en las aguas residuales se da por la diferencia de densidades entre el agua y las grasas, esto se lleva a cabo por reposo del afluente en periodos cortos de tiempo, en tanques pequeños, las grasas salen a la superficie y la descarga de agua sale por una descarga inferior¹, estos sistemas son conocidos como trampas de grasas.

Las trampas de grasas son usadas normalmente en las industrias con concentraciones altas de aceites y grasas, entre estas los mataderos, procesadoras de carnes, fábricas de jabón, plantas de producción y refinación de aceite, entre otras.

Sedimentación: es el proceso donde se remueven por efecto de la gravedad los sólidos sedimentables, parte de los sólidos suspendidos, y por consecuencia la carga orgánica en las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 2003). La sedimentación se utiliza también en la clarificación de sistemas de lodos activados, y en la remoción de flóculos precipitados con agentes químicos.

La eficiencia de las unidades de sedimentación depende de ciertos parámetros como: carga superficial, tiempo de retención, configuración del

¹ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL.

tanque (circular o rectangular), y la temperatura, entre otros (Water Environment Federation).

La sedimentación es frecuentemente usada en las industrias alimenticias debido al alto contenido de sólidos suspendidos que existe en el agua residual.

- **Tratamiento secundario**

El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables. El tratamiento secundario generalmente es biológico, y consiste en aplicar los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica por medio de bacterias y aire inducido (Metcalf y Eddy. 2003)

Dentro de los tratamientos biológicos se usan mecanismos aeróbicos y anaeróbicos tales como:

Sistemas anaeróbicos: son sistemas que estabilizan la materia orgánica mediante bacterias que trabajan en ausencia de oxígeno. En la estabilización ocurren tres etapas importantes: hidrólisis, fermentación y metanogénesis (Metcalf y Eddy. 2003)

Sistemas aeróbicos: son sistemas que estabilizan la materia orgánica mediante bacterias que oxidan y sintetizan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual, y para esto utilizan dos fuentes de energía: el oxígeno suministrado artificialmente por el sistema de aireación seleccionado (difusores, turbinas, etc.) y que a su vez es utilizado para su crecimiento, y el tejido celular muerto, ya que la bacteria al morir se convierte en alimento para otras, y prosigue la conversión de la materia orgánica en dióxido de carbono y agua, este proceso es conocido como respiración endógena (Menéndez. 2007)

Dentro de los sistemas aeróbicos se pueden mencionar dos: Reactor de Mezcla Completa de Lodos Activados, y Reactor de Flujo Pistón.

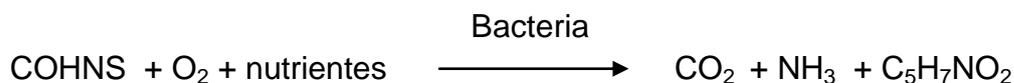
En el diseño del sistema de mezcla completa se usan parámetros claves para determinar la eficiencia del tratamiento, estos son: tiempo de retención de sólidos, la relación de alimento (sustrato) con los microorganismos, y la carga orgánica volumétrica (Menéndez. 2007)

El sistema de mezcla completa se compone de un tanque de aireación, donde ocurre la aireación y mezcla del agua residual con los microorganismos en suspensión; generalmente a esta mezcla se le conoce como Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado (SSLM), o Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado (SSVLM) (Metcalf y Eddy. 2003).

El licor mezclado luego pasa a un clarificador, donde la suspensión de microorganismos sedimenta y se concentra, y parte de este es recirculado hacia el tanque de aireación para mantener estable el sistema. La suspensión se denomina lodos activados debido a la presencia de microorganismos activos (Metcalf y Eddy. 2003)

La estequiometría de la degradación orgánica aerobia se realiza de la siguiente forma²:

- **Oxidación y síntesis**



- **Respiración endógena**



² Metcalf y Eddy.2003

En el siguiente esquema se presenta el sistema seleccionado.

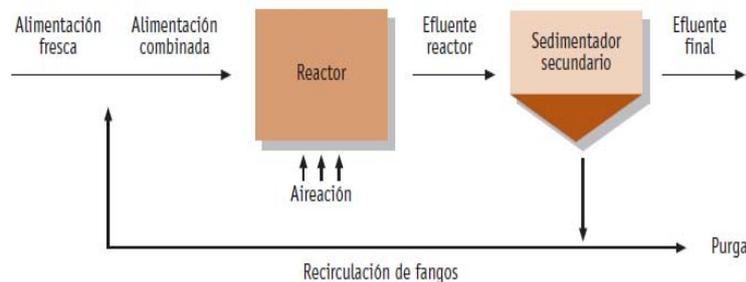


Figura 3.1 Sistema de Mezcla completa y Sedimentador secundario³

- **Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario es el procedimiento más completo para tratar el contenido de las aguas residuales, pero no ha sido ampliamente adoptado por ser muy caro, consiste generalmente en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final.

3.2.5 Criterios de selección de tratamientos

En la selección de los tipos de tratamientos adecuados para las aguas residuales existen criterios que permiten diseñar el sistema de acuerdo a las especificaciones deseadas en el tratamiento, entre estos podemos destacar los siguientes:

a) Características de las aguas residuales

³ www.madrimasd.org. 2010

Es el criterio más importante en el tratamiento a seleccionar, debido a que permite desarrollar el sistema de tratamiento adecuado para la reducción de los contaminantes, hasta niveles aceptables y dentro de las normas del país. La eficiencia deseada se alcanzara por medio del sistema seleccionado.

b) Costos del sistema

Es un criterio sumamente importante puesto que si la tecnología seleccionada es costosa, aumenta el costo del sistema en general, por tal será necesario considerar tratamientos sencillos que reduzcan los costos de diseño, pero siempre asegurando la misma eficiencia de remoción.

c) Calidad del efluente

El diseño del sistema de tratamiento depende de la calidad de agua que se desea alcanzar. La finalidad de cualquier sistema es lograr un efluente aceptable dentro de las normas del país o la región, en que se desarrolle el mismo. En Nicaragua es MARENA el encargado de regular las descargas de efluentes líquidos, según lo establecido en el decreto 33-95.

3.3 Uso y Manejo de Agua

En la industria la valoración de uso de agua se puede realizar a través de las estrategias de la Producción más Limpia (PmL) que es, según el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), la aplicación continúa de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios para aumentar la eficiencia total y reducir los riesgos a los seres humanos y al ambiente⁴.

La Producción más Limpia se puede aplicar a los procesos usados en cualquier industria, a los productos mismos y a los distintos servicios que proporciona la sociedad.

⁴ http://www.cnpml.org/html/que_es_pml.asp. 10/11/2009.

Para los procesos de producción, PmL resulta a partir de una o la combinación de varias opciones:

- Conservación de materias primas, agua y energía; eliminación de las materias primas tóxicas y peligrosas.
- Reducción de la cantidad y la toxicidad de todas las emisiones y desperdicios en la fuente durante el proceso de producción.

En los productos, la Producción más Limpia busca reducir los impactos negativos de los productos sobre el ambiente, la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto.

En los servicios, la Producción más Limpia implica incorporar el quehacer ambiental en el diseño y la prestación de servicios.

ICI con el interés de conocer su desempeño ambiental solicitó a **MULTI CÓN SUL** (una empresa consultora ambiental ubicada en la ciudad de Managua en el km 3 ½ carretera a Masaya), a finales del año 2007 una evaluación con el objetivo de:

- Revisar la normativa ambiental.
- Dar un diagnóstico ambiental de la situación actual de ICI.
- Implementar acciones correctivas que se derivan del diagnóstico.
- Elaborar un plan ambiental.

Igualmente, se invitó al Centro de Producción Más Limpia (CPmL) de la Universidad Nacional de Ingeniería a realizar estudio concerniente a materiales de desechos y reciclaje; lo que se efectuó en el año 2009.

Sin embargo, no se ha realizado ningún estudio del uso de agua en ICI por parte del CPmL, por tanto fue premisa de este trabajo realizar una valoración de uso y manejo de agua, que permita optimizar el consumo de este recurso, proporcionando a la empresa un ahorro en los gastos de operación y una reducción en el manejo de agua residual.

En el horizonte del proyecto, el buen manejo de los recursos hídricos servirá para la determinación del indicador de consumo de agua. Adicionalmente, el hecho de mantener el caudal de agua a niveles mínimos, sin fluctuaciones, contribuirá a la estabilidad en la operación de nueva planta de tratamiento de agua, garantizando la eficiencia de remoción pre-diseñada.

IV. METODOLOGÍA

Este acápite detalla el procedimiento de cálculo de las proyecciones del caudal de agua residual, y las cargas contaminantes, de cada parámetro para el año 2020, datos indispensables en el pre-diseño. También, el acápite describe la metodología utilizada en el diseño del sistema.

4.1 Caracterización de las Aguas Residuales

Para el pre-diseño de la planta de tratamiento se realizó la caracterización de las aguas residuales es decir al afluente de proceso. Dicha caracterización fue efectuada a través de 3 muestreos de agua, donde se analizaron los parámetros seleccionados, que se describen a continuación.

4.1.1 Muestreo

Se realizaron tres muestreos, uno por mes, en Octubre, Noviembre y Diciembre del 2009.

Las muestras fueron tomadas cada 24 horas; se transportaron, se preservaron y se analizaron en el laboratorio del CIEMA, con la participación de los tesisistas. El punto de muestreo fue el afluente de la planta de ICI.

El análisis de los parámetros se hizo mediante un muestreo compuesto, que consistió en la combinación de 175 ml de agua residual que se tomó cada hora en un recipiente de volumen máximo de 1 galón; esto permitió una homogenización de las muestras, obteniendo así un resultado más confiable.

En el presente estudio también se utilizaron los datos históricos de los análisis del año 2009, oportunamente proporcionados por ICI; éstos fueron realizados por el CIEMA, laboratorio que monitorea la calidad del agua de ICI la mayor parte del año. Los datos generados fueron analizados estadísticamente para comprobar su confiabilidad.

4.1.2 Análisis de los muestreos

Los parámetros establecidos para los análisis fueron seleccionados con base en dos objetivos: satisfacer los criterios de diseño del sistema, y obedecer los parámetros de calidad del agua determinados por MARENA⁵ para este tipo de industrias. Los parámetros seleccionados se evaluaron mediante análisis en situ y en el laboratorio, estos se encuentran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Parámetros analizados

Parámetro	Método Analítico
In situ	
pH	pH metro Orion 3star
Temperatura	pH metro Orion 3star
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F Método Volumétrico (ver anexo B.1)
Características Físicas del Agua Residual	Método empírico (ver anexo D.1)
En laboratorio	
DQO	SM 5220 C Método de Reflujo Cerrado (ver anexo B.2)
DBO₅	SM 5210 A Método de Titulación Yodométrico (Modificación de Azida) (ver anexo B.
Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 C Método Gravimétrico (ver Anexo B.4)
Aceites y Grasas	SM 5520 B Método de Partición Gravimétrica ver anexo B.5)

Nota: SM es Standard Method (A. Greenberg; A. Eaton. 1992).

4.2 Metodología de Proyecciones

Las Cargas Contaminantes (CC) para cada parámetro seleccionado constituyen el criterio de diseño de la planta de tratamiento, por lo que fue

⁵ Ver anexo A.

necesario estimarlas para 10 próximos años, lo que corresponde al periodo proyectado desde el 2010 hasta el 2020, tomando el año 2010 como el año 1.

El cálculo de las Cargas Contaminantes del año 2009, como año base, y las proyecciones de las mismas para el periodo de diseño, así como los caudales y volúmenes de producción se realizaron a partir de la siguiente información:

- El volumen de producción de ICI en el año 2009 y las estimaciones para el 2010-2014 proporcionado por dicha empresa.
- El consumo de agua facturado por ENACAL en todo el año 2009.
- Los resultados de análisis del agua residual generados en éste estudio, así como datos históricos, existentes en la empresa como producto de monitoreo del CIEMA que ha tenido lugar en el año 2009.

4.2.1 Proyección del volumen de producción total

El volumen de producción del año 2009 y la estimación de los volúmenes de producción de los 4 años siguientes fueron proporcionados por ICI, para 2010 – 2014, (ver anexo D), pero los siguientes 6 años fueron calculados por los tesisistas para completar los años del horizonte del proyecto, mediante la forma utilizada por ICI.

4.2.2 Proyección del caudal

Los datos de consumo de agua del año 2009, correspondientes a las facturas mensuales de ENACAL, sirvieron para el cálculo de caudal de agua residual. El caudal máximo, facturado en el mes de septiembre fue de 385.7 m³/mes (ver tabla K.1), y fue utilizado como base de cálculo en el pre-diseño.

Para proyectar el caudal de agua residual (Q_{ar}) fue necesario determinar:

- a) Cálculo de Índice de Consumo de Agua del año 2009 (ICA₂₀₀₉):** es el consumo de agua utilizado por kilogramo de producto elaborado, y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$ICA_{2009} \left(\frac{m^3}{kg} \right) = \frac{Q_a \left(\frac{m^3}{año} \right)}{VPT \left(\frac{kg}{año} \right)}$$

4.1

Donde:

Q_a: Caudal de agua para el año 2009, m³/año.

VPT: Volumen de Producción Total para el año 2009, kg/año.

El índice de consumo de agua por kilogramo de producto correspondiente al año 2009, se tomó como el factor de consumo de agua para los próximos 10 años. La consideración fue tomada debido al comportamiento histórico del índice de consumo (ver tabla 4.2). La iniciativa de ICI en el buen uso del agua, en conjunto con las medidas de ahorro de agua que se recomiendan en este estudio, y, propiciarán que éste valor se mantenga constante durante el periodo de proyecto.

Tabla 4.2 Índices de consumo de agua históricos

Año	Valor (m ³ /kg)
2006	2.9 x 10 ⁻⁴
2007	2.9 x 10 ⁻⁴
2008	2.6 x 10 ⁻⁴
Prom.	2.8 x 10 ⁻⁴

Fuente: Proporcionados por ICI

b) Cálculo del Caudal de Agua Residual (Q_{ar})

Entonces, a partir de la ecuación (4.1) se despejó el caudal (Q_a), y se estimaron los caudales del año 2015 y 2020, con la consideración que los volúmenes de agua utilizada son los caudales de agua residual generados (ver ecuación 4.2).

$$Q_a \left(\frac{m^3}{año n} \right) = VPT \left(\frac{kg}{año n} \right) \times ICA_{2009} \left(\frac{m^3}{kg} \right) = Q_{ar} \left(\frac{m^3}{año n} \right)$$

4.2

Donde:

Q_{ar} : Caudal de agua residual proyectado para el año n, m³/año.

Q_a : Caudal de agua para el año 2009, m³/año.

VPT: Volumen de Producción Total proyectado para el año n, kg/año.

n: Año a proyectar (2010, 2011, 2012, ... 2020)

4.2.3 Proyección de la carga contaminante

La Carga Contaminante (CC) representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual, donde los contaminantes son: DQO, DBO₅, Aceites y Grasas (AyG), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Sólidos Sedimentables (S.Sed.), comúnmente se expresan en kg/año⁶.

La carga de cada contaminante del año 2009, se calculó con la ecuación 4.3:

$$CC \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = \text{Parámetro} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times Q_{ar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) \times \left(1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \right)$$

4.3

Donde:

CC: Carga del Contaminante, kg/año.

Parámetro: Concentración del Parámetro, mg/l.

Q_{ar} : Caudal de Agua Residual, m³/año.

1000: Factor de Conversión.

n: Año que se quiere determinar.

Para las proyecciones de las cargas contaminantes de los años del proyecto se determinó un factor de cada contaminante del año 2009: éste indica la relación entre la carga contaminante y el volumen de producción total, y se calculó mediante la ecuación 4.4:

$$FC_{2009} = \frac{CC \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}{VPT \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}$$

4.4

⁶ Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante. Agencia de Medio ambiente.

Donde:

FC₂₀₀₉: Factor de Consumo de agua, correspondiente al año 2009, kg de contaminante por kg de producto.

CC: Carga del Contaminante, kg/año.

VPT: Volumen de Producción Total, kg/año.

Los factores de los contaminantes se mantendrán constantes, a lo largo del proyecto ya que el incremento del caudal de agua residual es proporcional al volumen de producción total.

Por lo tanto, el cálculo de las proyecciones de las cargas contaminantes (CC), se realizó por medio de la ecuación 4.5:

$$CC \left(\frac{\text{kg}}{\text{año } n} \right) = VPT \left(\frac{\text{kg}}{\text{año } n} \right) \times FC_{2009}$$

4.5

Donde:

VPT: Volumen de Producción Total, kg/año.

FC₂₀₀₉: Factor de Consumo de agua, correspondiente al año 2009, kg de contaminante por kg de producto.

CC: Carga del Contaminante, kg/año.

n: Año proyectado (2010, 2011, 2012... 2020)

Una vez calculadas las cargas contaminantes para cada año y cada tipo de contaminante (DQO, DBO₅, Aceites y Grasas, S.Sed., y SST) se procedió a seleccionar las etapas de tratamiento correspondientes.

4.3 Selección de las Etapas de Tratamiento

Se realizó la selección de las etapas de tratamiento acorde a las características de sus aguas residuales. Se valoraron las tecnologías convencionales y modernas existentes para este tipo de industria, para dar un tratamiento adecuado, garantizando costos razonables y cumpliendo con los rangos de los parámetros establecidos en el decreto 33-95, artículo 29.

4.4 Pre-Diseño de las Etapas de Tratamiento

El pre-diseño se realizó con base en la selección de las etapas de tratamiento adecuadas para las aguas residuales de ICI, utilizando modelos y procedimientos de cálculo aceptados internacionalmente.

4.5 Metodología de Estimación de Costos

Se hizo una estimación de costos con base en una cotización de cada una de las etapas de tratamiento y equipos auxiliares del sistema, procurando minimizar los costos de instalación y otros.

4.6 Metodología de Valoración de Uso y Manejo de Agua

Se realizó una valoración de los puntos críticos de consumo de agua en las actividades de ICI, para así determinar las medidas necesarias para disminuir el gasto de agua, y garantizar un manejo óptimo de este recurso en la empresa.

V. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este acápite se presentan los resultados que se obtuvieron durante el desarrollo del trabajo, que permitieron diseñar el sistema de tratamiento adecuado para tratar las aguas residuales ICI.

5.1 Caracterización de las Aguas Residuales

En el presente trabajo se utilizaron los datos de los 3 muestreos realizados durante este estudio, por los tesisistas con el apoyo de ICI y de CIEMA, y los datos históricos del resto del año. La decisión de tomar en cuenta todos los datos se debe a que esto favorece la confiabilidad de los resultados, hablando estadísticamente; y también se consideró oportuno ya que fue el mismo laboratorio, que generó los datos, durante la mayor parte del año. Los valores máximos fueron seleccionados para los cálculos del pre-diseño.

Tabla 5.1 Resultados de los parámetros analizados el año 2009 del afluente de ICI

Mes	pH	S.Sed. (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	AyG (mg/l)	SST (mg/l)
Enero	9.28	9.35	3,979.94	4,627.84	242.90	3,791.60
Febrero	7.17	31.60	2,100.00	2,499.84	17.10	493.10
Marzo	8.45	35.00	4,041.08	4,754.21	47.10	1,281.81
Abril	7.50	75.25	3,050.00	3,735.96	211.00	1,293.33
Junio	10.12	500.00	1,666.67	2,591.12	36.70	721.42
Julio	8.00	40.00	1,750.00	3,900.00	64.70	1,143.33
Agosto	8.31	100.00	760.00	926.53	48.40	527.65
Septiembre	8.69	90.00	2,954.79	5,183.84	115	8,975.00
Octubre	8.98	60.00	2,280.00	2,463.97	118.00	2,400.00
Noviembre	7.20	30.00	653.33	1,943.30	59.90	1,200.00
Diciembre	8.19	19.00	2,040.00	2,727.00	136.70	7,600.00

Nota: Los meses sombreados corresponden a los datos generados estrictamente para el estudio, por los tesisistas.

Se realizó un análisis estadístico para conocer el comportamiento de los datos durante el año 2009 mediante el cálculo de la media y desviación estándar⁷ para cada uno de los parámetros, mediante la ecuación 5.1 y 5.2 respectivamente.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N}$$

5.1

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

5.2

Donde X son los valores y N la cantidad de datos, además se determino el valor máximo con cuales se trabajó para que el diseño del sistema sea eficiente a cualquier rango.

La media para la concentración de S.Sed. se calculó de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{9.35 + 31.60 + 35.00 + 75.25 + 500.00 + 40.00 + 100.00 + 90.00 + 60.00 + 30.00 + 19.00}{11}$$

$$\bar{X} = 90.02$$

La desviación estándar para la concentración de S.Sed. se calculó de la siguiente manera:

$$S = \sqrt{\frac{(9.35-90.02)^2 + (31.60-90.02)^2 + (35.00-90.02)^2 + (75.25-90.02)^2 + (500.00-90.02)^2 + (40.00-90.02)^2 + (100.00-90.02)^2 + (90.00-90.02)^2 + (60.00-90.02)^2 + (30.00-90.02)^2 + (19.00-90.02)^2}{11 - 1}}$$

⁷ Metcalf y Eddy 2003

$$S = 139.07$$

Los valores de los demás parámetro se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Análisis estadístico de cada parámetro en el año 2009

	pH	S.Sed. (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	AyG (mg/l)	SST (mg/l)
\bar{x}	8.50	90.02	2,297.8	3,213.96	99.77	2,675.20
Desv. Estándar	0.90	139.07	1128.69	1,324.36	73.37	2946.66
Max	10.12	500.00	4,041.08	5,183.84	242.90	8,975.00

5.1.1 Análisis de los parámetros

Los resultados de los parámetros analizados in situ y en el laboratorio se describen a continuación.

a) Análisis in situ

- **pH**

Los valores del pH se mantienen relativamente constantes en cada uno de los meses que se realizaron las mediciones, con un valor promedio de 8.5.

El parámetro del pH es importante para el diseño del sistema de tratamiento ya que este es un factor determinante en las condiciones de operaciones principalmente cuando estas son biológicas. En el tratamiento biológico el pH ideal está entre 6.5-7.5, y valor máximo de 9.5 (Metcalf y Eddy. 2003), si se observa la tabla 5.1 solamente un valor sobrepasa del rango, por tal razón, este parámetro en general fue considerado dentro del rango permitido, por MARENA (ver tabla A.1).

- **Sólidos Sedimentables**

El comportamiento de los sólidos sedimentables es variable, y si se observa la tabla 5.1, se refleja que el valor máximo alcanzó 500 mg/l, fue en el mes de junio. Pero incluso el valor mínimo de 9.35 mg/l (ver tabla 5.1), sobrepasa

significativamente el valor reglamentado de 1 mg/l⁸. Por tanto, es necesario diseñar una etapa de sedimentación, donde se remueva la mayor parte de los sólidos sedimentables.

Este parámetro indica la cantidad de materia que puede llegar a sedimentar y es de suma importancia controlar este parámetro ya que puede causar un mal funcionamiento en equipos obstruyéndolos, o bien causar que no se consiga la eficiencia deseada en la unidad de tratamiento.

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual se mantuvo la mayor parte del tiempo constante en un intervalo de 20-22 °C, debido a que el proceso productivo se lleva a cabo a temperaturas bajas y además se utiliza hielo como ingrediente en ciertos procesos.

b) Análisis en laboratorio

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)**

La determinación de la DBO₅ es de suma importancia ya que indica la cantidad de carga orgánica en el agua, y es decisivo en la selección del tipo de tratamiento biológico, que oscila entre los valores de 700 – 4000 mg/l. En la tabla 5.1 la DBO₅ se observa un comportamiento variable en los periodos de muestreos.

Uno de los criterios de diseño más importantes es la carga orgánica, en este caso el valor máximo fue en el mes de marzo, 4,041.08 mg/l.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El resultado de la DQO también es variable y presenta grandes fluctuaciones. La DQO representa la carga orgánica total, tanto biodegradable como no degradable, en el agua residual, y también es sumamente importante en el tipo de tratamiento a seleccionar. El valor máximo fue en el mes de septiembre, de 5,183.84 mg/l.

⁸ Ver anexo A

La relación DBO_5/DQO recomendada en los tratamientos biológicos, se encuentra en un rango de 0.55-0.70; entre más baja sea la relación, menos cantidad de compuestos degradables existen en el agua residual (Menéndez. 2007).

Con el valor máximo de DQO y DBO_5 , de los muestreos, se calculó la relación de DBO_5/DQO , donde se obtuvo como resultado el valor de 0.75, esto garantiza que los compuestos presentes en el agua residual son altamente degradables, y que el tratamiento biológico aerobio es el tratamiento adecuado, que permitirá lograr la remoción de los contaminantes hasta niveles aceptables.

- **Aceites y Grasas**

El comportamiento de este parámetro varía principalmente porque la producción aumenta periódicamente. El máximo valor, es de 242.90 mg/l, que fue en el mes de enero, es significativamente más alto para los estándares establecidos por MARENA⁹. Por tanto es necesario en el sistema de tratamiento, la colocación de una etapa de separación de grasas.

- **Sólidos Suspendidos Totales**

Los SST mantuvieron un valor constante en el periodo de muestreo, exceptuando el mes de septiembre donde el valor máximo de sólidos suspendidos fue de 8,975 mg/l. El valor mínimo que fue de 493.1 mg/l, también sobrepasa la norma de 200 mg/l establecida por MARENA. Por tanto sí existe la necesidad de una etapa de remoción de sólidos suspendidos, mediante la sedimentación.

Los resultados mostrados en el análisis de cada uno de los parámetros, ya sea sus concentraciones máximas o promedio comprueba que las aguas residuales de ICI están altamente contaminadas, ya que sobrepasan los rangos de descargas de efluentes líquidos propuestos por Metcalf y Eddy.

⁹ Ver tabla A.1.

2003, por tanto es importante que el sistema a seleccionar sea el adecuado, con una alta eficiencia de remoción.

5.1.2 Parámetros del pre - diseño

Los resultados obtenidos proporcionaron los valores de los parámetros de pre-diseño (tabla 5.3), que constituyen la base para el cálculo de las cargas contaminantes del año 2009. El único parámetro que no fue analizado fue el caudal, que corresponde a la factura de ENACAL.

Tabla 5.3 Valores de los parámetros del pre-diseño

Parámetros	Valor
pH	8.5
DQO	5,183.84 mg/l
DBO ₅	4,041.08 mg/l
AyG	242.90 mg/l
SST	8,975.00 mg/l
S.Sed.	500.00 mg/l
Caudal de agua residual ¹⁰ (Q _{ar})	385.7 m ³ /mes

5.2 Resultados de Proyecciones

En este acápite se presentan los resultados que se obtuvieron en cada una de las proyecciones, que fueron necesarias en la determinación de las cargas de los contaminantes para el periodo del proyecto.

5.2.1 Proyección de los Volúmenes de Producción Totales (VPT)

ICI distribuye actualmente a dos cadenas de mercados *La Unión* y *Palí*, mientras que para los años 2011 se espera la apertura de otro mercado, una *Maxi Bodega*, y para el año 2012 un mercado llamado *Hipermercado*, a los cuales también ICI distribuirá en varias categorías de productos cárnicos, para los que ICI tiene un aporte diferente dependiendo de las ventas estimadas para cada categoría, las que son:

¹⁰ Ver anexo K.

- Res.
- Cerdo
- Pollo
- Formados.
- Embutidos.
- Marinados de pollo, res y cerdo.

El comportamiento de las proyecciones de producciones se realizó tomando como referencia el historial anual de producción del año 2006 hasta el año 2009 proporcionado por ICI, los cuales tienen un comportamiento creciente.

Tabla 5.4 Datos históricos de Volúmenes de Producción Totales Anuales

Año de Producción	Producción Total (kg)
2006	30,061,219
2007	37,438,176
2008	41,310,076
2009	42,129,692

Fuente: Proporcionados por ICI

Para las proyecciones de los VPT fue necesario realizar los cálculos de los volúmenes de producción que es la sumatoria de las libras de de cada mercado.

a) Cálculos de las proyecciones de los Volúmenes de Producción

ICI proporcionó los Volúmenes de Producción (VP) de cada categoría y para cada mercado de los años 2010, 2011, 2012, 2013, y 2014.

A través del cálculo se determinaron los volúmenes de producción (VP) restantes, estos se realizaron por categoría (antes mencionadas) y para cada mercado.

Para el cálculo de la proyección del volumen de producción fue necesario lo siguiente:

- **Cálculo de las ventas totales en dólares para cada categoría y mercado en el periodo de proyecto.**

Para el cálculo de las ventas en dólares para cada categoría y mercado de los años restantes fue necesario el cálculo de un porcentaje promedio de incremento, el cual se determinó con la ecuación D.1, las ventas para la categoría de res y cerdo en Palí, para el periodo 2009-2014, son presentadas en la tabla C.1.

Para la categoría de res, aplicando la ecuación D.1 se obtiene:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{\$ 10,962,239}{\$ 11,372,767} - 1 \right) \times 100 = - 3.61$$

El signo negativo indica que la producción de la categoría de res no aumentó, sino lo contrario, hubo una disminución del 3.61% para el año 2010 con respecto al año 2009.

Para la categoría de cerdo, aplicando la ecuación D.2 se obtiene:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{556,063}{510,707} - 1 \right) \times 100 = 8.88 \%$$

Las demás categorías son presentadas en el anexo D.

Tabla 5.5 Porcentaje de incremento de ventas para Res y Cerdo en el periodo 2010–2014

Mercados	2010	2011	2012	2013	2014	% Prom. de incremento
RES						
Palí	- 3.61 %	5.48 %	12.69 %	15.00 %	13.43 %	7.39 %
La Unión	3.65 %	8.20 %	12.16 %	3.50 %	7.92 %	7.09 %
Hipermercado	-	-	-	98.21 %	45.48 %	71.85 %
Maxi Bodega	-	-	95.63 %	40.73 %	66.98 %	67.78 %
CERDO						
Palí	8.88%	18.44%	20.35%	22.21%	23.71%	18.72%
La Unión	18.34%	12.60%	16.58%	7.47%	11.81%	13.36%
Hipermercado	-	-	-	105.81%	50.72%	78.27%
Maxi Bodega	-	-	103.56%	46.09%	73.15%	74.27%

Fuente: Elaborado por tesistas

El cálculo de los porcentajes promedios se hizo con la ecuación D.2.

A continuación son presentadas las ventas para los años restantes de las categorías de res y cerdos.

- **Cálculo de las ventas en dólares proyectadas para el periodo 2015 – 2020**

El cálculo de la venta en dólares de los 6 años restantes (2015 – 2020) se hizo incrementando la venta conforme al porcentaje promedio, multiplicando el valor por la venta en dólares del año anterior, a esto se le suma la cantidad de ventas de dólares también del año anterior.

Con la ecuación D.3, se determinaron las ventas de res y cerdo de Palí, los demás resultados se presentan en el anexo D. Los cálculos de las demás categorías están en el anexo D.

Aplicando la ecuación D.3 se obtiene para la categoría de res:

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.074 \times \$ 16,998,851) + \$ 16,998,851 = \mathbf{18,255,291}$$

Aplicando la ecuación D.3 se obtiene para la categoría de cerdo:

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.1872 \times 1,198,318) + 1,198,318 = 1,422,616$$

A continuación son presentadas las ventas para la categoría de res y cerdo en el periodo 2015 – 2020 (ver tabla 5.6).

Tabla 5.6 Ventas en dólares para res y cerdo proyectadas para el periodo 2015-2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RES (\$/lb)						
Palí	18,255,291	19,604,598	21,053,636	22,609,778	24,280,938	26,075,620
La Unión	5,894,056	6,311,846	6,759,250	7,238,367	7,751,445	8,300,893
Hipermercado	2,430,418	4,176,554	7,177,202	1,2333,669	21,194,805	36,422,231
Maxi Bodega	4,605,650	7,727,379	12,965,028	21,752,778	36,496,900	61,234,649
CERDO (\$/lb)						
Palí	1422,616	1,688,898	2,005,566	2,381,008	2,826,679	3,355,770
La Unión	70,877	80,346	91,081	103,250	117,044	132,682
Hipermercado	246,580	439,576	783,629	1,396,971	2,490,371	4,439,569
Maxi Bodega	433,612	755,646	1,316,845	2,294,834	3,999,150	6,969,220

Fuente: Elaborado por los tesistas

- **Cálculo del precio en dólares por libra por categoría y mercado en el periodo de proyecto.**

Con las ecuaciones D.4, D.5, D.6, D.7, proporcionadas por ICI, se calcularon los precios en dólares de los años posteriores para cada mercado.

Los precios de cada categoría y mercado a partir del año 2009 hasta el año 2014 fueron proporcionados por ICI (ver tabla C.3).

Los resultados de los precios de las categorías de res y cerdo en Palí, La Unión, Maxi bodega e Hipermercado, del año 2015 son presentados a continuación.

- Palí

Aplicando la ecuación D.4 se obtiene en la categoría res en el año 2015:

$$\text{Precio x lb}_{\text{año 2015}} = 1.30 \times (1+1.5) = \$ 1.32$$

Aplicando la ecuación D.4 se obtiene en la categoría de cerdo en el año 2015:

$$\text{Precio X lb}_{\text{año 2015}} = (1.95) \times (1 + 1.5) = \$ 1.98$$

- La Unión

Aplicando la ecuación D.5 se obtiene para la categoría res en el año 2015:

$$\text{Precio x lb}_{2015} = 1.53 \times (1+0.015) = \$ 1.56$$

Aplicando la ecuación D.5 se obtiene para la categoría cerdo en el año 2015:

$$\text{Precio x lb}_{2015} = 2.25 \times (1+0.015) = \$ 2.28$$

- Hipermercado

Aplicando la ecuación D.6 se obtiene para la categoría res en el año 2015:

$$\text{Precio X lb}_{2015} = (1.32 \times 0.5) + (1.56 \times 0.5) = \$ 1.44$$

Aplicando la ecuación D.6 se obtiene para categoría cerdo en el año 2015:

$$\text{Precio X lb}_{2015} = (1.98 \times 0.5) + (2.28 \times 0.5) = \$ 2.13$$

- Maxi bodega

Aplicando la ecuación D.7 se obtiene para categoría res en el año 2015:

$$\text{Precio X lb}_{2015} = (1.32 \times 0.75) + (1.56 \times 0.25) = \$ 1.38$$

Aplicando la ecuación D.7 se obtiene para categoría cerdo en el año 2015:

$$\text{Precio X lb}_{2015} = (1.98 \times 0.75) + (2.28 \times 0.25) = \$ 2.05$$

El cálculo es el mismo para las demás categorías, los resultados son presentados en el anexo D.

A continuación se muestran las proyecciones para la categoría de res y cerdo, para los demás años.

Tabla 5.7 Precios en dólares por libras de Res y Cerdo proyectados para el período 2015–2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RES (\$/lb)						
Palí	1.32	1.34	1.36	1.38	1.40	1.42
La Unión	1.56	1.58	1.60	1.63	1.65	1.68
Hipermercado	1.44	1.46	1.48	1.50	1.53	1.55
Maxi Bodega	1.38	1.40	1.42	1.44	1.46	1.48
CERDO (\$/lb)						
Palí	1.98	2.01	2.04	2.07	2.10	2.13
La Unión	2.28	2.32	2.35	2.39	2.42	2.46
Hipermercado	2.13	2.16	2.19	2.23	2.26	2.29
Maxi Bodega	2.05	2.08	2.12	2.15	2.18	2.21

Fuente: Elaborado por los tesisistas

Una vez calculadas las proyecciones de ventas en dólares para todas las categorías y mercados, y los precios por libra en dólares, se procede a calcular los volúmenes de producción.

Aplicando la ecuación D.8 se obtiene para categoría res y cerdo, en Palí en el año 2015:

$$VP \text{ res} = \frac{18,255,291 \$}{1.32 \frac{\$}{lb}} = 13,830,507 \text{ lb}$$

$$VP \text{ cerdo} = \frac{\$ 1,422,616}{\$ 1.98} = 719,850 \text{ lb}$$

De la misma forma se hizo para los demás mercados, ver tabla 5.8, para los 6 años restantes, para las demás categorías ver anexo D.

Tabla 5.8 Volúmenes de producción en libras de Res y Cerdo proyectados para el periodo 2015–2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RES (lb)						
Palí	13,830,507	14,633,265	15,474,994	16,373,202	17,323,545	18,392,470
La Unión	3,788,210	3,996,779	4,216,831	4,448,999	4,693,949	4,952,385
Hipermercado	1,690,241	2,861,671	4,843,872	8,200,941	13,884,645	23,544,742
Maxi Bodega	3,340,040	5,521,117	9,123,229	15,080,779	24,928,663	41,309,584
TOTAL (lb)	22,648,999	27,012,832	33,658,926	44,103,922	60,830,802	88,199,181
CERDO (lb)						
Palí	719,850	841,960	985,052	1,152,171	1,347,618	1,576,218
La Unión	31,034	34,660	41,505	43,234	48,286	53,928
Hipermercado	115,762	203,318	357,097	627,188	1,101,560	1,934,723
Maxi Bodega	211,192	362,601	622,557	1,068,881	1,835,186	3,150,870
TOTAL (lb)	1,077,838	1,442,539	2,006,212	2,891,474	4,332,649	6,715,739

Fuente: Elaborado por los tesistas.

Se procedió a calcular los VPT del periodo 2010-2020, que es la suma de todos los volúmenes de producción por mercado en el mismo año, con la ecuación D.9, ver tabla 5.9.

Tabla 5.9 Volúmenes de Producción Totales proyectados para el período 2010–2020

Año	VPT (lb)	VPT (kg) ¹¹
2010	43,961,103	19,982,320
2011	47,795,268	21,725,122
2012	55,258,752	25,117,614
2013	63,123,960	28,692,709
2014	72,434,178	32,924,626
2015	86,784,106	39,447,321
2016	103,034,339	46,833,791
2017	124,720,845	56,691,293
2018	159,230,351	72,377,432
2019	211,805,115	96,275,052
2020	279,938,788	127,244,904

Fuente: Elaborado por los tesistas

¹¹ Considerando 1 kg = 2.2 lb

5.2.2 Proyección de caudal de agua residual (Q_{ar})

Para la proyección se consideró el valor de 385.70 m³/mensual.

Con la ecuación 4.1 se obtuvo el ICA del año 2009:

$$ICA_{2009} = \frac{385.70 \frac{m^3}{mes} \times \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right)}{17,814,428 \left(\frac{kg}{año} \right)} = 2.60 \times 10^{-4} \frac{m^3}{kg}$$

En este proyecto para fines de diseño se asume que el factor de consumo de agua por kilogramo de producto en ICI se mantendrá constante, para todos los años del proyecto, debido a que las proyecciones realizadas de consumo de agua (caudal de agua residual) y volúmenes de producción totales son proporcionales.

Ahora con el factor de consumo de agua y con la producción total del cada año se procedió a calcular el caudal de agua residual, aplicando la ecuación 5.2 y con los VPT presentes en la tabla 5.9.

A continuación se presenta el cálculo de caudal de agua residual, con la ecuación 5.2 para el año 2020.

$$Q_{2020} = 127,244,904 \frac{kg}{año} \times 2.60 \times 10^{-4} \frac{m^3}{kg} = 3,3079.54 \frac{m^3}{año}$$

Se hizo la conversión a m³/día.

$$Q_{2020} = 3,3079.54 \frac{m^3}{año} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 91.83 \frac{m^3}{día}$$

Así, de la misma forma se obtuvieron los caudales de agua residual para cada año, tabla 5.10.

Tabla 5.10 Caudales proyectados para el período 2010 - 2020

Año	Caudal (m ³ /año)	Caudal (m ³ /día)
2010	5,191.64	14.42
2011	5,644.44	15.68
2012	6,525.85	18.13
2013	7,454.71	20.71
2014	8,554.21	23.76
2015	10,248.88	28.47
2016	12,167.97	33.80
2017	14,729.07	40.91
2018	18,804.52	52.23
2019	25,013.40	69.48
2020	33,059.74	91.83

Fuente: Elaborado por los tesistas

5.2.3 Proyección de Cargas Contaminantes (CC)

Para la proyección de las cargas contaminantes se trabajó con las concentraciones presentadas para el año 2009 (ver tabla 5.3).

Aplicando la ecuación 4.3 para DQO, se obtuvo la carga anual:

$$C_{DQO} = \left(5,183.84 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times \left(385.7 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right) \div 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{\text{mg}} = 23,992.92 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

De esta forma se calcularon las cargas contaminantes para el año 2009, estas son presentadas a continuación.

Tabla 5.11 Cargas de los contaminantes para el año 2009

CC (kg/año)	
DQO	23,992.92
DBO	18,703.73
AyG	1,124.24
SST	41,539.89
S.Sed.	2,314.20

Fuente: Elaborado por los tesistas

Luego de haber obtenido las cargas de los contaminantes, por medio de la ecuación 4.4 se calcularon los factores de los contaminantes.

$$F_{DQO\ 2009} = \frac{23,992.92 \frac{\text{kg contaminante}}{\text{año}}}{17,814,428 \frac{\text{kg}}{\text{año}}}$$

$$F_{DQO\ 2009} = 1.35 \times 10^{-3} \frac{\text{kg contaminante}}{\text{Kg producto}}$$

De esta forma se calcularon los factores de todos los contaminantes, estos son presentados a continuación.

Tabla 5.12 Factores de los contaminantes para el año 2009

FC (kg contaminante/kg producto)	
DQO	1.35×10^{-3}
DBO	1.05×10^{-3}
AyG	6.31×10^{-5}
SST	2.33×10^{-3}
S.Sed.	1.30×10^{-4}

Luego de haber calculado las cargas contaminantes del año 2009 y los factores para cada uno, se proyectaron las cargas para los 10 años.

Aplicando la ecuación 4.5 para el año 2020 se obtiene:

- Año 2020

$$C_{DQO\ \text{año } 2020} = 127,244,904 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \times 1.35 \times 10^{-3}$$

$$C_{DQO\ \text{año } 2020} = 171,376.64 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

De la misma forma se realizó el cálculo para las demás cargas contaminantes para cada año respectivamente, ver anexo F, tabla F.2 hasta tabla F.5.

Tabla 5.13 Cargas proyectadas de los contaminantes para el año 2015 y 2020

Carga Contaminante	2015 kg/año	2020 kg/año	2015 kg/día	2020 kg/día
DQO	53,128.64	171,376.64	147.58	476.05
DBO₅	41,416.55	133,597.04	115.05	371.1
AyG	2,489.45	8,030.21	6.92	22.31
SST	91,983.72	296,711.14	255.51	824.2
S.Sed.	5,124.44	16,529.87	14.23	45.92

Fuente: Elaborado por los tesisistas

Con las cargas contaminantes se procedió a calcular las concentraciones del año 2020, con la siguiente ecuación, en este caso la DQO.

$$\text{Parámetro } \frac{\text{mg}}{\text{l}} = \frac{\text{CC } \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{Q_{\text{ar}} \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \times 1,000 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{\text{l}}{\text{mg}} \quad 5.3$$

Donde:

1000: Factor de Conversión.

$$[\text{DQO}] = \frac{171,376.64 \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}{33,059.74 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) 1,000 \div \left(\frac{\text{l}}{\text{mg}} \times \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \right)} = 5,183.84 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

En el anexo F se detallan los cálculos de cargas de cada parámetro para el periodo 2010–2020

Tabla 5.14 Concentraciones proyectadas de los parámetros para el año 2020

Concentración mg/l	Año 2020
DQO	5,183.84
DBO	4,041.08
AyG	242.90
SST	8,975.00
S.Sed.	500.00

Fuente: Elaborado por tesisistas

Debido a que el aumento del consumo de agua en ($m^3/año$), es proporcional al volumen de producción total ($kg/año$), y el factor de consumo se mantiene constante, por tanto las concentraciones se mantienen invariables para todos los años del proyecto, no así las cargas contaminantes ($kg/año$) de los parámetros, que expresan la cantidad de contaminante por producto producido anualmente.

5.3 Selección de las Etapas de Tratamiento

La selección de las etapas del tratamiento, se basó principalmente en las características de las aguas residuales de ICI, presentadas en el acápite 5.1.1.

La colocación de una unidad de **Separación de Grasas** fue seleccionada debido principalmente a que este tipo de industria genera en el proceso, agua de desecho con cantidades significativas de grasas y aceites. Esta unidad garantiza la remoción de grasas hasta un nivel aceptable.

Los resultados obtenidos en la cantidad de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales (ver tabla 5.1), ameritan la puesta en marcha de la etapa de sedimentación primaria para remoción de estos sólidos; ésta etapa también garantiza también la reducción parcial de las concentraciones de DBO_5 y DQO.

Se seleccionó el tratamiento denominado **Lodos Activados por Mezcla Completa**, principalmente porque garantiza una mezcla de aire en todo el sistema, permitiendo una mejor distribución de oxígeno y una alta eficiencia de remoción, reduciendo a niveles aceptables las concentraciones de DQO, DBO_5 y sólidos suspendidos totales.

Posteriormente se hace pasar por un **Tanque de Sedimentación Primaria (TSP)** que es la etapa complementaria del sistema de lodos activados, de esta forma se logra separar la carga orgánica estabilizada, del agua residual. Los sedimentos serán retirados por debajo del tanque, y el líquido clarificado se retira por canales en la superficie del tanque.

El sedimentador está diseñado para una eficiencia de separación de sólidos del 99% (Metcalf y Eddy. 2003). El diseño es de un tanque circular, con una parte cónica en el fondo, para garantizar que los sólidos sean almacenados correctamente, de donde se recirculara una parte y la otra se desecha.

5.4 Pre-Diseño de las Etapas de Tratamiento

Los cálculos detallados del pre-diseño que se realizaron para cada etapa y se presentan en los anexos G, H, I, J.

Los valores de las concentraciones y de carga de los contaminantes del año 2020 que se utilizaron en el pre-diseño se encuentran respectivamente las tablas 5.13 y 5.12.

5.4.1 Trampa de grasa

Para la remoción de grasas se diseñó una trampa que se implementará en dos etapas: la primera funcionará durante el periodo 2010-2015, y la otra del 2015 hasta 2020. Las ecuaciones de diseño se tomaron con base en la “Guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales de ENACAL” (ver anexo G). Los resultados son presentados a continuación en la tabla 5.15.

Tabla 5.15 Dimensiones y características de diseño de la trampa de grasa

Características de Diseño	Valor 2015	Valor 2020
Volumen del separador (V)	0.6 m ³	1.92 m ³
Área del separador (A)	1.92 m ²	1.92 m ²
Longitud del separador (L)	0.8 m	0.8 m
Ancho del separador (B)	2.4 m	2.4 m
Altura del separador (H)	0.31 m	1 m
Tiempo de retención (TRH)	0.5 horas	0.5 horas
Altura del baffle (H_b)	0.69 m	0.69 m
Flujo de grasa removida (Q_{grasa})	0.23 kg/día	0.84 kg/día
Volumen de grasa removida (V_{grasa})	0.0074 m ³	0.027 m ³
Altura de la capa de grasa (H_{grasa})	0.0074 m/día	0.027 m/día
Eficiencia de remoción de grasas (%)	90	90

a) Esquema de la trampa de grasa

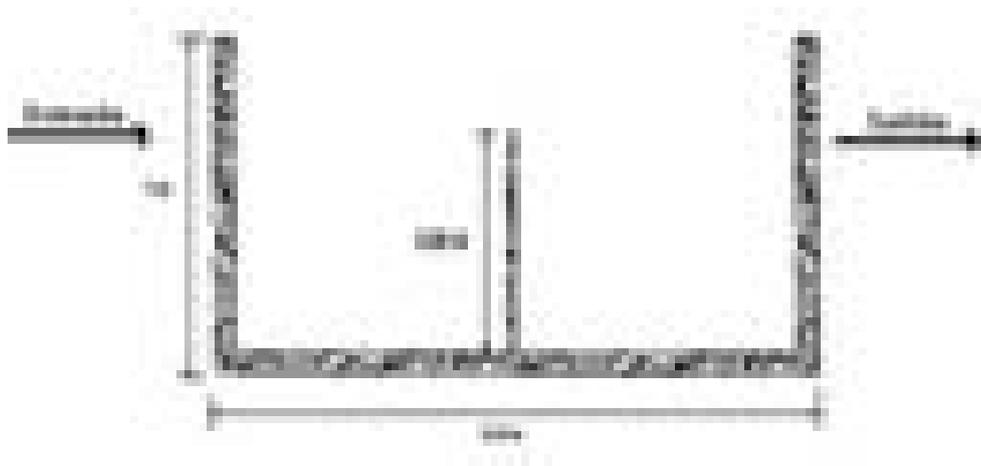


Figura 5.1 Vista de perfil de la trampa de grasa

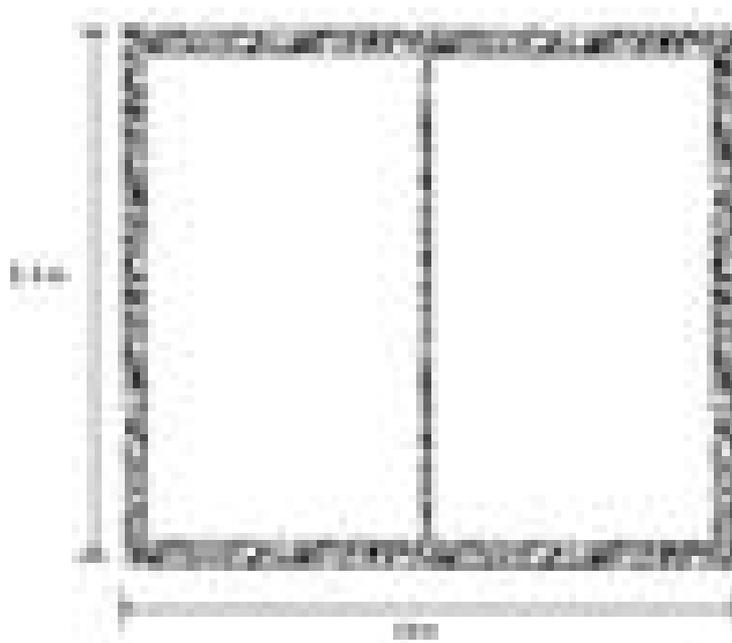


Figura 5.2 Vista de planta de la trampa de grasa

b) Remociones que ocurren en la trampa de grasa

Tabla 5.16 Remoción de los contaminantes en la trampa de grasa

Parámetro	[AyG]	C _{AyG}	[DBO ₅]	C _{DBO5}	[DQO]	C _{DQO}
Remoción para el año 2015						
Afluente	242.90	6.92	4041.08	115.05	5,183.84	147.58
Remoción (%)	90	90	20	20	20	20
Efluente	24.29	0.69	3232.86	92.04	4,147.1	118.06
Remoción para el año 2020						
Afluente	242.90	22.31	4041.08	371.1	5,183.84	476.05
Remoción (%)	90	90	20	20	20	20
Efluente	24.29	2.23	3232.86	296.88	4,147.1	380.84

Fuente: Elaborado por tesistas

5.4.2 Tanque de sedimentación primaria (TSP)

Todas las consideraciones requeridas para el diseño del tanque de sedimentación circular, incluyendo las ecuaciones de diseño, están presentadas en el anexo H.

A continuación se muestran los resultados finales en la tabla 5.17.

Los criterios de diseño en la unidad se aplicaron al caudal del año 2020. Las características estructurales del tanque permiten su diseño en una sola etapa, sin alterar la eficiencia de remoción de los contaminantes en todo el periodo del proyecto.

Cabe destacar que en los primeros años de operación, el tiempo de retención será mayor que el diseñado para el final del periodo; hecho que favorece el porcentaje de remoción en los primeros años (ver anexo H, ecuación H.5). El mecanismo de transporte del agua a la siguiente etapa se da por reboso.

Tabla 5.17 Dimensiones y características de diseño del TSP para 2015 y 2020

Características de Diseño	Año 2015	Año 2020
Volumen (V)	11.2 m ³	11.2 m ³
Área (A)	3.1 m ²	3.1 m ²
Diámetro (D)	2.0 m	2.0 m
Altura (H) ¹²	3.6 m	3.6 m
Tiempo de Retención (TRH)	6 h	2.9 h

a) Esquema del TSP

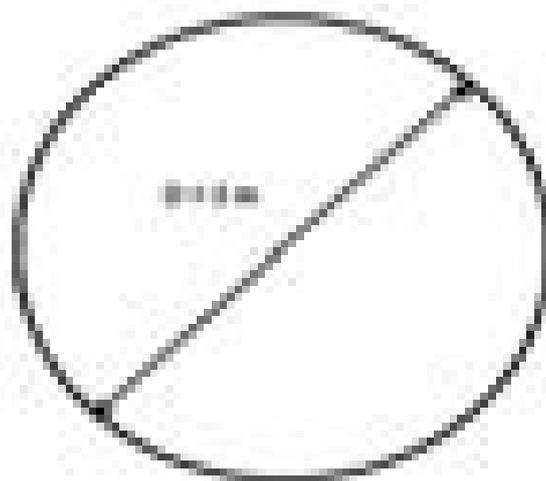


Figura 5.4 Vista de planta del TSP

¹² Metcalf y Eddy. 2003.

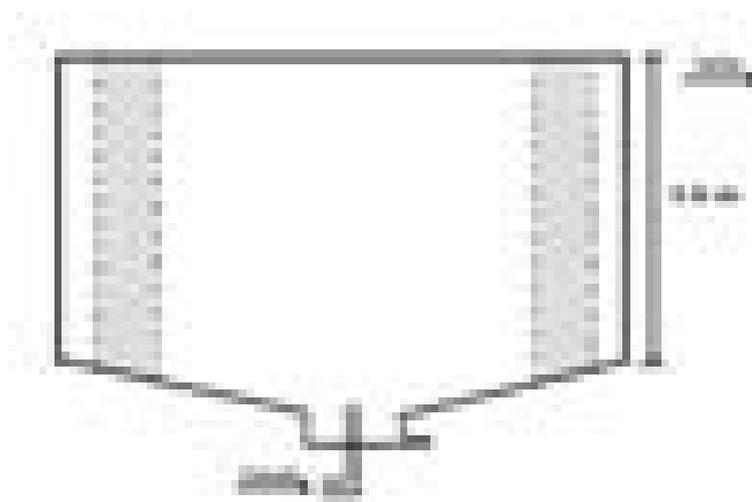


Figura 5.5 Vista de perfil del TSP

b) Remociones que ocurren en el TSP

La remoción de contaminantes que se lleva a cabo en el TSP se muestra en la tabla 5. 18.

Tabla 5.18 Remoción de los contaminantes en el TSP

Parámetro	Afluente	Remoción (%) año 2015	Remoción (%) año 2020	Efluente
[DBO₅]	3,232.86 mg/l	45.6	38.5	1988.21 mg/l
C_{DBO5}	296.88 kg/día			182.6 kg/día
[DQO]	4,147.1 mg/l	40	40	2,488.26 mg/l
C_{DQO}	380.84 kg/día			228.5 kg/día
[SST]	8,975.00 mg/l	67.6	60.6	3,536.15 mg/l
C_{SST}	824.2 kg/día			324.73 kg/día
[S. Sed.]	500 mg/l	99	99	5 mg/l
C_{S.Sed.}	45.92 kg/día			0.46 kg/día

5.4.3 Sistema de lodos activados por mezcla completa

Todas las consideraciones requeridas para el diseño del tanque de sedimentación circular, incluyendo las ecuaciones de diseño propuestas, son presentadas en el anexo I. A continuación se muestran los resultados finales en la tabla 5.19.

Tabla 5.19 Dimensiones y características de diseño del sistema de Lodos Activados para el año 2020

Características de diseño	Valor
Altura (H)	4.9 m
Largo (L)	5.4 m
Ancho (W)	2.7 m
Área (A)	14.6 m ²
Volumen (V)	73 m ³
Tiempo de Retención Hidráulico (THR)	22 h
Tiempo de Retención de Sólidos (TRS)	6 días
Flujo Volumétrico de Aire Requerido (F _{aire})	4,709.3 m ³ /día
Eficiencia del Sistema en base a la DBO ₅ del efluente	95%

Fuente: Elaborado por tesistas

a) Esquema del sistema de Lodos Activados

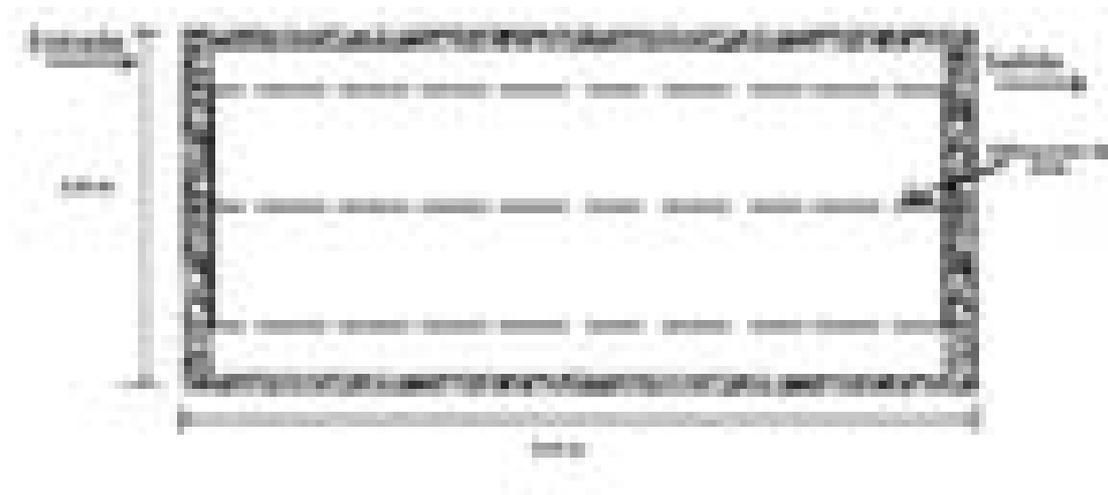


Figura 5.6 Vista de planta del sistema



Figura 5.7 Vista de perfil del sistema

b) Remociones que ocurren en el sistema de Lodos Activados

Las concentraciones que se utilizaron en sistema de lodos activados son recalculadas para el caudal de diseño del sistema (presentadas en el Anexo I), por tanto no son las mismas que en el efluente del sedimentador primario. A continuación se detallan los valores, en la tabla 5.20.

Tabla 5.20 Remoción de los contaminantes en el sistema de Lodos Activados

Parámetro	Afluente	Remoción (%)	Efluente
[DBO ₅]	2,308.54 mg/l	95	114.51 mg/l
C _{DBO5}	182.6 kg/día		9.13 kg/día
[DQO]	2,865.92 mg/l		143.29 mg/l
C _{DQO}	228.5 kg/día		11.42 kg/día
[SST]	4,072.87 mg/l	96.7	134.40 mg/l
C _{SST}	324.73 kg/día		10.70 kg/día

5.4.4 Tanque de sedimentación secundaria (TSS)

El diseño del sedimentador secundario se hizo con base en las ecuaciones de diseño propuestas por Metcalf y Eddy, 2003, y Shun Dar Lin, 2001, para un tanque circular.

Las ecuaciones de diseño propuestas y los resultados son presentados en el anexo J.

Tabla 5.21 Dimensiones y características del diseño del sedimentador secundario para el año 2020

Características de Diseño	Valor
Área (A)	6.04 m ²
Diámetro (D)	3 m
Altura (H)	4 m
Carga de sólidos (C _{sólidos})	4.0 kg/ m ² x h
Volumen (V)	24.2 m ³
Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)	6.0 h
Eficiencia de remoción de Sólidos ¹³	99%

Fuente: Elaborado por tesistas

a) Esquema del TSS

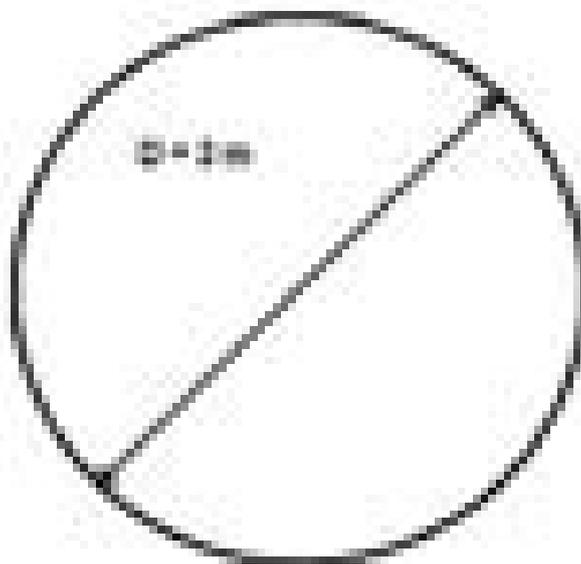


Figura 5.8 Vista de planta del tanque

¹³ Metcalf y Eddy. 2003

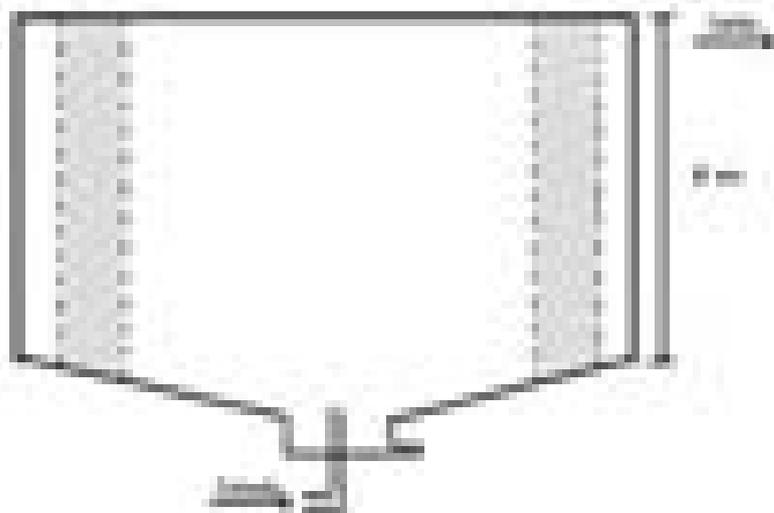


Figura 5.9 Vista de perfil del tanque

b) Remociones que ocurren en el TSS

Tabla 5.22 Remoción de los contaminantes en el TSS

Parámetro	Afluente	Remoción (%)	Efluente
[S.Sed.]	5.8 mg/l	90	0.63 mg/l
C _{s.Sed.}	0.46 kg/día		0.05 kg/día

5.5 Resultados de la Remoción en el Sistema de Tratamiento

El sistema de tratamiento seleccionado cumple con los criterios establecidos en el artículo 29, decreto 33-95, ya que los parámetros están en niveles aceptables, ver tabla 5.22. El parámetro que no sufre cambios durante el proceso es el pH, debido a que ya se encuentra dentro de la norma, y durante el tratamiento aerobio no sufre modificación alguna, por tal se mantiene en un rango promedio de 8.5 (ver tabla 5.2).

Tabla 5.23 Resultados de los parámetros de efluente en el pre-diseño

Parámetro	Valor de Afluente	Valor de Efluente	Norma según MARENA
pH	8.5	8.5	6-9
DQO	5,183.84 mg/l	143.29 mg/l	250 mg/l
DBO ₅	4,041.08 mg/l	114.51 mg/l	150 mg/l
AyG	242.90 mg/l	24.29 mg/l	30 mg/l
SST	8,975.00 mg/l	134.40 mg/l	200 mg/l
S.Sed.	500.00 ml/l	0.63 mg/l	1 mg/l

Fuente: Elaborado por los tesisistas

5.6 Valoración de Uso y Manejo de Agua

Se realizó la valoración de los puntos de proceso de producción donde el consumo de agua no moderado es evidente, por lo tanto se propusieron las siguientes medidas para el buen manejo de agua:

- a) **Sanitización de la planta:** en esta actividad se consume gran cantidad de agua, puesto que es sumamente necesaria en la desinfección de todas las superficies de la planta.

Las medidas propuestas son las siguientes:

- Instalación de boquillas para regular la presión en las mangueras.
- Dar seguimiento al procedimiento de limpieza establecido por la empresa, que delimita que al momento de recolección de sólidos, debe hacerse manualmente para evitar el derroche de agua.
- Instalar un caudalímetro en la planta para revisar el consumo de agua diario en el lavado.

- b) **Lavandería:** la actividad utiliza bastante agua debido a que diariamente se lavan los uniformes de los trabajadores de la planta, en una maquina lavadora.

Las medidas propuestas son las siguientes:

- El flujo de la lavadora debe ser monitoreado, por medio de un caudalímetro, de esta forma se garantiza que no existan fugas de agua durante el lavado.
- Concientizar al personal de la importancia del buen uso del agua, para evitar el desperdicio de la misma.

c) Higiene del personal: en esta actividad el consumo de agua es grande ya que diariamente, y cada vez antes de entrar a realizar operaciones, los operarios debe lavar sus manos, y botas.

Las medidas propuestas son las siguientes:

- Concientizar al personal de la importancia del buen uso del agua, para evitar el desperdicio de la misma, durante el lavado de manos y botas.
- Regular el flujo de las mangueras con la boquillas, a una mayor presión y menor volumen, esto permite un menor uso de agua durante el proceso de lavado de botas.

d) Lavado de cajillas: en esta actividad se debe llenar la maquina lavadora con agua, durante cada ciclo de lavado, y el consumo de agua es alto.

Las medidas propuestas son las siguientes:

- Instalar un caudalímetro en el área para revisar el consumo de agua diario en el lavado.
- Concientizar al personal de la importancia del buen uso del agua, para evitar el desperdicio de la misma, durante el lavado de cajillas.

Dentro de todos los procesos de la empresa el agua es sumamente necesaria para las actividades, por tal las propuestas generales que son aplicables a todos los procesos, y entre algunas para el buen uso del agua están las siguientes:

- Instalación de boquillas para regular la presión de agua en todas las mangueras.

- Instalar caudalímetros en las actividades donde se haya detectado un gasto de agua considerable, donde destacan la sanitización de planta, lavandería y lavado de cajillas.
- Concientizar al personal de la importancia de dar un buen uso del agua en las actividades.

Estas medidas propuestas en el buen manejo de recursos hídricos, y el programa de sostenibilidad que está desarrollando ICI, un programa regional en todas las industrias ICI de Centroamérica, donde el objetivo principal es el mejoramiento del uso del agua utilizada en las actividades diarias de las empresas, permitirá que el consumo de agua por kilogramo de producto se mantenga constante a lo largo del periodo de proyecto.

5.7 Estimación de Costos

Los costos se estimaron en base al mercado nacional y/o internacional actual, tomando en cuenta las ofertas disponibles de acuerdo a los requerimientos de este pre-diseño.

Para los costos del pre-diseño de la planta se tomo en cuenta:

a) Costos de obras civiles

Los costos de las obras civiles se cotizaron en las industrias de CEMEX y HOLCIM, los precios son por metro cubico de concreto ya premezclado y construido, y los precios son: para CEMEX 129 dólares con IVA incluido y de 105.92 dólares por metro cubico por la empresa HOLCIM.

El precio estimado para este tipo de obras es de 129 dólares por metro cubico, por lo tanto el costo aproximado de construcción de la planta es de 1,4231.28 dólares. A continuacio se detalla el análisis de costos.

Tabla 5.24 Costos estimados

Etapa de Tratamiento	Volumen (m³)	Costo \$
Trampa de Grasa	1.92	247.68
Tanque de sedimentación Primaria	11.2	1,444.8
Sistema de Lodos Activados	73	9,417

Tanque de Sedimentación Secundario	24.2	3,121.8
Costo Total de la Obra Civil		14,231.28

Para los accesorios de la obra como tuberías, válvulas entre otros se consideró un 10%¹⁴ total del costo de la obra civil, por tanto 1,423.13 dólares equivalen a los accesorios.

b) Costos de proveedores

Entre los accesorios mecánicos se tiene:

Tabla 5.25 Accesorios mecánicos

Accesorio	Cantidad	Costo \$
Bomba sumergible para lodos	1 unidad	500
Compresor de aire	1 unidad	450
Difusores de burbuja Fina	30 unidades	273.42
Costo total de Accesorios mecánicos		1,223.42

La Bomba Trifásica Modelo, se cotizo en el mercado con su proveedor **ABS Grupo**.¹⁵

Con las cotizaciones se obtiene que el precio de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en Industrias Cárnicas Integradas es:

Tabla 5.26 Costo aproximado de construcción de la planta de Tratamiento de Agua Residual

Descripción de costo	Costo \$
Obra Civil	14,231.28
Accesorios	1,423.13
Obras Mecánicas	1.223.42
Total de construcción de Obra	16877.83

¹⁴ Urbina. 2002

¹⁵ <http://www.absgroup.com>. 2010.

VI. CONCLUSIONES

1. La caracterización de las aguas residuales en ICI mostro un patrón en los parámetros, DBO5, DQO, SST ya que el comportamiento es creciente en los tres meses que se analizaron, y siempre están ligados a la producción de la empresa.
2. El índice de consumo de agua por kilogramo de producto se consideró constante durante el periodo de proyecto, debido a que el índice de consumo histórico demostró ser estable. Además el aumento del consumo de agua es proporcional al crecimiento del volumen de producción anual de la empresa.
3. Las proyecciones de las cargas de los contaminantes de se hizo con base en los cálculos de proyecciones de los volúmenes de producción totales, para los cuales se utilizo un porcentaje de incremento en las ventas anuales de ICI del año 2010 al 2020. El volumen de producción del año 2020 es de 127, 244, 904 kg.
4. Las etapas del tratamiento fueron seleccionadas con base en el patrón determinado durante los análisis del trabajo monográfico, esto se hizo con base en la carga orgánica total (DQO) del afluente 5,183.84 mg/l. De esta forma se seleccionaron 4 etapas para tratar las aguas residuales de ICI, separador de grasas, sedimentación primaria, lodos activados y sedimentación secundaria.
5. Los costos totales se valoraron con la empresa ABS Group, un proveedor internacional, el precio estimado para la construcción de la planta hecho con base en el valor de m² de cemento, para cada una de las etapas, es \$ 9,222.42.
6. El sistema fue diseñado para cumplir con los parámetros establecidos en el artículo 29 de MARENA. El sistema que consta de tratamiento primario y secundario, está conforme con los requisitos para los

parámetros de mayor importancia en el efluente, DBO_5 un valor de 114.51 mg/l y la DQO un valor de 143.29 mg/l.

7. En conjunto con la empresa, se hizo una valoración de consumo de agua, la cual permitió formular recomendaciones para el buen uso de los recursos hídricos en los procesos, dentro de los cuales destacan: el proceso de sanitización, lavado de cajillas y lavandería. Las propuestas más inmediatas son la instalación de caudalímetros y de boquillas en todas las mangueras de la empresa.

VII. RECOMENDACIONES

a) Recomendaciones generales

- Una vez operando, se recomienda evaluar la eficiencia del sistema diseñado realizando la caracterización de las aguas residuales de ICI, al afluente y efluente del sistema mensualmente.
- Para garantizar la eficiencia del sistema se debe contar con personal capacitado en el manejo de las unidades.
- Destinar un área específica para manejo de lodos primarios y secundarios, que permita su posterior tratamiento.

b) Recomendaciones sobre la construcción del sistema

- Se recomienda la realización de estudios de suelo, de modo que garantice que la ubicación del terreno permita que el flujo de agua residual en el sistema sea transportado por acción de la gravedad, evitando de esta forma utilizar bombas, las cuales aumentarían el costo del sistema.
- La ubicación de las instalaciones deben tomar en cuenta las posibilidades futuras de ampliaciones, el mantenimiento y la limpieza de las distintas unidades.

c) Recomendaciones sobre el manejo de los recursos hídricos

- Se recomienda una evaluación del Centro de PML para asegurar un buen manejo en el uso del agua en todo el proceso, incluyendo las medidas propuestas en este trabajo, asegurando de esta forma el buen manejo del agua en las actividades de la empresa.

d) Recomendación sobre el funcionamiento de las unidades de tratamiento

Sobre la trampa de grasas

- Se debe garantizar que la instalación de la trampa de grasa sea en un área sombreada para mantener la temperatura baja, y evitar así que las grasas se mezclen con el agua residual.
- La grasa debe ser retirada de una a tres veces por semana, o según sea necesario, la grasa debe ser manejada como desecho sólido orgánico.

Sobre el tanque de sedimentación primaria

- Se recomienda tener un tanque adicional, para dar un adecuado mantenimiento al tanque principal, durante el vaciado periódico de lodos, que se realiza manualmente.¹⁶ Los lodos deben ser manejados como desecho sólido orgánico.
- Mantener control de olores en la sedimentación primaria, esto se logra removiendo los lodos cada vez que sea necesario¹⁷.

Sobre el sistema de lodos activados

- Se debe mantener control adecuado del sistema de aireación, que asegure en todo momento la cantidad de oxígeno disuelto necesaria, según criterios de diseño, mediante el muestreo periódico de la cantidad de oxígeno. Se recomienda que sea realizado por personal capacitado y con el uso de un oxígenómetro.
- Se recomienda la inoculación de tanque de lodos activados, que consiste en adicionar una cierta cantidad de lodos de otra planta ya en funcionamiento, para que la eficiencia diseñada (óptima para el sistema) se logre en un tiempo mínimo. De lo contrario, un lapso de 6 semanas será necesario para la acumulación de una adecuada

¹⁶ Metcalf y Eddy. 2003.

¹⁷ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL.

cantidad de biomasa lo que garantizará el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos para este tipo de sistemas¹⁸.

*Sobre el tanque de sedimentación secundaria*¹⁹

- Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria debe realizarse limpieza periódica manual, evitando la acumulación de espumas en la superficie, y también pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación²⁰.
- El lodo activado secundario debe ser tratado posteriormente, por eso se recomienda que se realice un estudio para encontrar las opciones para un destino útil, seguro y benéfico para la empresa.

¹⁸ Cheremisinoff. 1995

¹⁹ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL

²⁰ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL

VIII. REFERENCIAS

8.1 Referencias Bibliográficas

- Metcalf y Eddy. (2003), Wastewater Engineering: Treatment and reuse. cuarta Edición. Editorial McGraw Hill.
- La Gaceta *“Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domesticas, Industriales y Agropecuarias”*
- Ron Crites; George Tchobanoglous G. (2000), Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Primera edición. Santa Fe Bogotá, Colombia. Editorial McGraw Hill,
- Lin Shun Dar (2001), Water and Wastewater Calculations Manual. Segunda edición. New York. Editorial McGraw Hill.
- Cheremisinoff Paul (1995). Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology. Editorial Marcel Dekker INC.
- Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL.
- Caridad Ramos; Alexis P (2005). CENIC Ciencias Biológicas, vol. 36 No. Especial.
- Pérez Carlos y Jesús. (2007). Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. Menéndez. Ciudad de la Habana. Editorial Universitaria.
- Manual HACCP de Industrias Cárnicas Integradas. Elaborado por Administración de Riesgos.

- Water Environment Federation. (2008). Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants. Sesta edición. Editorial McGraw Hill.
- Da Cámara, Lesly y Hernández Mario. Manual de Diseño para Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Alimenticias.
- Camargo, J. A y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno Inorgánico en los Ecosistemas Acuáticos: Problemas Medio Ambientales, Criterios de Calidad de Agua, e Implicaciones del Cambio Climático.
- Eckenfelder, Wesley (1992). Activated sludge process design and control: theory and practice.
- Henze, M. (2002). Wastewater treatment: biological and chemical processes.
- Baca Urbina G. (2001). Formulación y Evaluación de Proyectos. México Editorial McGraw-Hill.

8.2 Referencias de Páginas Web

- Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante. Agencia de Medio ambiente. www.iwcam.org
- García, Acevedo; Rodríguez, J.A y Ruiz, Chávez (2006). Determinación de Sulfatos en Aguas y su Importancia en Ingeniería Ambiental. México. www.des_ia.umich.mx/~des_ia/fades06/C20.pdf
- www.madrimasd.org.
- http://www.cnpml.org/html/que_es_pml.asp.

- <http://www.ecoportal.net/content/view/full/169/offset/21>.
- <http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculums/agua/act1ante.html>.
- <http://www.monografias.com/trabajos11/consal/consal.shtml>.
- <http://www.bonatura.com/terminos.htm>.
- <http://www.absgroup.com>. 2010.
- <http://html.rincondelvago.com/aguas-residuales.html>

ANEXOS

ANEXO A. DECRETO 33-95

El Presidente de la República de Nicaragua,

Considerando

I Que es responsabilidad del Estado por los nicaragüenses habiten en un ambiente saludable mediante la protección de los ecosistemas y del medio ambiente y asimismo velar por un aprovechamiento sostenible del recurso agua.

II Que la creciente demanda del recurso agua ha incrementado sustancialmente la descarga de aguas residuales no tratadas a cuerpos receptores, comprometiendo sus diferentes usos lo que puede afectar la salud de la población nicaragüense.

III Que es prioritario armonizar el desarrollo económico del país con el aprovechamiento racional y la protección de los recursos hídricos para el uso de las generaciones presentes y futuras lo que hace necesario la aplicación de regulaciones destinadas a la protección de la calidad del agua por medio de normativas de carácter reglamentario para el control de la contaminación proveniente de las aguas residuales.

Por tanto

En uso de las facultades que le confiere la constitución política, ha dictado el siguiente Decreto:

Decreto 33-95 “Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domesticas, Industriales y Agropecuarias”.

CAPITULO I

Objeto

Artículo 1 - Las disposiciones del presente Decreto tienen por objeto fijar los valores máximos permisibles o rangos de los vertidos líquidos generados por las actividades domésticas, industriales y agropecuarias que descargan a las redes de alcantarillado sanitario y cuerpos receptores.

De donde:

Arto.29. Las descargas de aguas residuales en forma directa o indirecta a cuerpos receptores proveniente de la **INDUSTRIA DE MATANZA DE ANIMALES Y EMPACADOS CÁRNICOS**, deberán cumplir con los rangos y límites máximos permisibles descritos a continuación:

Tabla A.1 Parámetros establecidos en el artículo 29, decreto 33-95

Parámetros	Rangos y Límites Máximos Permisibles Promedio Diarios.
pH	6.9
Sólidos suspendidos Totales (mg/l)	200
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.0
DBO ₅ (mg/l)	150
DQO (mg/l)	250
Aceites y Grasas (mg/l)	30

ANEXO B. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS NORMALIZADOS DE OPERACIÓN

1. Metodología de Análisis in Situ

Tabla B.1 Materiales para análisis in situ.

Material	Descripción	Cantidad
Balde	Volumen mayor a 1 l	2
Soga	2 m.	2
Cono Sedimentador	Cono tipo Imhoff	2
Sujetador	Estructura que sostiene los conos	1
Vaso	Graduado 200 ml	2
Pizeta	Con agua destilada	1
Foco	-	1
Guantes	Plásticos	2 pares
Termo	Rubbermaid	1
Hielo	-	Cantidad suficiente ²¹
Galones plásticos	Capacidad 1 galón	2
Cinta métrica	MACASA 5 metros	1
Temporizador	-	1
Servilletas	Papel Scott	Cantidad suficiente
pH metro	Orion 3star	1
Cuaderno	Para toma de datos	1
Lapicero	Para toma de datos	2

²¹ El hielo se usa para conservar las muestras, desde la toma hasta el almacenamiento en el laboratorio.

La toma de muestras se realizó por un periodo de 24 horas con un sistema de muestreo en un punto, cada hora, a la efluente de la planta.

Se realizó un muestreo compuesto que consiste en la combinación de la toma de muestras por cada hora, agregando un aproximado de 175 ml de cada punto cada hora, hasta completar un galón, esto permite una homogenización de las muestras, obteniendo así un resultado más confiable.

Los parámetros físicos que se realizan durante el muestreo son:

pH

Se toman 200 ml de muestra en un vaso, se introduce el electrodo del pH-metro marca Orion 3star en el vaso, se espera que se estabilice la lectura, y se anota el dato, en la toma del dato siguiente, se lava el electrodo con agua destilada y se limpia con papel toalla.

Sólidos Sedimentables

Se toma 1 lt de cada muestra y se vierte en el cono Imhoff, se coloca en el sujetador y se deja reposar por una hora. La lectura de cada punto se realiza después de una hora, y se anota la cantidad de sólidos en ml/l.

Característica física del Agua Residual

Se observa la muestra, y para cada hora se anotan las características físicas de cada una de las muestras.

Ej. Aguas cargadas, turbias, grasosas, con muchos sólidos suspendidos, etc.

2. Metodología de Determinación de los Análisis en el Laboratorio

2.1. Determinación de la DBO₅ por el método de titulación yodométrico.

Tabla B.2 Materiales para la determinación de la DBO_5

Equipos	Marca	Cantidad
Incubadora 20 ° C	P-SELECTA Hot-Cold S 4000667	1
Bomba de Vacío	Gasto DOA-P104-AA	1
Agitadores magnéticos	IKAMAG RH	1
Winkler cap 300 ml	Weathon	4
Probeta graduada 25,10, y 5 ml	Fisherbrand	3
Balones clase A	Kimaxbrand	4
Bureta cap 50 ml	Fisherbrand	4
Erlenmeyer cap 300 ml	Fisherbrand	4
Magnetos	Brand	4
Dispensadores cap 5 ml	-	1
Bidón para aireación cap. 20 l	Comercial	1
Gotero	-	1
Manguera flexible	-	1
Papel aluminio grueso	Comercial	1 paquete
Pizeta con agua destilada	-	1

a) Reactivos

- Reactivo de solución amortiguadora de fosfato: Disolver 8.5 gr de KH_2PO_4 21.75 gr de $KHPO_4$, 33.4 gr de $Na_2HPO_4 \cdot 7 H_2O$ y 1.7 gr de NH_4Cl en unos 500 ml de agua destilada y dilúyase hasta 1 litro. El pH de la solución debería ser 7.2 sin ajustes adicionales, deséchese el reactivo si hay algún signo de crecimiento biológico en el frasco donde se guarda el reactivo.
- Solución de sulfato de magnesio: disolver 22.5 ge de $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ en agua destilada y diluir hasta 1 litro.
- Solución de cloruro de calcio: Disuélvase 27.5 gr de $CaCl_2$ en agua destilada y dilúyase hasta 1 litro.
- Solución de cloruro férrico: disuélvase 0.25 gr de $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ en agua destilada y dilúyase hasta 1 litro.

- Solución de hidróxido de sodio 1 N: dilúyase 40 gr de NaOH en agua destilada y dilúyase hasta 1 litro. Agitar levemente al inicio y una vez que el hidróxido se halla disuelto aumente la agitación.
- Solución de ácido sulfúrico 1 N: añádase lentamente 28 ml de H_2SO_4 a 500 ml de agua destilada y dilúyase hasta 1 litro.
- Solución de sulfato Manganoso: disolver 480 gr de $MnSO_4$ o 400 gr de $MnSO_4 \cdot 2 H_2O$ o bien 364 gr de $MnSO_4 \cdot H_2O$ en agua destilada filtrar y diluir a un litro. La solución de $MnSO_4$ no debe dar color con I solución de almidón cuando se adicione solución acidificada de yoduro de potasio (KI).
- Reactivo álcali yoduro Azida: disolver 10 gr de NaN_3 en 500 ml de agua destilada adicionar 480 gr de NaOH y 750 gr yoduro de sodio (NaI) agitando hasta disolverlos, habrá una turbiedad debido al carbonato de sodio que no es perjudicial.

Nota: no acidificar esta solución ya que puede producir gases tóxicos.

- Almidón: para preparar una solución acuosa de almidón disuelva 2 gr de almidón soluble, 0.2 gr de ácido salicílico como preservante en 100 ml de agua destilada caliente.
- Solución de tiosulfato de sodio valorado: disolver 6.205 gr de $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$ en agua destilada, adicionar 0.4 gr NaOH en un litro y diluir. Valorar con solución de biyodato.
- Solución valorada de biyodato de potasio 0.025 N: disolver 812.4 mg de $KH(IO_3)_2$ en agua destilada agitar y diluir hasta 1 litro.
- Solución de ácido sulfúrico al 30 %: verter 300 ml de ácido sulfúrico concentrado en 600 ml de agua destilada. Adicionar 0.4 gr de NaOH sólido y diluir hasta 1 litro con agua destilada.

b) Metodología de Análisis

1. Preparación de la cristalería: limpie los winkler de 300 ml con detergente biodegradable enjuague perfectamente y dejar secarse en el horno antes de usar.
2. Preparación del agua de dilución: si la muestra a prepararse debe ser diluida preparar el agua de dilución de la siguiente manera: por cada litro

- de agua a prepararse agregue 1 ml de solución amortiguadora de fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico. Para inocular el agua agregar 2 ml de sobrenadante de un agua residual domestica (sedimentada a 20 ° C durante por lo menos 1 hora), por cada litro de dilución que se prepare. Oxigenar el agua de dilución por medio de una bomba al vacío por 15 minutos o 1 hora como máximo.
3. Preparación de la muestra: preparar 3 diluciones por muestra y 2 winkler por cada dilución de la muestra a analizar, el propósito de utilizar 2 winkler por dilución es para determinar el oxígeno inicial y final de la muestra respectivamente.
 4. Verter la muestra a analizar o una alícuota en el winkler, si se toma una alícuota llene el winkler con agua de dilución y tape el frasco, enjuagar el cuello de la botella con agua del grifo.
 5. Uno de los frascos será introducido en la incubadora (para determinar el oxígeno disuelto final) por un periodo de 5 días, como precaución para evitar la del afluyente del aire durante la encubaron se recomienda hacer un sello de agua, esto se obtiene adicionando agua hasta el cuello de la boca acampada de los winkler. Colocar posteriormente una capa de papel aluminio para disminuir la evaporación del sello de agua durante la incubación.
 6. Para los winkler de oxígeno disuelto inicial destapar el winkler y adicionar 1 ml de solución de sulfato de manganeso.
 7. Adicionar 1 ml de solución de álcali azida, tapar cuidadosamente para evitar burbujas de aire, y mezclar mediante inversión de winkler unas cuantas veces bajo chorro de agua.
 8. Cuando el precipitado haya sedimentado lo suficiente (aproximadamente la mitad del frasco color café) adicionar 1 ml de ácido sulfúrico concentrado, tapar nuevamente y mezclar mediante inversión de winkler unas cuantas veces bajo chorro de agua, hasta que la dilución sea completa.
 9. Blanco del agua de dilución: empléese un blanco de dilución como un control aproximado de calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación, junto con cada lote de muestra

- incúbase un frasco de agua de dilución no sembrada, y determínese el oxígeno disuelto inicial y final como si fuera otra muestra más.
10. Determinación de oxígeno disuelto final: después de los 5 días de incubación determínese el oxígeno disuelto de las diluciones de la muestra y de los blancos.
 11. Titulación de la muestra y los blancos: medir 200 ml del contenido de los winkler y verterlo en un erlenmeyer de 300 ml. Titular con la solución de sulfato de sodio 0.025 N hasta un color amarillo paja, luego adicionar 3 gotas de almidón y continuar la titulación hasta la desaparición de azul.
 12. Después de titular el volumen gastado se anota y si se hicieron replicas de las diluciones se hará una media del volumen de dilución el cual sería el oxígeno disuelto mg/l.
 13. Debe considerarse como más confiables aquellas diluciones en las que el oxígeno disuelto residual de por lo menos el 30 % del oxígeno disuelto inicial, y un abatimiento de por lo menos 2 mg/l de oxígeno.
 14. Luego se calcula el valor de la DBO con la siguiente ecuación:

$$DBO_5 = \frac{ODI - ODF}{P}$$

B.1

Donde:

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno, mg/l.

ODI: Oxígeno disuelto inicial, mg/l.

ODF: Oxígeno disuelto final, mg/l.

P: Fracción volumétrica decimal de la muestra diluida.

2.2 Determinación de la DQO por el método de reflujo cerrado.

Tabla B.3. Materiales para la determinación de la DQO

Equipos	Marca	Cantidad
Bloque de calentamiento 150° C ± 2 ° C	Hach DRB 200/45600	1
Agitadores magnéticos	IKAMAG RH	1
Balanza analítica	Ohaus Explorer E11140	1
Baño María	Julabo	1
Titulador automático	Brand	1
Tubos de digestión con tapones de rosca forrados con TFE 16*100 mm de borosilicato	Hach	8
Pipeta descarga parcial 25, 10 y 5 ml	Fisher-Brand	3
Probeta graduada clase A cap. 100 ml	Fisher-Brand	3
Balones clase A	Kimaxbrand	3
Magnetos	-	3
Dispensador	-	
Gradilla cap. 24 tubos	-	1
Gotero Vidrio ámbar	-	1
Papel toalla	Kleenex	1 paquete
Pizeta con agua destilada	-	1

a) Reactivos

- Solución de digestión de dicromato de potasio patrón 0.0167 M: añádase a unos 500 ml de agua destilada 4.903 de $K_2Cr_2O_7$ calidad para reactivos, primaria, previamente secado a 103 ° C durante 2 horas, 167 ml de H_2SO_4 concentrado y 33.3 g de $HgSO_4$ disuélvase, enfríese a temperatura ambiente y dilúyase hasta 1000 ml.
- Sulfato de amonio ferroso (FAS) patrón para titulación 0.1 M: disuélvase 39.2 g de $Fe(NH_4)(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$ en agua destilada. Añádase

20 ml de H_2SO_4 concentrado, enfríese y diluya hasta 1000 ml. Estandarice la solución a diario frente a la solución de digestión patrón de $K_2Cr_2O_7$.

- Estandarización de FAS a tres tubos de cultivo que contengan 2.5 ml de agua destilada sustituido por la muestra, 1.5 de dicromato de potasio y 3.5 ml de ácido sulfúrico. Enfríese el tubo a temperatura ambiente y añádase de 0.05 a 0.10 ml (1 a 2 gotas) de solución de titulación de FAS.

$$\text{Molaridad FAS} = \frac{\text{Volumen de la solución FAS de } K_2Cr_2O_7}{\text{Volumen de FAS utilizado en la titulación}}$$

B.2

- Reactivo de ácido sulfúrico: añádase Ag_2SO_4 de calidad para reactivo o técnica en cristales o en polvo, a H_2SO_4 concentrado, en la proporción de 5.5 gr de Ag_2SO_4 a cada kilogramo de H_2SO_4 , déjese reposar de 1 a 2 días para disolver el Ag_2SO_4 .
- Solución indicadora de ferroin: disuélvase 1.485 gr de 1,10-Fenantrolina monohidratada y 695 mg de $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ en agua destilada y dilúyase hasta 100 ml.
- Acido sulfámico: necesario solo si se desea eliminar interferencia de los nitritos.

b) Metodología de análisis

1. Preparación de la cristalería: laves los tubos de cultivo con jabón biodegradable y abundante agua, luego solamente los tubos dejarlos en H_2SO_4 al 20 %, enjuagar con abundante agua destilada y secar al horno a $105^\circ C$ por una hora, antes de usarlos para evitar la contaminación.
2. Preparación de la muestra: si fuera necesario, diluir la muestra preparando soluciones madres para obtener soluciones menores al 100 % que sean representativa, determinando axial el factor de dilución F.

3. Colóquese 2.5 ml de muestra o alícuota en el tubo de cultivo y añádase 1.5 ml de solución de digestión, viértase con cuidado el ácido sulfúrico en el tubo, de forma que se cree una capa de ácido debajo de la capa de solución de digestión de la muestra.
4. Ciérrase bien los tapones, e inviértase varias veces cada uno de ellos para mezclar completamente pero con precaución.
5. Digestión: colóquese los tubos de digestión en un bloque de calentamiento a 150 ° C y sométase a reflujo durante 2 horas.
6. Enfríese a temperatura ambiente y colóquese los tubos en la gradilla de tubos de ensayo.
7. Titilación: quítense los tapones de los tubos de cultivo y añádase un magneto y añádase de 1 a 2 gotas de indicador de ferroina y agítase en un agitador magnético mientras se titula con FAS a 0.10 M. el punto final es un cambio de color de azul verdoso a marrón rojizo.
8. Blanco: de la misma forma sométase el reflujo y titúlese un blanco que contengas los reactivos y un volumen de agua destilada igual a la muestra.
9. Determinación de la solución estándar: evaluar la técnica y calidad de los reactivos realizando la prueba con una solución estándar de ftalato ácido de potasio.
10. Luego se calcula el valor de la DQO con la siguiente ecuación:

$$DQO = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{V_M} \times F$$

B.3

Donde:

DQO: Demanda Química de Oxígeno, mg O₂/l.

A: Volumen de FAS gastado en el blanco, ml.

B: Volumen de FAS gastado en la muestra, ml.

V_m: Volumen de la muestra, ml.

M: Molaridad del FAS, mol/l.

F: Factor de dilución

Donde:

$$F = \frac{V_M}{V_T}$$

B.5

2.3 Determinación de SST por el método gravimétrico.

Tabla B.4 Materiales para la determinación de SST

Equipos	Marca	Cantidad
Horno de secado (180 ± 1 ° C)	Ehret TK 3105	1
Balanza analítica	Ohaus Explorer E11140	1
Bomba de succión	Gast DOA-P104-AA	1
Mufla eléctrica (550 ± 50 ° C)	Linn Electronik	1
Cápsula de porcelana cap. 100 ml	Pyrex	1
Probeta cap. 100 ml	Pyrex	1
Matraz con tubo lateral	Pyrex	1
Filtro de papel	Fisher-Brand	1
Pinza	Fisher-Brand	1
Manguera	-	1
Desecador y agentes desecantes	Pyrex	1
Pizeta con agua destilada	-	1

Metodología de análisis.

1. Secar en una mufla la cápsula de porcelana limpias durante una hora a 550 ± 50 ° C.
2. Enfriar durante una hora la cápsula en un desecador para equilibrar la temperatura.
3. Rotular la cápsula una vez fría.
4. Pesar la cápsula en la balanza analítica.
5. Insertar el filtro en el kit de filtración conectado a un frasco de succión con adaptador del al sistema de vacío con la bomba y la manguera.

6. Agitar la muestra contenida en un galón de forma brusca para la homogenización de los sólidos.
7. Extraer del galón con una probeta de vidrio 100 ml de muestra.
8. Adicionar al kit de filtración suavemente con el sistema de vacío funcionando.
9. Después de la filtración de la muestra, se enjuaga el filtro con un poco de agua destilada de la pizeta y se hace un drenaje completo del lavado.
10. Apagar la bomba y se desconecta el frasco de succión.
11. Transferir el filtrado total (lo contenido en el filtro de succión) a la capsula previamente pesada al baño Mariah hasta que seque.
12. Una vez seco se coloca la capsula con el residuo en el horno durante 1 hora a 180 ° C.
13. Enfriar la capsula en un desecador para equilibrar la temperatura durante 30 minutos.
14. Pesar la capsula en la balanza analítica.
15. Luego se calcula el contenido de sólidos disueltos totales de la muestra mediante la siguiente ecuación.

$$SDT = (W_2 - W_1) \times \frac{1000}{V_M}$$

B.6

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, mg/l.

W₁: Peso de la cápsula vacía, mg.

W₂: Peso de la cápsula con residuo, mg.

V_m: Volumen determinado agregado de la muestra, ml.

Nota: Cuando la muestra está bien cargada de sólidos disueltos el filtro se llega a saturar antes que todo el volumen sea filtrado por lo tanto el volumen filtrado es V_m.

2.4 Determinación de Aceites y Grasas por el método de partición gravimétrica.

Tabla B.5 Materiales para la determinación de Aceites y Grasas

Equipos	Marca	Cantidad
Estufa	Gerhard Bonn	1
Horno de secado (180 ± 1 ° C)	Ehret TK 3105	1
Balanza analítica	Ohaus Explorer E11140	1
Baño María	Jubalo	1
Embudo de separación con tapón y llave de teflón	Fisher-Brand	1
Balón de destilación cap 1000 ml	Pyrex	1
Embudo	Pyrex	1
Beacker cap. 1000 ml	Pyrex	1
Desecador provisto de un desecante cap. 1000 ml	Pyrex	1
Filtro de papel	Fisher-Brand	4
Probeta cap. 500 ml	Draga	1
Soporte para el embudo	-	1

a) Reactivos.

- Ácido Clorhídrico (HCl) 6 N: en un balón aforado de 1000 ml adicionar 500 ml de agua destilada y 500 ml de HCl concentrado.
- n-Hexano: grado analítico, apto para análisis de residuos orgánicos (punto de ebullición entre 55 y 56 ° C).

b) Metodología de análisis.

1. Pesar los balones de destilación una vez que ha sido secado a 103 – 105 ° C durante 1 hora, posteriormente se seca en un desecador.
2. Agitar vigorosamente la muestra para lograr que esta se homogenice.
3. Extraer del galón 500 ml e introducirlo en el embudo de separación y agregar 5 ml de HCl.

4. Agitar vigorosamente y agregar 30 ml de n-Hexano agitar nuevamente.
5. Agregar al mismo embudo de separación otros 500 ml de muestra posteriormente agitada y agregar 30 ml de n-hexano nuevamente.
6. Se permite que se separen la capa acuosa de la orgánica.
7. Se coloca el embudo de separación en el soporte para coleccionar la muestra.
8. Se deja botar la muestra y la sobrenadante se agrega en un balón de destilación de 100 ml y con un embudo y papel filtro se filtra la muestra.
Nota: el balón de destilación anteriormente fue secado en un horno a 103 – 105 ° C por una hora, se dejó enfriar en un desecador y Lugo se determina el peso en una balanza.
9. Si la emulsión es muy espesa el papel filtro se cambia tantas veces como sea posible traspasando de uno al otro con cuidado logrando una mayor filtración.
10. Una vez que la muestra este en el balón este se someterá a un baño maría aproximadamente a 85 ° C hasta observar que no haya más condensación. Se debe evitar una mayor temperatura por motivo de ciertas grasas y ácidos (especialmente los no saturados) ya que se oxidan con rapidez.
11. El balón se introduce a un horno a 103 -105 ° C por un periodo aproximado de una hora.
12. Se enfría el balón en un desecador a temperatura ambiente, y luego se determina su peso en una balanza.
13. Luego se calcula el contenido de los aceites y grasas de la muestra por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 1000}{V_M}$$

B.7

Donde:

C: Concentración de los aceites y grasas de la muestra, mg/l.

W₁: Peso del balón de destilación, mg.

W₂: Peso del balón de destilación más los aceites y grasas extraídos, mg.

V_m: Volumen determinado de la muestra, ml.

2.5 Determinación de Sólidos Sedimentables por el método volumétrico.

Tabla B.6 Materiales para la determinación de los Sólidos Sedimentables

Equipos	Marca	Cantidad
Cono Imhoff	Wheaton	1
Soporte para Conos	Fisher-Brand	1

a) Metodología de análisis.

1. Una vez que la muestra ha sido tomada esta se agitará inmediatamente se agregará al cono 1 litro de la muestra y se tomara el tiempo inicial.
2. Se deja reposar la muestra durante 1 hora para que los sólidos se sedimenten.
3. Después de una hora se lee en las graduaciones del cono la cantidad de sólido sedimentado.
4. Luego se reporta el contenido de sólidos sedimentables de la muestra de la siguiente manera:

$$S.Sed. = \frac{ml}{l \times h}$$

B.8

ANEXO C. DATOS PROPORCIONADOS POR ICI

ICI proyectó los volúmenes de producción totales, del año 2010 hasta el año 2014, los cuales son presentados a continuación:

Tabla. C.1. Volúmenes de Producción Totales proyectados por ICI para el periodo 2010–2014

Mercados	2010	2011	2012	2013	2014
RES (lb)					
Palí	8,947,029	9,298,273	1,0323,599	11,696,470	13,071,787
La Unión	2,811,065	2,996,739	3,311,468	3,376,875	3,590,526
Hipermercado			356,681	696,530	998,338
Maxi Bodega		459,608	885,856	1,228,212	2,020,582
CERDO (lb)					
Palí	303,116	353,693	419,384	504,941	615,449
La Unión	158,644	175,996	202,148	214,034	235,766
Hipermercado			21,889	44,385	65,911
Maxi Bodega		24,980	50,097	72,105	123,006
FORMADOS (lb)					
Palí	166,203	193,935	229,955	276,867	337,460
La Unión	41,187	45,692	52,481	55,567	61,209
Hipermercado			12,002	24,337	36,140
Maxi Bodega		6,485	13,006	18,720	31,935
EMBUTIDOS (lb)					
Palí	1,009,202	1,177,597	1,396,309	1,681,166	2,049,095
La Unión	227,933	252,863	290,437	307,515	338,739
Hipermercado			68,214	138,319	205,399
Maxi Bodega		39,449	79,116	113,872	194,259
MARINADOS DE RES Y CERDO (lb)					
Palí	695,331	822,713	935,647	1,083,694	1,242,162
La Unión	271,490	295,930	334,271	348,348	373,803
Hipermercado			39,916	79,503	114,933
Maxi Bodega		31,210	61,829	86,671	144,154
MARINADOS DE POLLO (lb)					
Palí	533,510	646,795	790,905	952,255	1,131,643
La Unión	276,212	310,267	360,400	387,016	418,771
Hipermercado			42,476	86,654	125,461
Maxi Bodega		34,250	69,869	102,459	172,419
POLLO (lb)					
Palí	25,035,560	26,438,024	29,423,812	33,328,753	37,438,753
La Unión	4,721,757	5,046,838	5,588,572	5,730,855	5,930,967
Hipermercado			546,260	1,077,126	1,508,880

Maxi Bodega		613,839	1,186,229	1,651,580	2,644,119
VPT (lb)	43,961,103	47,795,268	55,258,752	63,123,960	72,434,178
VPT (kg)	19,982,320	21,725,122	25,117,615	25,117,615	32,924,626

ICI también proyectó las ventas en dólares y precios por libra, del año 2010 hasta el año 2014, los cuales son presentados a continuación:

Tabla C.2. Ventas Totales en dólares proyectadas por ICI para el periodo 2010–2014

Mercados	2010	2011	2012	2013	2014
RES					
Palí	10,962,239	11,563,486	13,031,177	14,985,574	16,998,851
La Unión	4,059,952	4,393,037	4,927,228	5,099,916	5,503,921
Hipermercado			490,472	972,166	1,414,307
Maxi Bodega		597,121	1,168,165	1,643,920	2,745,046
CERDO					
Palí	556,063	658,580	792,610	968,622	1,198,318
La Unión	336,327	378,710	441,508	474,482	530,498
Hipermercado			44,588	91,770	138,319
Maxi Bodega		48,322	0	143,699	248,820
FORMADOS					
Palí	284,221	336,621	405,128	495,093	612,498
La Unión	79,857	89,921	104,831	112,661	125,961
Hipermercado			22,560	46,431	69,983
Maxi Bodega		116,330.8	236,804.2	345,943.3	599,012.2
EMBUTIDOS					
Palí	1,380,093	1,634,530	1,967,179	2,404,026	2,974,107
La Unión	354,330	398,981	465,140	499,880	558,894
Hipermercado			102,674	211,318	318,507
Maxi Bodega		56,628	115,273	168,401	291,592
MARINADOS DE RES Y CERDO					
Palí	964,529	1,158,346	1,337,112	1,571,913	1,828,801
La Unión	408,398	451,840	518,036	547,950	596,811
Hipermercado			59,451	120,189	176,356
Maxi Bodega		44,870	90,224	128,371	216,714
MARINADOS DE POLLO					
Palí	519,362	639,087	793,202	969,347	1,169,233
La Unión	292,076	333,008	392,618	427,937	469,996
Hipermercado			44,436	92,013	135,219
Maxi Bodega		34,571	71,582	106,547	181,987
POLLO					
Palí	20,588,977	22,068,484	24,929,209	28,661,220	32,678,568

La Unión	4, 070,476	4,415,978	4,963,346	5,166,056	5,426,643
Hipermercado			473,982	948,626	1,348,805
Maxi Bodega		518,567	1,017,150	1,437,416	2,335,769

Tabla C.3. Precios en dólares por libra de producto proyectados por ICI para el periodo 2010 - 2014

Mercados	2009	2010	2011	2012	2013	2014
RES (\$/lb)						
Palí	1.21	1.23	1.24	1.26	1.28	1.30
La Unión	1.42	1.44	1.47	1.49	1.51	1.53
Hipermercado				1.38	1.40	1.42
Maxi Bodega			1.30	1.32	1.34	1.36
CERDO (\$/lb)						
Palí	1.81	1.83	1.86	1.89	1.92	1.95
La Unión	2.09	2.12	2.15	2.18	2.22	2.25
Hipermercado				2.04	2.07	2.10
Maxi Bodega			1.93	1.96	1.99	2.02
FORMADOS (\$/lb)						
Palí	1.68	1.71	1.74	1.76	1.79	1.82
La Unión	1.91	1.94	1.97	2.00	2.03	2.06
Hipermercado				1.88	1.91	1.94
Maxi Bodega			1.79	1.82	1.85	1.88
EMBUTIDOS (\$/lb)						
Palí	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45
La Unión	1.53	1.55	1.58	1.60	1.63	1.65
Hipermercado				1.51	1.53	1.55
Maxi Bodega			1.44	1.46	1.48	1.50
MARINADOS DE RES Y CERDO (\$/lb)						
Palí	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	1.47
La Unión	1.48	1.50	1.53	1.55	1.57	1.60
Hipermercado				1.49	1.51	1.53
Maxi Bodega			1.44	1.46	1.48	1.50
MARINADOS DE POLLO (\$/lb)						
Palí	0.96	0.97	0.99	1.00	1.02	1.03
La Unión	1.04	1.06	1.07	1.09	1.11	1.12
Hipermercado				1.05	1.06	1.08
Maxi Bodega			1.01	1.02	1.04	1.06
POLLO (\$/lb)						
Palí	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
La Unión	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91
Hipermercado				0.87	0.88	0.89
Maxi Bodega			0.84	0.86	0.87	0.88

ANEXO D. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN TOTALES

En este anexo se detalla el cálculo de los volúmenes de producción totales para el periodo 2015-2020, mediante de la proyección de los volúmenes de producción de las categorías cerdo, pollo, formados y marinados de pollo, res y cerdo, de cada mercado, los resultados son presentados a continuación.

En este y los demás anexos se trabajó con las unidades del sistema Internacional.

Volumen de Producción: kg/año.

Volumen de Producción Total: kg/año.

Flujo Volumétrico: m³/s.

Flujo Másico: Kg/tiempo (s, día, hora).

Densidad: kg/m³ - mg/ml.

Presión: atm.

Se consideró para las conversiones al Sistema Internacional (SI):

1 kg = 2.2 libras

1 atm = 101.32 Kpa

1 año = 12 meses x 30 días

1. Cálculo de los Volúmenes de Producción por Categoría y Mercado

a) Cálculo de las ventas totales en dólares para cada categoría y mercado en el periodo de proyecto.

Para el cálculo de las ventas en dólares de cada categoría y mercado fue necesario el cálculo de un porcentaje promedio de incremento, las cuales se determinaron con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Incremento de Ventas}_{\text{año } n} = \left(\frac{\text{Venta } \$_{\text{año } n}}{\text{Venta } \$_{\text{año } (n-1)}} - 1 \right) \times 100$$

D.1

Donde:

Porcentaje de incremento de ventas año n: El porcentaje que incrementan las ventas por categoría en cada mercado para el año proyectado.

n - 1: Año precedente al año que se quiere determinar.

El porcentaje promedio fue determinado de la siguiente manera:

$$\% \text{ Prom. de incremento} = \frac{\sum \% \text{ de incremento}}{N}$$

D.2

Donde:

% Prom. de incremento: Porcentaje promedio de incremento.

Σ % de incremento: Sumatoria de los porcentajes de incremento, de cada mercado, para el periodo 2009-2014.

N: Numero de años, 5 para este caso.

El porcentaje promedio calculado a partir de los valores de ventas desde 2009-2014, este promedio es la base de cálculo para determinar las ventas de los años posteriores.

Aplicando la ecuación D.3 se calcularon las ventas en dólares proyectadas para el periodo 2015 – 2020.

$$\text{Venta } \$_{\text{año } n} = (\% \text{ Prom de incremento} \times \text{Venta } \$_{\text{año } (n - 1)}) + \text{Venta } \$_{\text{año } (n - 1)}$$

D.3

Donde:

Ventas en Dólares año n: Ventas para el año proyectado, dólares (\$).

n - 1: Año precedente al año que se proyecta.

b) Cálculo del precio en dólares por libra para cada categoría y mercado en el periodo de proyecto.

El cálculo se realizó por mercado, mediante las siguientes ecuaciones.

- Palí

$$\text{Precio} \times \text{lb}_{\text{año } n} = \text{Precio} \times \text{lb Palí}_{\text{año } (n-1)} \times (1+1.5\%)$$

D.4

Donde:

Precio x libra año n: Precio por libra de cada mercado y categoría para el año que se quiere determinar, dólares (\$).

n - 1: Año precedente al año que se quiere determinar.

1.5: Porcentaje proporcionado por ICI.

- La Unión

$$\text{Precio} \times \text{lb}_{\text{año } n} = \text{Precio} \times \text{lb La Union}_{\text{año } (n-1)} \times (1+1.5\%)$$

D.5

Donde:

Precio x libra año n: Precio por libra de cada mercado y categoría para el año que se quiere determinar, dólares (\$).

n - 1: Año precedente al año que se quiere determinar.

1.5: Porcentaje proporcionado por ICI.

- Hipermercado

$$\text{Precio} \times \text{lb}_{\text{año } n} = (\text{Precio} \times \text{lb Palí}_{\text{año } n} \times 0.5) + (\text{Precio} \times \text{lb La Unión}_{\text{año } n} \times 0.5)$$

D.6

Donde:

Precio x libra año n: Precio por libra de cada mercado y categoría para el año que se quiere determinar, dólares (\$).

0.5: Coeficiente proporcionado por ICI.

- Maxi bodega

El cálculo del precio se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Precio} \times \text{lb}_{\text{año } n} = ((\text{Precio} \times \text{lb Palí})_{\text{año } n} \times 0.75) + ((\text{Precio} \times \text{lb La Unión})_{\text{año } n} \times 0.25)$$

D.7

Donde:

Precio x libra año n: Precio por libra de cada mercado y categoría para el año que se quiere determinar, dólares (\$).

0.75: Coeficiente proporcionado por ICI.

0.25: Coeficiente proporcionado por ICI.

Aplicando la siguiente ecuación se Cálculo el Volumen de Producción (VP) para cada mercado en la respectiva categoría.

$$VP_{\text{año n}} = \frac{\text{Ventas Totales \$}}{\text{Precio x libra \$}}$$

D.8

Donde:

VP año n: Volumen de producción para cada categoría y mercado, lb.

Ventas Totales: Ventas para cada mercado y categoría, dólares (\$).

Precio x libra: Precio por libra de cada mercado y categoría para el año, dólares (\$).

n: Año proyectado.

Con los volúmenes de producción proyectados, se procede a calcular el VPT, que es la suma de todos los volúmenes de producción por cada categoría y mercado en el mismo año, con la siguiente ecuación:

$$VPT_{\text{año n}} = \sum VP_{\text{año n}}$$

D.9

Donde:

VPT año n: Volumen de Producción Total, kg/año.

ΣVP año n: Sumatoria de todos los volúmenes de producción de cada categoría y de todos los mercados en el año, kg/año.

n: Año proyectado.

Se detallo el cálculo de las demás categorías solamente para el año 2015, estos son presentados a continuación:

1.1 Cálculo de los volúmenes de producción para la categoría de Formados

Aplicando la ecuación D.1 en Palí:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{284221}{261039} - 1 \right) \times 100 = 8.88 \%$$

Luego se aplico la ecuación D.2 para determinar el porcentaje promedio de incremento presentado en la siguiente tabla.

Tabla D.1 Porcentaje de incremento de ventas de Formados para el periodo 2009 – 2014

Mercados	2009	2010	2011	2012	2013	2014	% Prom de incremento
Palí	-	8.88%	18.44%	20.35%	22.21%	23.71%	18.72%
La Unión	-	18.34%	12.60%	16.58%	7.47%	11.81%	13.36%
Hipermercado	-	-	-	-	105.81%	50.72%	78.27%
Maxi Bodega	-	-	-	103.56%	46.09%	73.15%	74.27%

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.3 se calcularon las ventas en dólares proyectadas, para el periodo 2015 – 2020

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.1872 \times 612498) + 612498 = 727,144$$

Tabla D.2 Ventas en dólares de Formados proyectadas para el período 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	727,144	863,249	1,024,830	1,216,655	1,444,385	1,714,742
La Unión	142,790	161,867	183,493	208,009	235,800	267,304
Hipermercado	124,758	222,405	396,479	706,801	1,260,009	2,246,210
Maxi Bodega	104,388	181,915	317,019	552,461	962,760	1,677,778
TOTAL (lb)	1099080	1429436	1921821	2683925	3902954	5906034

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.4 en Palí:

$$\text{Precio} \times \text{lb}_{\text{año 2015}} = (1.82)_{\text{año (2014)}} \times (1 + 1.5\%) = \$ 1.84$$

Tabla D.3 Precios en dólares por libras de formados proyectados para el periodo 2015 - 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1.84	1.87	1.90	1.93	1.96	1.98
La Unión	2.09	2.12	2.15	2.18	2.22	2.25
Hipermercado	1.97	1.99	2.02	2.06	2.09	2.12
Maxi Bodega	1.90	1.93	1.96	1.99	2.02	2.05

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando las ecuaciones D.8 se Cálculo el Volumen de Producción (VP), para cada mercado en el año 2015:

$$\text{VP Palí año 2015} = \frac{\$ 727,144}{\$ 1.84} = 394,705 \text{ lb}$$

$$\text{VP La Unión año 2015} = \frac{\$ 142,790}{\$ 2.09} = 68,362 \text{ lb}$$

$$\text{VP Hipermercado año 2015} = \frac{\$ 124,758}{\$ 1.97} = 63,474 \text{ lb}$$

$$\text{VP Maxi Bodega año 2015} = \frac{\$ 104,388}{\$ 1.90} = 54,830 \text{ lb}$$

Así de esta manera para cada año se calculan los volúmenes de producción en libras de donde resulta la tabla D.4.

Tabla D.4 Libras de Formados proyectadas para el periodo 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	394,705	461,660	539,972	631,570	120,596	864,014
La Unión	68,362	76,350	85,272	95,236	106,364	118,793
Hipermercado	63,474	111,482	195,802	343,897	604,002	1,060,838
Maxi Bodega	54,830	94,138	161,628	277,502	476,449	818,026

Fuente: Elaborado por tesistas

1.2 Cálculo de los volúmenes de producción para la categoría de Embutidos

Aplicando la ecuación D.1 en Palí:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{1,380,933}{1,267,526} - 1 \right) \times 100 = 8.88 \%$$

Luego se aplico la ecuación D.2 para determinar el porcentaje promedio de incremento presentado en la siguiente tabla.

Tabla D.5 Porcentaje de incremento de ventas de Embutidos para el periodo 2009 – 2014

Mercados	2009	2010	2011	2012	2013	2014	% Prom de incremento
Palí	-	8.88%	18.44%	20.35%	22.21%	23.71%	18.72%
La Unión	-	18.34%	12.60%	16.58%	7.47%	11.81%	13.36%
Hipermercado	-	-	-	-	105.81%	50.72%	78.27%
Maxi Bodega	-	-	-	103.56%	46.09%	73.15%	74.27%

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.3 se calcularon las ventas en dólares proyectadas para el periodo 2015 – 2020

Aplicando la ecuación D.3 en Palí:

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.1872 \times 2,974,107) + 2,974,107 = 3,530,860$$

Tabla D.6 Ventas en dólares de Embutidos proyectadas para el período 2015-2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	3,530,860	4,191,837	4,976,548	5,908,158	7,014,165	8,327,217
La Unión	633,563	718,209	814,165	922,941	1,046,250	1,186,033
Hipermercado	567,800	1,012,214	1,804,468	3,216,813	5,734,592	10,223,022
Maxi Bodega	508,150	885,541	1,543,210	2,689,314	4,686,600	8,167,223

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.4 en Palí:

$$\text{Precio x lb}_{\text{año 2015}} = (1.45)_{\text{año (2014)}} \times (1 + 1.5\%) = \$ 1.47$$

Tabla D.7 Precios en dólares por libras de Embutidos proyectados para el periodo 2015–2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1.47	1.50	1.52	1.54	1.56	1.59
La Unión	1.67	1.70	1.73	1.75	1.78	1.80
Hipermercado	1.57	1.60	1.62	1.65	1.67	1.70
Maxi Bodega	1.52	1.55	1.57	1.59	1.62	1.64

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.8 se Cálculo el Volumen de Producción (VP) por lo que resulta:

$$\text{VP Palí año 2015} = \frac{\$ 3,530,860}{\$ 1.47} = 2,396,764 \text{ lb}$$

$$\text{VP La Unión año 2015} = \frac{\$ 633,563}{\$ 1.67} = 378,319 \text{ lb}$$

$$\text{VP Hipermercado año 2015} = \frac{\$ 567,800}{\$ 1.57} = 360,752 \text{ lb}$$

$$\text{VP Maxi Bodega año 2015} = \frac{\$ 508,150}{\$ 1.52} = 333,527 \text{ lb}$$

Así de esta manera para cada año se calculan los volúmenes de producción en libras de donde resulta la tabla D.8.

Tabla D.8 Libras de Embutidos proyectadas para el periodo 2015 - 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	2,396,734	2,803,353	3,278,956	3,835,248	4,485,917	5,246,976
La Unión	378,319	422,527	471,900	527,042	588,627	657,409
Hipermercado	360,752	633,606	1,112,833	1,954,522	3,432,822	6,029,231
Maxi Bodega	333,527	572,639	983,177	1,688,037	2,898,227	4,976,028
TOTAL (lb)	3,469,332	4,432,124	5,846,865	8,004,848	11,405,593	16,909,645

Fuente: Elaborado por tesistas

1.3 Cálculo de los volúmenes de producción para la categoría de Marinados de Res y Cerdo

Aplicando la ecuación D.1 en Palí:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{964,529}{849,711} - 1 \right) \times 100 = 13.51 \%$$

Luego se aplico la ecuación D.2 para determinar el porcentaje promedio de incremento presentado en la tabla D.9.

Tabla D.9 Porcentaje de incremento de ventas de Marinados de Res y Cerdo para el periodo 2009 – 2014

Mercados	2009	2010	2011	2012	2013	2014	% Prom de incremento
Palí	-	13.51%	20.09%	15.43%	17.56%	16.34%	16.59%
La Unión	-	4.18%	10.64%	14.65%	5.77%	8.92%	8.83%
Hipermercado	-	-	-		102.16%	46.73%	74.45%
Maxi Bodega	-	-	-	101.08%	42.28%	68.82%	70.73%

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.3 se calcularon las ventas en dólares proyectadas para el periodo 2015 – 2020

Aplicando la ecuación D.3 en Palí:

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.1659 \times 1,828,801) + 1,828,801 = 2,132,171$$

Tabla D.10 Ventas en dólares de Marinados de Res y Cerdo proyectadas para el período 2015 - 2020

Mercado	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	2,132,171	2,485,867	412,368	480,774	560,527	653,510
La Unión	649,515	706,874	769,298	837,235	911,171	991,637
Hipermercado	307,650	536,690	936,246	1,633,264	2,849,199	4,970,375
Maxi Bodega	369,986	631,660	1,078,403	1,841,107	3,143,235	5,366,298

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.4:

$$\text{Precio x lb}_{\text{año 2015}} = (1.47)_{\text{año (2014)}} \times (1 + 1.5\%) = \$ 1.49$$

Tabla D.11 Precios en dólares por libras de Marinados de Res y Cerdo proyectados para el periodo 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1.49	1.52	1.54	1.56	1.59	1.61
La Unión	1.62	1.64	1.67	1.69	1.72	1.75
Hipermercado	1.56	1.58	1.60	1.63	1.65	1.68
Maxi Bodega	1.53	1.55	1.57	1.60	1.62	1.64

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.8 se Cálculo el Volumen de Producción (VP) por lo que resulta:

$$\text{VP Palí año 2015} = \frac{\$ 2132171}{\$ 1.49} = 1426816 \text{ lb}$$

$$\text{VP La Unión año 2015} = \frac{\$ 649515}{\$ 1.62} = 400,802 \text{ lb}$$

$$\text{VP Hipermercado año 2015} = \frac{\$ 307650}{\$ 1.56} = 197,535 \text{ lb}$$

$$\text{VP Maxi Bodega año 2015} = \frac{\$ 369986}{\$ 1.53} = 242,470 \text{ lb}$$

Así de esta manera para cada año se calcularon los volúmenes de producción en libras, de donde resulta la siguiente tabla.

Tabla D.12 Libras de Marinados de Res y Cerdo proyectadas para el periodo 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1,426,816	1,638,920	267,855	307,673	353,410	405,946
La Unión	400,802	429,751	460,790	494071	529,757	568,019
Hipermercado	197,535	339,503	583505	1,002,870	1,723,635	2,962,413
Maxi Bodega	242,470	407,841	685,997	1,153,863	1,940,824	326,4511
TOTAL (lb)	2,267,624	2816,015	1,998,147	2,958,478	4,547,625	7,200,889

Fuente: Elaborado por tesistas

1.4 Cálculo de los volúmenes de producción para la categoría de Marinados de Pollo

Aplicando la ecuación D.1 en Palí:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{519,362}{366,742} - 1 \right) \times 100 = 41.61\%$$

Luego se aplico la ecuación D.2 para determinar el porcentaje promedio de incremento presentado en la siguiente tabla.

Tabla D.13 Porcentaje de incremento de ventas de Marinados de Pollo para el periodo 2009 – 2014

Mercados	2009	2010	2011	2012	2013	2014	% Prom de incremento
Palí	-	41.61%	23.05%	24.11%	22.21%	20.62%	26.32%
La Unión	-	5.92%	14.01%	17.90%	9.0%	9.83%	11.33%
Hipermercado	-	-	-	-	107.07%	46.96%	77.01%
Maxi Bodega	-	-	-	103.56%	46.09%	73.15%	74.27%

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.3 se calcularon las ventas en dólares proyectadas para el periodo 2015 – 2020

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.2632 \times 1,169,233) + 1,169,233 = 1,476,998$$

Tabla D.14 Ventas en dólares de Marinados de Pollo proyectadas para el período 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1,476,998	1,865,773	2,356,880	2,977,257	3,760,928	4,750,878
La Unión	523,255	582,549	648,563	722,057	803,880	894,974
Hipermercado	239,354	423,687	749,981	1,327,562	2,349,955	4,159,721
Maxi Bodega	319,514	560,969	984,890	1,729,166	3,035,886	5,330,087

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.4 en Palí:

$$\text{Precio x lb}_{\text{año 2015}} = (1.03)_{\text{año (2014)}} \times (1 + 1.5\%) = \$ 1.05$$

Tabla D.15 Precios en dólares por libras de Marinados de Pollo proyectados para el periodo 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1.05	1.06	1.08	1.10	1.11	1.13
La Unión	1.14	1.16	1.17	1.19	1.21	1.23
Hipermercado	1.09	1.11	1.13	1.14	1.16	1.18
Maxi Bodega	1.07	1.09	1.10	1.12	1.14	1.15

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.8 se Cálculo el Volumen de Producción (VP) por lo que resulta:

$$\text{VP Palí año 2015} = \frac{\$ 1476998}{\$ 1.05} = 1408388 \text{ lb}$$

$$\text{VP La Unión año 2015} = \frac{\$ 523255}{\$ 1.14} = 459336 \text{ lb}$$

$$\text{VP Hipermercado año 2015} = \frac{\$ 239354}{\$ 1.09} = 218801 \text{ lb}$$

$$\text{VP Maxi Bodega año 2015} = \frac{\$ 319514}{\$ 1.07} = 298242 \text{ lb}$$

Así de esta manera para cada año se calcularon los volúmenes de producción en libras de donde resulta la siguiente tabla.

Tabla D.16 Libras de Marinados de Pollo proyectadas para el periodo 2015-2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	1,408,388	1,752,811	2,181,462	2,714,941	3,378,883	4,205,193
La Unión	459,336	503,829	552,633	606,164	664,881	729,285
Hipermercado	218,801	381,582	665,467	1,160,553	2,023,967	3,529,735
Maxi Bodega	298,242	515,883	892,348	1,543,537	2,669,929	4,618,304
TOTAL (lb)	2,384,766	3,154,105	4,291,910	6,025,195	8,737,661	13,082,518

Fuente: Elaborado por tesistas

1.5 Cálculo de los volúmenes de producción para la categoría de Pollo

Aplicando la ecuación D.1 en Palí:

$$\% \text{ Incremento de ventas}_{\text{año 2010}} = \left(\frac{20,588,977}{18,545,764} - 1 \right) \times 100 = 11.02 \%$$

Luego se aplico la ecuación D.2 para determinar el porcentaje promedio de incremento presentado en la siguiente tabla.

Tabla D.17 Porcentaje de incremento de ventas de Pollo para el periodo 2009 -2014

Mercados	2009	2010	2011	2012	2013	2014	% Prom de incremento
Palí	-	11.02%	7.19%	12.96%	14.97%	14.02%	12.03%
La Unión	-	-2.67%	8.49%	12.40%	4.08%	5.04%	5.47%
Hipermercado	-	-	-	-	100.14%	42.19%	71.16%
Maxi Bodega	-	-	-	96.15%	41.32%	62.50%	66.65%

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.3 se calcularon las ventas en \$ proyectadas para el periodo 2015 – 2020

$$\text{Venta } \$_{\text{año 2015}} = (0.1102 \times 32,678,568) + 32,678,568 = 36,610,003$$

Tabla D.18 Ventas en dólares de Pollo proyectadas para el período 2015–2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	36,610,003	41,014,413	45,948,702	51,476,617	57,669,574	64,607,582
La Unión	5,723,384	6,036,351	6,366,432	6,714,563	7,081,731	7,468,976
Hipermercado	2,308,647	3,951,537	6,763,547	1,1576,653	19,814,882	33,915,638
Maxi Bodega	3,892,652	6,487,260	10,811,279	18,017,429	30,026,767	50,040,809

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.4 en Palí:

$$\text{Precio x lb}_{\text{año 2015}} = (0.87)_{\text{año (2014)}} \times (1 + 1.5\%) = \$ 0.89$$

Tabla D.19 Precios en dólares por libras de Pollo proyectados para el periodo 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	0.89	0.90	0.91	0.93	0.94	0.95
La Unión	0.93	0.94	0.96	0.97	0.99	1.00
Hipermercado	0.91	0.92	0.93	0.95	0.96	0.98
Maxi Bodega	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.97

Fuente: Elaborado por tesistas

Aplicando la ecuación D.8 se Cálculo el Volumen de Producción (VP) por lo que resulta:

$$\text{VP Palí año 2015} = \frac{\$ 36610003}{\$ 0.89} = 41323023 \text{ lb}$$

$$\text{VP La Unión año 2015} = \frac{\$ 5723384}{\$ 0.93} = 6162843 \text{ lb}$$

$$\text{VP Hipermercado año 2015} = \frac{\$ 2308647}{\$ 0.91} = 2544470 \text{ lb}$$

$$\text{VP Maxi Bodega año 2015} = \frac{\$ 3892652}{\$ 0.90} = 4341410 \text{ lb}$$

Así de esta manera para cada año se calculan los volúmenes de producción en libras de donde resulta la siguiente tabla.

Tabla D.20 Libras de Pollo proyectadas para el periodo 2015 – 2020

Mercados	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Palí	41,323,023	45,610,285	50,342,350	55,565,367	61,330,272	67,693,285
La Unión	6,162,843	6,403,784	6,654,145	6,914,295	7,184,615	7,465,503
Hipermercado	2,544,470	4,290,814	7,235,727	12,201,820	20,576,290	3,469,8407
Maxi Bodega	4,341,410	7,128,210	11,703,889	19,216,748	31,552,196	35,111,951
TOTAL (lb)	54,371,745	63,433,093	75,936,111	93,898,230	120,643,373	144,969,147

Fuente: Elaborado por tesistas

Después de haber calculado los volúmenes de producción para el periodo 2015-2020, para cada mercado y sus respectivas se procedió a calcular los volúmenes de producciones totales.

2. Cálculo de los Volúmenes de Producción Totales para el Periodo 2015-2020

Los Volúmenes de Producción (VP) se calcularon sumando las libras de todas las categorías en los mercados, en un año, a continuación se explica para el año 2015, ver tabla D.21.

Tabla. D.21 Volúmenes de Producción para Palí en todas las categorías en el año 2015

Categoría	VP (lb)
Res	13,830,507
Cerdo	719,850
Formados	394,705
Embutidos	2,396,734
Marinados res y cerdo	1,426,816
Marinados de pollo	1,408,388
Pollo	41,323,023
Σ Total	61,500,023

De la misma manera se hace para cada año y mercado, aplicando la siguiente ecuación:

$$VPT_{\text{año } n} = (VP \text{ Palí}_{\text{año } n}) + (VP \text{ La Unión}_{\text{año } n}) + (VP \text{ Híper}_{\text{año } n}) + (VP \text{ Maxi}_{\text{año } n})$$

D.9

Donde:

VPT año n: Volumen de producción total, kg/año.

VP Palí año n: Volumen de producción de todas las categorías en Palí, kg/año.

VP La Unión año n: Volumen de producción de todas las categorías en Palí, kg/año.

VP Hipermercado año n: Volumen de producción de todas las categorías en Palí, kg/año.

VP Maxi Bodega año n: Volumen de producción de todas las categorías en Palí, kg/año.

A continuación se muestran los volúmenes restantes proyectados de cada mercado, en todas las categorías en el periodo 2015-2020, ver tabla D.22.

Tabla D.22 Volúmenes de Producción Totales proyectados para el periodo 2015- 2020

Año	Palí	La Unión	Híper Mercado	Maxi Bodega	VPT (lb)	VPT (kg)
2015	61,500,023	11,271,338	5,191,034	8,821,711	86,784,106	39,447,321
2016	67,742,253	11,867,680	8,821,977	14,602,428	103,034,339	46,833,791
2017	73,070,642	12,483,076	14,994,302	24,172,824	124,720,845	56,691,293
2018	80,580,172	13,129,040	25,491,791	40,029,348	159,230,351	72,377,432
2019	88,340,241	13,816,478	43,346,921	66,301,475	211,805,115	96,275,052
2020	98,384,103	14,545,322	73,760,089	93,249,274	279,938,788	127,244,904

Fuente: Elaborado por los tesisistas.

Introduciendo valores para el año 2020, ver tabla D.22:

$$\text{VPT año 2020} = (\text{VP Palí}) + (\text{VP La Unión}) + (\text{VP Hípermercado}) + (\text{VP Maxibodega})$$

$$\text{VPT año 2020} = 98,384,103 \text{ lb} + 13,816,478 \text{ lb} + 93,249,274 \text{ lb} + 66,301,475 \text{ lb} = 279,938,788 \text{ lb}$$

Se hizo la conversión al SI:

$$\text{VPT}_{2020} = 127,244,904 \text{ kg}$$

Los volúmenes de producción totales para todo el periodo de proyecto son presentados en la tabla 5.8.

ANEXO E. CÁLCULO DE LA PROYECCIONES DE CAUDALES DE AGUA RESIDUAL

1. Cálculo del Índice de Consumo de Agua (ICA)

Mediante el índice de consumo de agua calculado con la ecuación 4.1, se proyectaron los caudales de agua residual.

$$ICA_{2009} = 2.60 \times 10^{-4} \frac{m^3}{kg}$$

2. Cálculo de los Caudales Proyectados de Agua Residual

Aplicando la ecuación 4.2 se realizó el cálculo desde el año 2010 hasta el año 2020, a continuación se explica para el año 2010; los años posteriores se hacen de la misma manera, (ver tabla E.1) con sus respectivos VPT (kg).

- **Año 2010**

$$Q_{ar} = (19,982,320 \text{ (kg/año)} \times (2.60 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg})) = 5,191.64 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Tabla E.1. Caudales proyectados para el periodo 2010-2020

Año	Caudal m ³ /año	Caudal m ³ /día
2010	5,191.64	14.42
2011	5,644.44	15.68
2012	6,525.85	18.13
2013	7,454.71	20.71
2014	8,554.21	23.76
2015	10,248.88	28.47
2016	12,167.97	33.80
2017	14,729.07	40.91
2018	18,804.52	52.23
2019	25,013.40	69.48
2020	33,059.74	91.83

Fuente: Elaborado por los tesistas

ANEXO F. CÁLCULO DE LAS PROYECCIONES DE CARGAS CONTAMINANTES

Para estas proyecciones se tomaron en cuenta las concentraciones máximas de cada parámetro referidas en la tabla 5.2, el VPT de los años proyectados, presentados en el anexo D, y el Volumen de Producción Total del año 2009, que es **17,814,428 kg**.

En este anexo se explica el cálculo de la carga contaminante de la DBO₅ en el periodo de proyecto, mediante los pasos previamente mencionados en la metodología.

1. Cálculo de la Carga y del Factor Contaminante para el año 2009

A continuación se presenta el cálculo para la DBO₅, los demás parámetros se muestran en la tabla F.1.

- Cálculo de la C_{DBO}

Aplicando la ecuación 4.3:

$$C_{\text{DBO}_5} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = 4041.08 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times 4,628.04 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) \times \left(1 \times 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \right)$$

$$C_{\text{DBO}} = 18,703.73 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

- Cálculo del F_{DBO}

Aplicando la ecuación 4.2:

$$F_{\text{DBO}_5} = \frac{18,703.73 \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}{17,814,428 \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}$$

$$F_{\text{DBO}} = 1.05 \times 10^{-3} \frac{\text{kg contaminante}}{\text{kg producto}}$$

De la misma manera se calcularon las cargas Contaminantes y factores de contaminantes para cada parámetro, resultando la siguiente tabla:

Tabla F.1. Cargas y factores de los contaminantes del año 2009

Parámetro (mg/l)	CC (kg contaminante/año)	FC (kg contaminante/kg producto)
DQO	23,992.92	1.35×10^{-3}
DBO	18,703.73	1.05×10^{-3}
AyG	1,124.24	6.31×10^{-5}
SST	41,539.89	2.33×10^{-3}
S.Sed.	2,314.20	1.30×10^{-4}

2. Cálculos de las Proyecciones de Cargas Contaminantes para el Período 2010 – 2020

Los factores de los contaminantes para el año 2009 se consideraron invariables debido a la relación proporcional entre el caudal de agua residual y el incremento del volumen de producción, y siendo el comportamiento de la producción creciente, también las cargas aumentan proporcionalmente.

A continuación se detallan los cálculos de las proyecciones de cargas del año 2010.

- **Año 2010**

Aplicando la ecuación 4.3, se obtienen las cargas para los demás parámetros:

- Cálculo C_{DQO}

$$C_{DQO\ 2010} = \left(19,982,320 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \times 1.35 \times 10^{-3} = 26,912.69 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

- Cálculo de C_{DBO}

$$C_{DBO\ 2010} = \left(19,982,320 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \times 1.05 \times 10^{-3} = 20,979.85 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

- Cálculo de C_{AyG}

$$C_{AyG\ 2010} = \left(19,982,320 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \times 6.31 \times 10^{-5} = 20,979.85 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

- Cálculo de C_{SST}

$$C_{SST\ 2010} = \left(19,982,320 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \times 2.33 \times 10^{-3} = 46,595.00 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

- Cálculo de $C_{S.Sed.}$

$$C_{S.Sed.\ \text{año}\ 2010} = \left(19,982,320 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \times 1.30 \times 10^{-4} = 2,595.82 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

De esta manera se calcularon las cargas contaminantes para el periodo de proyecto, estos resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla F.2. Cargas de los contaminantes proyectadas en kg/año para el periodo 2010 – 2015

Año	Carga Contaminante (kg/año)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DQO	26,912.69	29,259.94	33,829.03	38,644.06	44,343.71	53,128.64
DBO	20,979.85	22,809.65	26,371.50	30,125.07	34,568.24	41,416.55
AyG	1,261.05	1,371.04	1,585.13	1,810.75	2,077.82	2,489.45
SST	46,595.00	50,658.89	58,569.54	66,905.99	76,774.02	91,983.72
S.Sed.	2,595.82	2,822.22	3,262.93	3,727.35	4,277.10	5,124.44

Tabla F.3. Cargas de contaminantes proyectadas en kg/día para el periodo 2010 – 2015

Año	Carga Contaminante (kg/día)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DQO	74.76	81.28	93.97	107.34	123.18	147.58
DBO	58.28	63.36	73.25	83.68	96.02	115.05
AyG	3.50	3.81	4.40	5.03	5.77	6.92
SST	129.43	140.72	162.69	185.85	213.26	255.51
S.Sed.	7.21	7.84	9.06	10.35	11.88	14.23

Tabla F.4. Cargas de contaminantes proyectadas en kg/año para el periodo 2016-2020

Año	Carga Contaminante (kg/año)				
	2016	2017	2018	2019	2020
DQO	63,076.93	76,353.26	97,479.75	129,665.66	171,376.64
DBO	49,171.76	59,521.35	75,990.55	101,081.16	133,597.04
AyG	2,955.60	3,577.69	4,567.62	6,075.76	8,030.21
SST	109,207.57	132,193.41	168,770.53	224,495.28	296,711.14
S.Sed.	6,083.99	7,364.54	9,402.26	12,506.70	16,529.87

Tabla F.5. Cargas de contaminantes proyectadas en kg/día para el periodo 2016-2020

Año	Carga Contaminante (kg/día)				
	2016	2017	2018	2019	2020
DQO	175.21	212.09	270.78	360.18	476.05
DBO	136.59	165.34	211.08	280.78	371.10
AyG	8.21	9.94	12.69	16.88	22.31
SST	303.35	367.20	468.81	623.60	824.20
S.Sed.	16.90	20.46	26.12	34.74	45.92

MEMORIA DE CALCULO

ANEXO G. DISEÑO DE LA TRAMPA DE GRASA

En este anexo se presentan los cálculos que fueron necesarios para el pre-diseño del sistema de Aguas Residuales de ICI.

Se diseñó una trampa de grasa para los años 2015 y 2020, y para esto se tomaron las siguientes consideraciones de diseño.

Tabla G.1 Valores considerados para el cálculo de la trampa de grasa en el periodo 2015-2020

Dato	Valor año 2020	Valor año 2015
Q	91.83 m ³ /día	28.47 m ³ /día
[AyG]	242.90 mg/l	242.90 mg/l
C_{AyG}	22.31 kg/día	6.92 kg/día
[DQO]	5,183.84 mg/l	5,183.84 mg/l
C_{DQO}	476.05 kg/día	147.58 kg/día
[DBO]	4,041.08 mg/l	4,041.08 mg/l
C_{DBO}	371.10 kg/día	115.05 kg/día

Tabla G.2 Criterios seleccionados para el cálculo de la trampa de grasa en el periodo 2015-2020

Dato	Valor año 2020	Valor año 2015
TRH²²	30 min = 0.50 hora	30 min = 0.50 hora
H	1 m	1 m
B	B = 3 L	B = 3 L
ρ_{grasa}²³	750 kg/m ³	750 kg/m ³ .

²²Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL.

²³ Ramalho. 1983

1. Diseño para el Año 2020

1.1 Volumen del Separador de Grasas (V)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$V = Q_{2020} \times TRH$$

G.1

Donde:

V: Volumen del separador de grasas, m³.

Q: Caudal de agua residual correspondiente al año 2020, m³/día.

$$V = \left(91.83 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times (0.50 \text{ h})$$

$$V = 1.92 \text{ m}^3$$

1.2 Área del separador de grasas (A)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{H}$$

G.2

Donde:

A: Área del separador de grasas, m².

V: volumen del separador de grasas, m³.

H: Altura del separador de grasas, m.

$$A = \frac{1.92 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 1.92 \text{ m}^2$$

1.3 Longitud del separador de grasas (L)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A}{B}$$

G.3

Donde:

L: Longitud del separador, m.

B: Ancho del Separador, m.

Sustituyendo la relación anterior resulta

$$L = \frac{A}{3 \times L}$$

Despejando B, e introduciendo el valor de A se obtiene:

$$L = \sqrt{\frac{1.92 \text{ m}^2}{3}} = 0.8 \text{ m}$$

Sustituyendo L en la relación $B = 3 L$, se obtiene:

$$B = 3 (0.8 \text{ m}) = 2.4 \text{ m}$$

2. Diseño para el Año 2015

2.1 Volumen del separador de grasas

Para el cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$V = Q_{2015} \times \text{TRH}$$

G.4

Donde:

Q: Caudal de agua residual correspondiente al año 2015, m³/día.

THR: Tiempo de retención hidráulica, horas.

$$V = \left(28.47 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}\right) \times (0.5 \text{ h}) = 0.6 \text{ m}^3$$

2.2 Altura del caudal de agua residual en el 2015 (H_{2015})

Despejando H_{2015} de la ecuación E.2, se obtiene:

$$H_{2015} = \frac{V_{2015}}{A}$$

Donde:

H₂₀₁₅: Altura mínima del agua en el separador, m.

A: Área del separador a caudal máximo (año 2020), m².

$$H_{2015} = \frac{0.6 \text{ m}^3}{1.92 \text{ m}^2} = 0.31 \text{ m}$$

2.3 Altura del baffle de la trampa de grasa (Hb)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$Hb = H - H_{2015}$$

G.5

Donde:

H: Altura del separador en el año 2020, m.

H₂₀₁₅: Altura del separador en el año 2015, m.

$$Hb = 1 \text{ m} - 0.31 \text{ m} = 0.69 \text{ m}$$

3. Cálculo de Remociones en el año 2020

3.1 Remoción de AyG

Para el cálculo se considera que las trampas de grasa remueven hasta un 90 %²⁴.

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando la [AyG]_{efluente}:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{[AyG]_{\text{inicial}} - [AyG]_{\text{salida}}}{[AyG]_{\text{inicial}}} \times 100$$

G.6

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$[AyG]_{\text{salida}} = \left[[AyG]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[[AyG]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

G.7

²⁴ Caridad, Ramos y Alexis, P. 2005

Donde:

[AyG]_{inicial}: Concentración del Afluente del sistema, mg/l.

[AyG]_{final}: Concentración a la efluente del sistema, mg/l.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$[\text{AyG}]_{\text{salida}} = \left[242.90 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{90}{100} \right) \times \left[242.90 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 24.29 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Remoción de carga de grasa en el año 2020

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando la $C_{\text{AyG}}_{\text{efluente}}$:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{AyG}}_{\text{inicial}} - C_{\text{AyG}}_{\text{salida}}}{C_{\text{AyG}}_{\text{inicial}}} \times 100$$

G.8

Se obtiene la siguiente ecuación:

:

$$C_{\text{AyG}}_{\text{salida}} = \left[C_{\text{AyG}}_{\text{inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[C_{\text{AyG}}_{\text{inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

G.9

Donde:

$C_{\text{AyG}}_{\text{inicial}}$: Carga de aceite y grasa del afluente de la trampa de grasa, en kg/día.

$C_{\text{AyG}}_{\text{efluente}}$: Carga de aceite y grasa a la efluente de la trampa de grasa, en kg/día.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$C_{\text{AyG}}_{\text{salida}} = \left[22.31 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{90}{100} \right) \times \left[22.31 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 2.31 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

- Carga de grasa removida

Para el cálculo de la grasa removida se utilizó el caudal de agua residual en el 2020, **91.83 m³/día**, y la concentración de efluente, **24.29 mg/l**.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{grasa}} = Q_{2020} \times \frac{([\text{AyG}]_{\text{inicial}} - [\text{AyG}]_{\text{final}})}{1000}$$

G.10

Donde:

Q_{grasa} (kg/h): Carga de grasa que se removió en la trampa de grasa

Q₂₀₂₀: Caudal de agua residual correspondiente al año 2020, m³/día.

[AyG]_{inicial}: Concentración de grasas y aceites del afluente de la trampa de grasa, mg/l.

[AyG]_{efluente}: Concentración de grasas y aceites a la efluente de la trampa de grasa, mg/l.

1000: Factor de conversión.

$$Q_{\text{grasa}} = 91.83 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{\left(242.90 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 24.29 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{1000} = 0.84 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- Volumen de grasa removida

Aplicando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{grasa}} = \frac{Q_{\text{grasa}}}{\rho_{\text{grasa}}}$$

G.11

Donde:

V_{grasa}: Volumen de grasa removida en un día de operación, m³/día.

Q_{grasa}: Cantidad de grasa removida, kg/día.

$$V_{\text{grasa}} = \frac{\left(0.84 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \times \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}\right)}{750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.027 \text{ m}^3$$

- Altura de la capa de grasa removida

Aplicando la siguiente ecuación:

$$H_{\text{grasa}} = \frac{V_{\text{grasa}}}{A}$$

G.12

Donde:

H_{grasa}: Altura de la capa de grasa removida en un día de operación, m/día.

V_{grasa}: Volumen de la grasa, m³.

A: Área del separador, m².

$$H_{\text{grasa}} = \frac{0.027 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{1 \text{ m}} = 0.027 \text{ m/día}$$

Aplicando las mismas ecuaciones de remociones se realizaron los cálculos para el año 2015, estos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla G.3 Resultados de remociones en el año 2015

Dato	Valor
[AyG]_{final}	24.29 mg/l
C_{AyG final}	0.69 kg/día
F_{grasa}	0.26 kg/h
V_{grasa}	8.32 m ³
H_{grasa}	8.32 x 10 ⁻³ m/día

3.2 Remoción de DQO

Para el cálculo de la remoción de la DQO se consideró que las trampas de grasa remueven hasta un 20 %²⁵ de la DQO.

- Remoción de concentración

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando la [DQO]_{efluente}:

²⁵Caridad, Ramos y Alexis, P. 2005

$$\% \text{ Remoción} = \frac{[\text{DQO}]_{\text{inicial}} - [\text{DQO}]_{\text{salida}}}{[\text{DQO}]_{\text{inicial}}} \times 100$$

G.13

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$[\text{DQO}]_{\text{salida}} = \left[[\text{DQO}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[[\text{DQO}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

G.14

Donde:

[DQO]_{inicial}: Concentración de la DQO del afluente del sistema, mg/l.

[DQO]_{efluente}: Concentración de la DQO del efluente del sistema, mg/l.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$[\text{DQO}]_{\text{salida}} = \left[5,183.85 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{20}{100} \right) \times \left[5,183.85 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 4,147.1 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Remoción de carga contaminante

Aplicando la siguiente ecuación y despejando la $C_{\text{DQO efluente}}$:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{DQO inicial}} - C_{\text{DQO salida}}}{C_{\text{DQO inicial}}} \times 100$$

G.15

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_{\text{DQO salida}} = \left[C_{\text{DQO inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[C_{\text{DQO inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

G.16

Donde:

$C_{\text{DQO inicial}}$: Carga de la DQO del afluente del sistema, kg/día.

$C_{\text{DQO efluente}}$: Carga de la DQO a la efluente del sistema, kg/día.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$C_{\text{DQO salida}} = \left[476.05 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{20}{100} \right) \times \left[476.05 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 380.84 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Aplicando las mismas ecuaciones y el mismo porcentaje de remoción, se realizaron los cálculos para el año 2015, estos resultados se presentan en la tabla 5.15.

3.3 Remoción de la DBO₅

Para el cálculo de la remoción de la DBO₅ se considera que la trampa de grasa remueve hasta un 20%²⁶.

- Remoción de concentración

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando la [DBO]_{efluente}:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{[\text{DBO}]_{\text{inicial}} - [\text{DBO}]_{\text{salida}}}{[\text{DBO}]_{\text{inicial}}} \times 100$$

G.17

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$[\text{DBO}]_{\text{salida}} = \left[[\text{DBO}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[[\text{DBO}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

G.18

Donde:

[DBO]_{inicial}: Concentración de la DBO del del afluente del sistema, mg/l.

[DBO]_{efluente}: Concentración de la DBO a la efluente del sistema, mg/l.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$[\text{DBO}]_{\text{salida}} = \left[4041.08 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{20}{100} \right) \times \left[4041.08 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 3232.86 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

²⁶Caridad, Ramos y Alexis, P. 2005

- Remoción de carga contaminante

Aplicando la siguiente ecuación y despejando la $C_{\text{DBO efluente}}$:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{DBO inicial}} - C_{\text{DBO salida}}}{C_{\text{DBO inicial}}} \times 100$$

G.19

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_{\text{DBO salida}} = \left[C_{\text{DBO inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[C_{\text{DBO inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

G.20

Donde:

$C_{\text{DBO inicial}}$: Carga de la DBO del del afluente del sistema, en kg/día.

$C_{\text{DBO efluente}}$: Carga de la DBO a la efluente del sistema, en kg/día.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$C_{\text{DBO salida}} = \left[371.10 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{20}{100} \right) \times \left[371.10 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 296.88 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Aplicando las mismas ecuaciones y el mismo porcentaje de remoción, se realizaron los cálculos para el año 2015, estos resultados se presentan en la tabla 5.16.

ANEXO H. DISEÑO DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA (TSP)

En el siguiente acápite se hacen los cálculos pertinentes para la unidad circular de sedimentación primaria seleccionada. Para el cálculo se utilizaron las siguientes tablas:

Tabla H.1 Valores considerados para el cálculo del TSP

Datos	Valor
Q_{2020}	91.83 m ³ /día
Q_{2015}	28.47 m ³ /día
Temperatura	20 °C
$[DBO]_{inicial}$	3432.93 mg/l
$C_{DBO\ inicial}$	296.88 kg/día
$[DQO]_{inicial}$	4147.1 mg/l
$C_{DQO\ inicial}$	380.84 kg/día
$[SST]_{inicial}$	8,975 mg/l
$C_{SST\ inicial}$	824.2 kg/día
$[S.Sed.]$	500 mg/l
$C_{S.Sed.}$	45.92 kg/día

Tabla H.2 Criterios seleccionados para el cálculo del TSP

Dato	Valor
Carga Superficial²⁷ (Cs)	30 m/día
H^{28}	3.6 m
Velocidad Máxima de Flujo en la zona de del afluente²⁹	0.75 m/s
Diámetro de la zona de del afluente del flujo³⁰	0.3 m
Carga sobre el vertedero³¹	10 m ³ /m x h

²⁷ Metcalf y Eddy. 2003

²⁸ Metcalf y Eddy. 2003

²⁹ Metcalf y Eddy. 2003

³⁰ Metcalf y Eddy. 2003

1. Cálculo del Área del Sedimentador

Aplicando la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{Q}{A_{\text{sup}}}$$

H.1

Donde:

A_{sup} : Área superficial del TSP, m².

Q_{ar} : Caudal de agua residual, m³/d.

C_s : Carga superficial, m³/m²/d.

$$A = \frac{91.83 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{30 \frac{\text{m}}{\text{día}}} = 3.1 \text{ m}^2$$

1.1 Cálculo del diámetro del TSP

Aplicando la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

H.2

Donde:

A : Área del TSP, m².

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3.1 \text{ m}^2}{3.1416}}$$

$$D = 2 \text{ m}$$

1.2 Cálculo del volumen del TSP

Aplicando la siguiente ecuación:

$$V = A \times H$$

H.3

Donde:

V : Volumen del TSP, m³.

³¹ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL.

A: Área del TSP, m².

H: Altura del tanque, m.

$$V = 3.1 \text{ m}^2 \times 3.6 \text{ m} = 11.2 \text{ m}^3$$

2. Cálculo del Tiempo de Retención

Aplicando la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{V}{Q}$$

Donde:

H.4

TR: Tiempo de retención en el TSP, hr.

V: Volumen del TSP, m³.

Q: Caudal de agua residual, m³/día.

2.1 Año 2020

$$TR = \frac{11.2 \text{ m}^3}{91.83 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$TR = 0.12 \text{ día} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 2.9 \text{ h}$$

2.2 Año 2015

Para el año 2015 se utilizó un tiempo de retención de 6 horas³², para permitir que las características estructurales del tanque trabajen correctamente:

3. Cálculo del Porcentaje de Remoción

Para el cálculo se tiene:

Tabla H.3 Valores típicos³³ para las constantes empíricas a 20 °C

Parámetro	a	b
DBO	0.018	0.020
TSS	0.0075	0.014

³² Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL

³³ Metcalf y Eddy. 2003

Aplicando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

H.5

Donde:

R: Porcentaje de remoción

a: Constante

b: Constante

t: Tiempo de retención, en hr.

3.1 Cálculo del porcentaje de remoción para el año 2020

- Para DBO₅, aplicando la ecuación H.5:

$$R = \frac{3 \text{ h}}{0.018 + 0.02 \times 3 \text{ h}} = 38.5 \%$$

- Para SST, aplicando la ecuación H.5:

$$R = \frac{3 \text{ h}}{0.0075 + 0.014 \times 3 \text{ h}} = 60.6\%$$

3.2 Cálculo del porcentaje de remoción para el año 2015

- Para DBO₅, aplicando la ecuación H.5:

$$R = \frac{9.4 \text{ h}}{0.018 + 0.02 \times 9.4 \text{ h}} = 45.6 \%$$

- Para SST, aplicando la ecuación H.5:

$$R = \frac{9.4 \text{ h}}{0.0075 + 0.014 \times 9.4 \text{ h}} = 67.6\%$$

4. Cálculo de Remociones en el año 2020

4.1 Remoción de DQO

Para el cálculo se utilizó un porcentaje de remoción del 40%³⁴:

- Remoción de concentración de DQO

Aplicando la ecuación G.14, e introduciendo valores se obtiene:

$$[\text{DQO}]_{\text{salida}} = \left[4,147.1 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{40}{100} \right) \times \left[4,147.1 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 2,488.26 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Remoción de carga contaminante

Aplicando la ecuación G.16, e introduciendo valores se obtiene:

$$C_{\text{DQO salida}} = \left[380.84 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{40}{100} \right) \times \left[380.84 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 228.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.2 Remoción de DBO₅

Para el cálculo se utilizó un porcentaje de remoción de 38.5%:

- Remoción de concentración

Aplicando la ecuación G.18, e introduciendo valores se obtiene:

$$[\text{DBO}]_{\text{salida}} = \left[3,232.9 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{38.5}{100} \right) \times \left[3,232.9 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 1,988.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Remoción de carga contaminante

Aplicando la ecuación G.20, e introduciendo valores:

³⁴ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL

$$C_{\text{DBO}_{\text{salida}}} = \left[296.88 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{38.5}{100} \right) \times \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 182.6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.3 Remoción de SST

Para el cálculo se utilizó un porcentaje de remoción de 60.6%.

- Remoción de concentración

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando $[\text{SST}]_{\text{efluente}}$:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{[\text{SST}]_{\text{inicial}} - [\text{SST}]_{\text{salida}}}{[\text{SST}]_{\text{inicial}}} \times 100$$

H.6

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$[\text{SST}]_{\text{salida}} = \left[[\text{SST}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[[\text{SST}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

H.7

Donde:

$[\text{SST}]_{\text{inicial}}$: Concentración de SST del afluente del sistema, mg/l.

$[\text{SST}]_{\text{efluente}}$: Concentración de SST a la efluente del sistema, mg/l.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$[\text{SST}]_{\text{salida}} = \left[8,975 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{60.6}{100} \right) \times \left[8,975 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 3,536.15 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Remoción de carga contaminante

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando C_{SST} :

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{SST inicial}} - C_{\text{SST salida}}}{C_{\text{SST inicial}}} \times 100$$

H.8

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_{\text{SST salida}} = \left[C_{\text{SST inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[C_{\text{SST inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

H.9

Donde:

C_{SST inicial}: Carga de SST del afluente del sistema, en kg/día.

C_{SST efluente}: Carga de SST a la efluente del sistema, en kg/día.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$C_{SST\ salida} = \left[824.20 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{60.6}{100} \right) \times \left[824.20 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 324.73 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.4 Remoción de sólidos sedimentables

En el cálculo se consideró una remoción del 99 %³⁵ para los sólidos sedimentables con una gravedad específica de 1.20³⁶, que es mayor a la del agua, por tal razón es una remoción casi completa de los sólidos.

- Remoción de concentración

Aplicando la siguiente ecuación, y despejando [S.Sed.]_{efluente}:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{[\text{S.Sed.}]_{\text{inicial}} - [\text{S.Sed.}]_{\text{salida}}}{[\text{S.Sed.}]_{\text{inicial}}} \times 100$$

H.10

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$[\text{S.Sed.}]_{\text{salida}} = \left[[\text{S.Sed.}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[[\text{S.Sed.}]_{\text{inicial}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

H.11

Donde:

[S.Sed.]_{inicial}: Concentración de S.Sed. del afluente del sistema, mg/l.

[S.Sed.]_{efluente}: Concentración de S.Sed. a la efluente del sistema, mg/l.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

³⁵ Cheremisinoff. 1995

³⁶ Shun Dar Lin. 2001

$$[\text{S.Sed.}]_{\text{salida}} = \left[500 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{99}{100} \right) \times \left[500 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 5 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Remoción de carga contaminante

Aplicando la siguiente ecuación y despejando $C_{\text{S.Sed.}}$ de efluente:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{S.Sed. inicial}} - C_{\text{S.Sed. salida}}}{C_{\text{S.Sed. inicial}}} \times 100$$

H.12

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_{\text{S.Sed. salida}} = \left[C_{\text{S.Sed. inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{\% \text{ Remoción}}{100} \right) \times \left[C_{\text{S.Sed. inicial}} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

H.13

Donde:

$C_{\text{S.Sed. inicial}}$: Carga de S.Sed. del afluente del sistema, kg/día.

$C_{\text{S.Sed. efluente}}$: Carga de S.Sed. a la efluente del sistema, kg/día.

% Remoción: Porcentaje de remoción en el sistema.

Introduciendo valores:

$$C_{\text{S.Sed. salida}} = \left[45.92 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{99}{100} \right) \times \left[45.92 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 0.46 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

5. Cálculo del Flujo de Lodo Primario

En el cálculo se consideraron los siguientes valores:

Tabla H.4 Criterios seleccionados para el cálculo del flujo de lodo primario³⁷

Dato	Valor
S (gravedad específica del lodo)	1.03
ρ_{agua}	998.2 kg/m ³
Porcentaje de Sólidos	4 %

Aplicando la siguiente ecuación³⁸:

$$Q_{Lodos} = \frac{[C_{SST_{inicial}} - C_{SST_{final}}] \frac{kg}{día}}{S \times \rho_{agua} \frac{kg}{m^3}} \div 0.04$$

H.14

$$Q_{Lodos} = \frac{496.99 \frac{kg}{día}}{1.03 \times 998.2 \frac{kg}{m^3}} \div 0.04 = 12.1 \frac{m^3}{día}$$

³⁷ Metcalf y Eddy. 2003

³⁸ Shun Dar Lin. 2001

ANEXO I. DISEÑO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS POR MEZCLA COMPLETA

En el diseño del sistema de lodos activados se consideró una pérdida de agua residual debido a la sedimentación de los lodos en el TSP, por tanto el nuevo caudal para el diseño se cálculo de la siguiente forma.

1. Cálculo del Caudal de Agua Residual que entra al Tanque

Aplicando la siguiente ecuación³⁹:

$$Q_{ar} = (Q - Q_{Lodos}) \frac{m^3}{día}$$

I.1

Donde:

Q_{ar} : Caudal de agua residual, m³/día.

Q_{Lodos} : Caudal de lodos sedimentados, m³/día.

2. Estimación de la DBO₅ en el Efluente

Según el decreto 33-95, artículo 29, la norma de SST es de 200 mg/l, y de DBO₅ es de 150 mg/l, por lo tanto en el diseño del sistema se suponen valores de efluente de estos parámetros.

Aplicando la siguiente consideración propuesta por Menéndez. 2007:

$$DBO_5 \text{ efluente} = DBO_5 \text{ disuelta no degradable} + DBO_5 \text{ suspendida degradable}$$

I.2

Para el cálculo se tomo el valor de la DBO₅ suspendida degradable representa como el 50% - 75 % de la DBO total⁴⁰.

Se consideró para el cálculo, que la fracción de la DBO₅ suspendida es 0.75 de la DBO5 total, es decir en este caso del efluente.

³⁹ Shun Dar Lin. 2001

⁴⁰ Menéndez, Carlos. 2007

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{DBO}_5 \text{ suspendida degradable} = [\text{DBO}]_{\text{total}} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \text{fracción} \quad \text{I.3}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ suspendida degradable} = 120 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 0.75 = 90 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Despejando de la ecuación E.28 la DBO₅ disuelta no degradable (DBO₅ dnd):

$$\text{DBO}_5 \text{ dnd} = \text{DBO}_5 \text{ efluente} \frac{\text{mg}}{\text{l}} - \text{DBO}_5 \text{ suspendida degradable} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \quad \text{I.4}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ dnd} = 120 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 90 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 30 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

3. Cálculo de las Concentraciones con base en el Caudal de Agua Residual del Sistema

3.1 Cálculo de concentración de DBO₅

Aplicando la ecuación 5.3, se obtiene:

$$[\text{DBO}_5]_{\text{inicial}} = \frac{182.6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \times 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

3.2 Cálculo de concentración de DQO

Aplicando la ecuación 5.3, se obtiene:

$$[\text{DQO}]_{\text{inicial}} = \frac{228.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \times 1,000 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 2,865.92 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

3.3 Cálculo de concentración de SST

Aplicando la ecuación 5.3, se obtiene:

$$[\text{SST}]_{\text{inicial}} = \frac{329.68 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \times 1,000 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 4,072.87 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

3.4 Cálculo de concentración de S.Sed.

Aplicando la ecuación 5.3, se obtiene:

$$[\text{SSed}]_{\text{inicial}} = \frac{0.46 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \times 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 5.8 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

En los cálculos posteriores se tomaron los valores propuestos en las tablas I.1 y I.2.

Tabla I.1 Valores considerados para el cálculo del Sistema de Lodos Activados

Dato	Valor
Q_{ar}	79.73 m ³ /día
$[\text{DQO}]_{\text{inicial}}$	2,865.92 mg/l
$C_{\text{DQO inicial}}$	228.5 kg/d
$[\text{DBO}]_{\text{inicial}}$	2,290.23 mg/l
$C_{\text{DBO inicial}}$	184.06 kg/d
$C_{\text{SST inicial}}$	329.68 kg/d
$[\text{SST}]_{\text{inicial}}$	4,072.87 mg/l
Temperatura del agua residual (T_{ar})	20°C

Tabla I.2 Criterios seleccionados en el diseño del Sistema de Lodos Activados

Datos	Valor
[SST] _{efluente}	≤ 150 mg/l
[DBO] _{efluente}	≤ 120 mg/l
Rendimiento teórico ⁴¹ (Y)	0.5 mg SSV/mg DBO
Tiempo de Retención de Sólidos ⁴² (TRS)	6 días
SSLM ⁴³	5,500
SSVLM/SSLM ⁴⁴	0.85
SSVLM	4,675 mg/l
SSVLM _r ⁴⁵	10,000 mg/l.

4. Cálculo de la Eficiencia (E)

4.1 Cálculo de la eficiencia en base a la DBO₅ disuelta no degradable

Aplicando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{[DBO_5]_{inicial} - DBO_5 \text{ dnd}}{[DBO_5]_{inicial}} \times 100$$

I.6

Donde:

E: Eficiencia, en porcentaje (%).

[DBO₅]_{inicial}: Concentración de DBO del afluente, mg/l.

$$E = \frac{2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 30 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \times 100 = 98.7\%$$

4.2 Cálculo de la eficiencia con base en la DBO₅ del efluente

Aplicando la ecuación I.6:

⁴¹ Shun Dar Lin. 2001

⁴² Metcalf y Eddy. 2003

⁴³ Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. ENACAL

⁴⁴ Metcalf y Eddy. 2003

⁴⁵ Metcalf y Eddy 2003

Donde:

[DBO]_{inicial}: Concentración de DBO₅ del afluente, mg/l.

[DBO]_{final}: Concentración de DBO₅ de efluente del sistema, mg/l.

$$E = \frac{2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 120 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \times 100 = 95\%$$

5. Corrección de la Fracción de Decaimiento (kd)

Con el factor de Arrhenius, 1.03⁴⁶, se corrigió el valor de kd para la temperatura de los países tropicales, como Nicaragua, que generalmente se mantiene a 30 °C en el año.

Aplicando la siguiente ecuación⁴⁷:

$$kd_{30\text{ °C}} = kd \times \theta^{(T-Tar)}$$

I.7

$$kd_{30\text{ °C}} = 0.075 \text{ d}^{-1} \times 1.03^{(30-20)} = 0.1 \text{ d}^{-1}$$

6. Cálculo del Volumen del Tanque

Aplicando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{TRS \times Q \times Y ([DBO]_{inicial} - DBO_{dnd})}{SSVLM (1 + kd \times TRS)}$$

I.8

Donde:

V: Volumen del tanque de aireación, m³.

TRS: Tiempo de retención de sólidos, día.

Q_{ar}: Caudal de agua residual, m³/día.

[DBO₅]_{inicial}: Concentración de DBO₅ del afluente, mg/l.

SSVLM: Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado, en mg SSV/mg DBO.

Y: Rendimiento teórico de la biomasa, en mg SSV/mg DBO.

⁴⁶ Ramalho. 1983

⁴⁷ Ramalho. 1983

$$V = \frac{6 \text{ días} \times 79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 0.5 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}} \left(2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{T}} - 30 \frac{\text{mg}}{\text{T}} \right)}{4,675 \frac{\text{mg}}{\text{T}} (1 + 0.1 \text{ d}^{-1} \times 6 \text{ días})}$$

$$V = 73 \text{ m}^3$$

6.1 Cálculo de las dimensiones del tanque

- Cálculo de la altura del tanque, H.

Asumiendo una altura de 4.5 metros (Metcalf y Eddy. 2003).

$$H = h_{\text{difusores}} \text{ m} + 0.4 \text{ m}$$

I.9

Donde:

$h_{\text{difusores}}$: Altura a la que se sumergen los difusores para alcanzar la eficiencia deseada en el agua dentro del tanque, en m.

0.4 m: Espacio libre recomendado en la superficie del tanque (Shun Dar Lin. 2001)

$$H = 4.5 \text{ m} + 0.4 \text{ m}$$

$$H = 4.9 \text{ m}$$

- Cálculo del Ancho del Tanque, w.

Se tomo una relación de Ancho – Largo de 1:2, para las dimensiones del tanque⁴⁸.

$$V = w \times L \times H \tag{I.10}$$

$$V = w \times 2w \times 4.9 \text{ m}$$

Despejando w se obtiene:

$$w = \sqrt{\frac{73 \text{ m}^3}{9.8}} = 2.7 \text{ m}$$

⁴⁸ Shun Dar Lin. 2001

- Cálculo del Largo del Tanque, L

$$L = w \times 2$$

I.11

$$L = 2.7 \text{ m} \times 2 = 5.4 \text{ m}$$

- Cálculo del Área del Tanque.

$$A = L \times W$$

I.12

Donde:

L: largo del tanque de aireación, m.

W: ancho del tanque de aireación, m.

$$A = 5.4 \text{ m} \times 2.7 \text{ m}$$

$$A = 14.6 \text{ m}^2$$

7. Cálculo del Rendimiento Real (Y_{real}) del Sistema

Aplicando la siguiente ecuación:

$$Y_{\text{real}} = \frac{Y}{1 + (kd \times \text{TRS})}$$

I.13

Donde:

TRS: Tiempo de retención de sólidos, en días.

kd: Fracción de decaimiento de la Biomasa, en d^{-1} .

Y: Rendimiento teórico de la biomasa, en mg SSV/mg DBO.

$$Y_{\text{real}} = \frac{0.5 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}}}{1 + (0.1 \text{ d}^{-1} \times 6 \text{ d})}$$

$$Y_{\text{real}} = 0.31 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}}$$

8. Cálculo del Flujo de Lodos de la Purga

Aplicando la siguiente ecuación:

$$TRS = \frac{V \times SSLVM}{Q_p \times (SSLM) + (Q_{ar} \times SST_{final} \times 0.85)} \quad I.14$$

Donde:

SSLVM: Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado, mg/l.

TRS: Tiempo de retención de Sólidos, días.

SST_{efluente}: Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles Totales de efluente, mg/l.

Q_{ar}: Caudal de agua residual, m³/día.

V: Volumen del Tanque de Aireación, m³.

Q_p: Caudal de Purga de Lodos, m³/día.

0.85: Fracción de SSV.

Despejando Q_p se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{(V \times SSLVM) - (Q_{ar} \times SST_{final} \times 0.85 \times TRS)}{TRS \times SSLM} \quad I.15$$

$$Q_p = \frac{\left(73 \text{ m}^3 \times 4,675 \frac{\text{mg}}{\text{T}}\right) - \left(79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 150 \frac{\text{mg}}{\text{T}} \times 0.85 \times 6 \text{ días}\right)}{6 \text{ días} \times 5,500 \frac{\text{mg}}{\text{T}}}$$

$$Q_p = 8.5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

9. Cálculo del Flujo de Lodos en el Sistema.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$C_{\text{Lodos}} = \text{SSLM} \frac{\text{kg}}{\text{día}} - C_{\text{SST efluente}} \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

I.16

Donde:

LAR: Carga de Lodos en el Agua Residual, kg/día.

C_{SST efluente}: Carga de Sólidos Suspendidos Totales en el efluente, kg/día.

9.1 Cálculo del incremento de biomasa (SSVLM)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{SSVLM} = Y_{\text{real}} \times Q_{\text{ar}} \times \left[\frac{([\text{DBO}_5]_{\text{inicial}} - [\text{DBO}_5]_{\text{dnd}})}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \times \frac{\text{l}}{\text{m}^3}} \right]$$

I.17

Donde:

SSVLM: Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado, kg/día.

Y_{real}: Fracción de Rendimiento Teórico de la Biomasa Real, mg SSV/mg DBO.

[DBO]_{inicial}: Concentración de la DBO₅ del afluente, mg/l.

1000: Factor de Conversión.

$$\text{SSVLM} = 0.31 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}} \times 79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times \left[\frac{(2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 30 \frac{\text{mg}}{\text{l}})}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \times \frac{\text{l}}{\text{m}^3}} \right]$$

$$\text{SSVLM} = 55.9 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

9.2 Cálculo del incremento de biomasa SSLM

Aplicando la siguiente relación⁴⁹:

$$\frac{\text{SSVLM}}{\text{SSLM}} = 0.85$$

I.18

⁴⁹ Metcalf y Eddy. 2003

$$\text{SSLM} = \frac{55.9 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{0.85} = 65.8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

9.3 Cálculo de C_{SST} a la efluente del sedimentador secundario

Aplicando la siguiente ecuación:

$$C_{\text{SST}_{\text{efluente}}} = (Q_{\text{ar}} - Q_{\text{p}}) \times \left(\frac{[\text{SST}]_{\text{efluente}}}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \times \frac{\text{l}}{\text{m}^3}} \right)$$

I.19

Donde:

$C_{\text{SST}_{\text{efluente}}}$: Carga de Sólidos Suspendidos Totales en el efluente, kg/día.

Q_{ar} : Caudal de agua residual, m³/día.

Q_{p} : Caudal de purga de lodos, m³/día.

1000: Factor de Conversión.

$$C_{\text{SST}_{\text{efluente}}} = \left(79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} - 8.5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{150 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \times \frac{\text{l}}{\text{m}^3}} \right) = 10.7 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Aplicando la ecuación I.16, e introduciendo valores:

$$C_{\text{Lodos}} = 65.8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 10.7 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 55.1 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

10. Cálculo del Flujo de Recirculación de Lodos

El flujo de lodos recirculado es una fracción del flujo de del afluente, y está dentro del rango de 0.25-1⁵⁰.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_r = Q_{\text{ar}} \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times \alpha$$

I.20

⁵⁰ Metcalf y Eddy. 2003

Donde:

Q_{ar}: Caudal de agua residual, m³/día.

Q_r: Flujo de lodos recirculados, m³/día.

α: Fracción de recirculación

- Determinación de la Proporción de Reciclaje

Aplicando la siguiente ecuación⁵¹:

$$\alpha = \frac{\text{SSLM} - [\text{SST}]_{\text{inicial}}}{\text{SSLM}_r - \text{SSLM}}$$

I.21

Donde:

SSLM: Concentración de Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado, mg/l.

SSVLM_r: Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles del Licor Mezclado en la recirculación, mg/l.

[SST]_{inicial}: Concentración de Sólidos Suspendidos Totales del afluente, mg/l.

Introduciendo valores:

$$\alpha = \frac{5,500 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 4,072.87 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{10,000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 5,500 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} = 0.32$$

Este valor esta dentro del rango 0.25-1, propuesto por Metcalf y Eddy. 2003

Introduciendo valores en la ecuación I.20 se obtiene:

$$Q_r = 79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 0.32 = 25.5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

11. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulico

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{TRH} = \frac{V}{Q_{ar}}$$

I.22

⁵¹ Metcalf y Eddy. 2003

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico o de aireación, día.

Q_{ar}: Caudal de agua residual, en m³/día.

V: Volumen del tanque de aireación, m³.

$$\text{TRH} = \frac{73 \text{ m}^3}{79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr}}}$$

$$\text{TRH} = 22 \text{ hr} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr}} = 0.92 \text{ día}$$

El tiempo de aireación esta en el rango de 0.5-24 horas⁵².

12. Cálculo del Parámetro A/M

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{M} = \frac{[\text{DBO}]_{\text{inicial}} - [\text{DBO}]_{\text{dnd}}}{\text{TRH} \times \text{SSVLM}}$$

I.23

Donde:

A/M: Relación de carga orgánica por biomasa, mg DBO/ mg SSVLM * día.

TRH: Tiempo de retención hidráulica, día.

SSVLM: Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado, mg/l.

$$\frac{A}{M} = \frac{2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 30 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0.92 \text{ día} \times 4,675 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} = 0.52 \frac{\text{mg DBO}}{\text{mg SSV} \times \text{día}}$$

El rango optimo del valor de A/M está entre 0.3-0.6, es decir que el valor obtenido, significa que la sedimentación del lodo será optima⁵³.

⁵² Shun Dar Lin. 2001

⁵³ Ramalho. 1983

13. Determinación de la Carga Orgánica Volumétrica (COV)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$COV = \frac{Q \times [DBO_5]_{inicial}}{V} \div 1,000 \frac{kg}{mg} \times \frac{l}{m^3} \quad I.24$$

Donde:

1000: Factor de conversión.

$$COV = \frac{79.73 \frac{m^3}{día} \times 2,290.23 \frac{mg}{l}}{73 m^3} \div 1,000 \frac{kg}{mg} \times \frac{l}{m^3} = 2.5 \frac{kg DBO}{m^3 \times día}$$

14. Cálculo de la DBO Última (DBO_u)

La DBO última es requerida en la determinación de la cantidad de oxígeno que se necesita en el sistema, puesto que representa la demanda máxima de oxígeno para degradar la materia orgánica. Se tomo en consideración para este que la DBO₅ representa 0.6-0.7 de la DBO última. De donde el valor seleccionado fue 0.7.

Considerando la siguiente relación⁵⁴:

$$\frac{DBO_5}{DBO_u} = 0.7 \quad I.25$$

Aplicando la siguiente ecuación, e introduciendo valores:

$$DBO_u = \frac{Q_{ar} \times [(DBO_5]_{inicial} - DBO_5 dnd)}{0.7} \div 1,000 \frac{kg}{mg} \times \frac{l}{m^3} \quad I.26$$

Donde:

1000: Factor de conversión.

$$[DBO]_u = \frac{79.73 \frac{m^3}{día} \times \left[\left(2,290.23 \frac{mg}{l} - 30 \frac{mg}{l} \right) \right]}{0.7} \div 1,000 \frac{kg}{mg} \times \frac{l}{m^3}$$

⁵⁴ Henze. 2002

$$DBO_u = 257.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

15. Cálculo del Flujo de Aire Requerido en el Sistema⁵⁵

15.1 Cálculo de la cantidad de oxígeno teórico requerido

Aplicando la siguiente ecuación:

$$O_2 = DBO_u - 1.42 \frac{\text{mg } O_2}{\text{mg célula}} \times \text{SSVLM} \quad \text{I.27}$$

$$O_2 = 257.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 1.42 \frac{\text{mg } O_2}{\text{mg célula}} \times 55.9 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$O_2 = 178.02 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

15.2 Cálculo del Flujo de aire (Faire) teórico requerido

Se tomo en consideración que el porcentaje de O_2 en el aire es del 21 % (Menéndez. 2007), y que la densidad del aire es de 1.3 kg/m^3 (Metcalf y Eddy. 2003).

Por tanto aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Faire} = \frac{O_2 \text{ teórico}}{1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.21} \quad \text{I.28}$$

$$\text{Faire} = \frac{178.02 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 659.3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

15.3 Cálculo del Flujo de aire (Faire) en base a la eficiencia de transferencia de oxígeno a $T = 30^\circ \text{C}$

⁵⁵ Shun Dar Lin. 2001

- Cálculo de la Presión hidrostática (Ph)

Para el cálculo se utilizó una $\rho_{\text{agua}}^{56} = 995.7 \text{ kg/cm}^3$, y una gravedad = 9.8 m/s².

Aplicando la siguiente ecuación:

$$Ph = \rho \times g \times H$$

I.29

Donde:

H: Altura del tanque de aireación, m.

$$Ph = 995.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 5 \text{ m} \times \frac{1 \text{ KPa}}{1,000 \text{ Pa}}$$

$$Ph = 48.8 \text{ KPa}$$

- Cálculo de la Concentración de oxígeno disuelto saturado a la Temperatura y Altura de trabajo ($C_{s, T, H}$)

Para el cálculo se utilizó la tabla I.3:

Tabla I.3 Criterios seleccionados para el cálculo del Flujo de aire en base a la transferencia de oxígeno

Dato	Valor
Presión atmosférica en las condiciones de trabajo (Pa)	101.32 KPa
Presión atmosférica (Po)	101.32 KPa
Concentración de saturación de oxígeno a 20°C y presión normal ⁵⁷ , ($C_{s,20^\circ\text{C}}$)	7.54 mg/l

Aplicando la siguiente ecuación:

⁵⁶ Metcalf y Eddy 2003

⁵⁷ Metcalf y Eddy. 2003

$$C_{s,T,H} = C_{s,20^{\circ}C} \frac{P_a + 0.5 \times P_h}{P_o} \quad \text{I.30}$$

$$C_{s,T,H} = 7.54 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{101.32 \text{ KPa} + 0.5 \times 45 \text{ KPa}}{101.32 \text{ KPa}} = 9.21 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- Cálculo de Transferencia de Oxígeno⁵⁸.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$EO_2 = EO_2 \text{ estándar} \times \left[\frac{(\beta \times C_{s,T,H} - C_L)}{C_{s,20}} \right] \times 1.024^{(T - 20)} \times \alpha \times F \quad \text{I.31}$$

Donde:

EO₂: Eficiencia de transferencia de oxígeno bajo las condiciones de operación, kg de O₂/h.

EO₂ estándar: Eficiencia estándar de agua de llave a 20° C, y a 0 mg/l de concentración de oxígeno disuelto, kg de O₂/h. De donde se selecciono el valor de 35% para un difusor poroso sumergido a 4.5 m (Metcalf y Eddy. 2003).

β: Factor de corrección para la tensión superficial de la salinidad en el agua, valores típicos entre 0.95-0.98⁵⁹.

C_L: Concentración requerida mínima en el agua residual. Donde el rango optimo está entre 1-3⁶⁰, mg/l.

T: Temperatura de trabajo en °C. De donde se selecciono una temperatura promedio para países tropicales 30 °C.

α: Factor de corrección para la transferencia de oxígeno. De donde se selecciono un valor de 0.5 para difusores de burbujas finas⁶¹.

F: factor de atascamiento, de donde se selecciono un valor de 0.7, los valores típicos están entre 0.65-0.9⁶².

⁵⁸ Metcalf y Eddy. 2003

⁵⁹ Metcalf y Eddy 2003

⁶⁰ Metcalf y Eddy 2003

⁶¹ Menéndez. 2007

⁶² Metcalf y Eddy 2003

$$EO_2 = 35 \% \times \left[\frac{\left(0.98 \times 9.21 \frac{\text{mg}}{\text{T}} - 1 \frac{\text{mg}}{\text{T}}\right)}{9.08 \frac{\text{mg}}{\text{T}}} \right] \times 1.024^{(30-20)} \times 0.5 \times 0.7$$

$$EO_2 = 14 \%$$

Aplicando la siguiente ecuación para el Flujo de aire (F_{aire}), en base a la transferencia de oxígeno.

$$F_{\text{aire}} = \frac{\text{Faire} \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{\frac{EO_2}{100}}$$

I.32

$$F_{\text{aire}} = \frac{659.3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{0.14} = 4,709.3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El flujo de aire total requerido para el sistema es de 4,709.3 m³/día.

15.4 Cálculo de volumen de aire suministrado por volumen de agua residual

Aplicando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{aire}} = \frac{F_{\text{aire}} \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{Q_{\text{ar}} \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

I.33

$$V_{\text{aire}} = \frac{4,709.3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{79.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$V_{\text{aire}} = 59.1 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{m}^3 \text{ agua residual}}$$

15.5 Cálculo de capacidad de oxigenación de los difusores⁶³

Aplicando la siguiente ecuación:

⁶³ Menéndez. 2007

$$N = N_o \times \left[\frac{(\beta \times C_{s,T,H} - C_L)}{C_{s,20}} \right] \times \alpha \times 1.02^{(T - 20)} \quad \text{I.34}$$

Donde:

N: Capacidad de transferencia de oxígeno a las condiciones de trabajo, kg O₂/KW x h.

N_o: Capacidad de transferencia de oxígeno en condiciones estándar, kg O₂/KW x h. De donde se selecciono el valor de 1.80⁶⁴.

$$N = 1.80 \frac{\text{kg O}_2}{\text{KW} \times \text{hr}} \times \left[\frac{(0.98 \times 9.21 \frac{\text{mg}}{\text{T}} - 1 \frac{\text{mg}}{\text{T}})}{9.08 \frac{\text{mg}}{\text{T}}} \right] \times 0.5 \times 1.02^{(30 - 20)}$$

$$N = 0.97 \frac{\text{kg O}_2}{\text{KW} \times \text{h}} \times \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}} = 23.3 \frac{\text{kg O}_2}{\text{KW} \times \text{día}}$$

16. Cálculo de la Potencia (P) del Compresor de Aire⁶⁵

Aplicando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F_{\text{aire}} \times \Delta P}{E} \quad \text{I.35}$$

Donde:

Δ P: (P₂ – P₁)

P₂: es la presión de descarga de aire a la efluente del difusor, 21.86 psi = 150.1 KPa, valor para difusores de burbujas finas (Eckenfelder. 1992).

P₁: es la presión de trabajo, 101.32 Kpa.

E: Eficiencia global del compresor. Donde el valor seleccionado es 0.7 (Menéndez. 2007).

$$P = \frac{4,709.3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} \times (150.1 \text{ Kpa} - 101.32 \text{ Kpa})}{0.7} = 3.8 \text{ KW}$$

⁶⁴ Menéndez. 2007

⁶⁵ Menéndez. 2007

17. Cálculo de las Unidades de Difusores Requeridas en el Sistema

De donde se selecciono para este cálculo, el flujo de aire, para un difusor de discos (Metcalf y Eddy. 2003), como $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$u = \frac{F_{\text{aire}}}{F_{\text{aire}} \times \text{difusor}}$$

I.36

$$u = \frac{4,709.3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times \frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ día}}} = 33 \text{ unidades}$$

- Cálculo de espaciamento entre unidades

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Espaciamento} = \frac{L}{u}$$

I.36

$$\text{Espaciamento} = \frac{5.4 \text{ m}}{33 u}$$

$$\text{Espaciamento} = 0.16 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 16 \text{ cm}$$

Este valor esta dentro del rango 15-75 cm (Menéndez. 2007), para el espacio entre la efluente de aire de cada difusor en el tanque.

18. Remociones que ocurren en el sistema de Lodos Activados

18.1 Cálculo de porcentaje de remoción de SST

Del cálculo de C_{SST} en el efluente, con la ecuación I.19, se determino que el porcentaje de remoción se obtiene aplicando la ecuación I.6, e introduciendo valores:

:

$$\% \text{ Remoción SST} = \frac{324.73 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 10.7 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{324.73 \frac{\text{kg}}{\text{día}}} \times 100 = 96.7\%$$

Aplicando la ecuación H.9, para la concentración final de SST:

$$C_{\text{SST salida}} = \left[4,072.87 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{96.7}{100} \right) \times \left[4,072.87 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} \right] = 134.40 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

18.2 Cálculo de DBO₅ en el efluente

El porcentaje de remoción de la DBO₅ es 95%, que es la eficiencia del sistema.

Aplicando la ecuación G.20 para la carga, e introduciendo valores se obtiene:

$$C_{\text{DBO salida}} = \left[182.6 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{95}{100} \right) \times \left[182.6 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 9.13 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Aplicando la ecuación H.10 para la concentración, e introduciendo valores, se obtiene:

$$[\text{DBO}]_{\text{salida}} = \left[2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{95}{100} \right) \times \left[2,290.23 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 114.51 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

18.3 Cálculo de DQO en el efluente

Se consideró que el porcentaje de remoción de la DQO será igual al 95% que es la eficiencia del sistema, con base en la DBO₅ del efluente.

Aplicando la ecuación G.16 para la carga, e introduciendo valores se obtiene:

$$C_{\text{DQO salida}} = \left[228.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{95}{100} \right) \times \left[228.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 11.42 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Aplicando la ecuación G.14 para la concentración, e introduciendo valores se obtiene:

$$[\text{DQO}]_{\text{salida}} = \left[2,865.92 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{95}{100} \right) \times \left[2,865.92 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 143.29 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

ANEXO J. DISEÑO DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA (TSS)

Para el cálculo se consideraron los valores en la tabla J.1.

Tabla J.1 Valores considerados para el cálculo del TSS

Dato	Valor
Q_{ar}	79.73 m ³ /día
Q_r	25.5 m ³ /día
Q_p	8.5 m ³ /día
[S.Sed.]	5.8 mg/l
$C_{SSed\ inicial}$	0.46 kg/d

Tabla J.2 Criterios seleccionados para el cálculo del TSS

Dato	Valor
Altura (H) ⁶⁶	4 m
Carga Superficial (Cs) ⁶⁷	16 m ³ /m ² x día

1. Cálculo del Caudal de Diseño (Q)

Aplicando la siguiente ecuación⁶⁸:

$$Q = Q_{ar} - Q_p + Q_r$$

J.1

Donde:

Q_{ar} : Caudal de agua residual, en m³/día.

Q_r : Caudal de lodos recirculados, en m³/día.

Q_p : Caudal de purga de lodos, en m³/día.

Introduciendo valores:

$$Q = 79.73 \frac{m^3}{día} - 8.5 \frac{m^3}{día} + 25.5 \frac{m^3}{día} = 96.73 \frac{m^3}{día}$$

⁶⁶ Metcalf y Eddy. 2003

⁶⁷ Metcalf y Eddy 2003

⁶⁸ Shun Dar Lin. 2001

2. Cálculo del Área del Sedimentador

Aplicando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

J.2

Donde:

Q_{ar}: Caudal de agua residual del sistema, m³/día.

C_s: Carga superficial en el tanque, m³/m² x día.

$$A = \frac{96.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{16 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}}} = 6.04 \text{ m}^2$$

3. Cálculo del Diámetro del Tanque

Aplicando la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

J.3

Donde:

A: Área del sedimentador, m².

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 6.04 \text{ m}^2}{3.1416}}$$

$$D = 2.8 \text{ m}$$

Por cuestiones de diseño el diámetro se redondea a 3 m.

4. Cálculo de la Carga de Sólidos (C_{Sólidos})

Aplicando la siguiente ecuación⁶⁹:

$$C_{\text{Sólidos}} = \frac{Q \times X}{A} \div 1000 \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \times \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$

J.4

⁶⁹ Metcalf y Eddy. 2003.

Donde:

C_{sólidos}: Carga de sólidos que entra al tanque, kg/m² x h

Q: Caudal de diseño para el TSS, m³/día.

X: Concentración de SSLM, mg/l.

A: Área transversal del Sedimentador, m².

1000: Factor de Conversión.

Introduciendo valores:

$$C_{\text{sólidos}} = \frac{96.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times 5,500 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{6.04 \text{ m}^2} \div 1000 \frac{\text{kg}}{\text{mg}} \times \frac{\text{l}}{\text{m}^3}$$
$$C_{\text{sólidos}} = 3.7 \cong 4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{h}}$$

El valor esta dentro del rango de 4-6 propuesto por Metcalf y Eddy, 2003.

5. Cálculo del Volumen (V) del Tanque

Aplicando la siguiente ecuación:

$$V = A \times H$$

J.5

Donde:

V: Volumen del Sedimentador, m³.

A: Área del Sedimentador, m².

H: La altura fue seleccionada de la tabla 8.7 propuesta por Metcalf y Eddy, 2003, donde el valor es de 4 m.

$$V = 6.04 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} = 24.2 \text{ m}^3$$

6. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{TRH} = \frac{V}{Q}$$

J.6

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico, hora.

V: Volumen del sedimentador, m³.

Q: Caudal de diseño, m³/día.

$$\text{TRH} = \frac{24.2 \text{ m}^3}{96.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$\text{TRH} = 0.25 \text{ d} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 6 \text{ h}$$

7. Remoción en el Sedimentador para el año 2020

7.1 Remoción de sólidos sedimentables

En el cálculo se consideró una remoción del 90% para los sólidos sedimentables, debido a que el tiempo de retención es el doble que en el TSP, garantizando la remoción de éste contaminante.

- Cálculo de la carga del contaminante

Aplicando la ecuación H.13, e introduciendo valores:

$$C_{\text{s.Sed. salida}} = \left[0.46 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] - \left(\frac{90}{100} \right) \times \left[0.46 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] = 0.05 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

- Cálculo de la concentración

Aplicando la ecuación H.11, e introduciendo valores:

$$[\text{SSed}]_{\text{inicial}} = \left[5.8 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] - \left(\frac{90}{100} \right) \times \left[5.8 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = 0.63 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

ANEXO K. CONSUMO DE AGUA EMITIDO POR ENACAL PARA ICI EN EL AÑO 2009

A continuación se detallan los valores mensuales del consumo de agua del año 2009 en ICI, ver tabla K.1, donde el valor máximo fue seleccionado como base de cálculo en el diseño.

Tabla K.1 Valores de consumo de agua de ICI en el año 2009

Mes	Valor (m ³ /día)
Enero	385.7
Febrero	385.2
Marzo	384.7
Abril	358.4
Mayo	385.5
Junio	385.5
Julio	385.5
Agosto	385.7
Septiembre	385.7
Octubre	382.0
Noviembre	385.6
Diciembre	385.4
Max.	385.7

Fuente: Proporcionados por ICI