



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO

EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA:

NADIA VERÓNICA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

DRA. MARÍA ELENA PÉREZ LÓPEZ



Victoria de Durango, Dgo., Agosto de 2010



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

México, D.F. a 28 de Agosto del 2009

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Durango en su sesión ordinaria No. 5 celebrada el día 12 del mes de mayo conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

RODRÍGUEZ
Apellido paterno

HERNÁNDEZ
Apellido materno

NADIA VERÓNICA
Nombre (s)

Con registro:

B	0	8	1	3	8	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
"Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea"

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designa como Director de Tesis al C. Profesor:
M. C. María Elena Pérez López

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
CIIDIR-IPN UNIDAD DURANGO
que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

El Director de Tesis

Dra. María Elena Pérez López

El Aspirante

Nadia Verónica Rodríguez Hernández

El Presidente del Colegio

Dr. José Bernardo Proal Nájera

CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **DURANGO, DGO.**, el día 23 del mes Agosto del año **2010**, el (la) que suscribe **NADIA VERÓNICA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL** con número de registro **B081384**, adscrito a **CIIDIR-IPN UNIDAD DURANGO**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **DRA. MARÍA ELENA PÉREZ LÓPEZ** y cede los derechos del trabajo intitulado “**EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA**”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección nadiavrh@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Nadia V. Rodriguez Hernandez
Nadia Verónica Rodríguez Hernández
Nombre y firma

LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE LLEVÓ A CABO EN EL LABORATORIO DE CIENCIAS AMBIENTALES DEL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UNIDAD DURANGO, COMO PARTE DEL PROYECTO “PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS EN LAS QUESERIAS MENONITAS DE NUEVO IDEAL DURANGO, CON LA APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA”, CLAVE FOMIX- DGO-2007-C01-67972, BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. MARÍA ELENA PÉREZ LÓPEZ

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres (María y José)

A mis hermanos (Mónica, Lisseth, Alma, Francisco y Miriam)

A mis sobrinos (Nataly, Leonardo y Sebastián)

ÍNDICE GENERAL

RELACIÓN DE FIGURAS.....	<i>i</i>
RELACIÓN DE CUADROS.....	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iii</i>
ABSTRACT.....	<i>iv</i>
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	3
1.1 Origen y características de las aguas residuales (AR) de las industrias lácteas.....	4
1.1.1 Tipos de AR de las industrias lácteas	4
1.2 Origen y características de las aguas residuales de las industrias queseras.....	5
1.2.1 Efluentes derivados de la elaboración del queso.....	6
1.2.1.1 Suero del queso o lactosuero	6
1.2.1.2 Tipos de sueros	7
1.2.2 Composición de los efluentes líquidos de la industria quesera.....	8
1.2.2.1 Potencial de hidrógeno (pH).....	8
1.2.2.2 Sólidos totales	9
1.2.2.3 Grasas y aceites.....	9
1.2.2.4 Contaminantes inorgánicos	10
1.3 Tratamiento de las AR de la industria láctea.....	11
1.3.1 Pre-tratamientos	11
1.3.2 Tratamiento biológico y remoción de nutrientes	12
1.3.2.1 Aeróbicos.....	13
1.3.2.2 Anaeróbicos.....	14
1.4 Tratamiento de AR de la industria en México.....	15
1.5 Normatividad sobre vertidos de AR	16

1.6	Plan de manejo de residuos en queserías menonitas, con la aplicación del concepto de Producción más Limpia	17
1.7	Elaboración de quesos en la Comunidad Menonita, de Nuevo Ideal, Durango	18
1.7.1	Características del efluente quesero.....	19
1.7.2	Caracterización de la planta de producción Quesería Holanda	19
1.7.2.1	Impactos del efluente quesero.....	22
1.7.3	Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	23
II.	JUSTIFICACIÓN	28
III.	OBJETIVOS.....	29
3.1	General.....	29
3.2	Específicos	29
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1	Evaluación de la eficiencia de cada operación o proceso que conforma la PTAR	30
4.1.1	Características del agua generada en la industria	30
4.1.2	Métodos analíticos empleados	30
4.1.3	Toma de muestras	31
4.1.4	Eficiencias y registro de cambios en el efluente	32
4.1.4.1	Eficiencia de remoción.....	32
4.1.4.2.	Registro de cambios en el influente.....	32
4.1.4.3.	Evaluación del purgador de sólidos sedimentables	33
4.2	Determinación de los periodos de mantenimiento	34
4.2.1	Descripción de las condiciones operacionales de cada operación y/o proceso.....	34
4.2.2	Comportamiento del efluente industrial.....	34
4.2.3	Calculo de los periodos de remoción para las GA y SS.....	35
4.3	Elaboración del manual de operación.....	35

4.4	Análisis estadístico de la información	35
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1	Características del agua residual generada en la industria	37
5.1.1	Descripción físico-química del efluente.....	37
5.2	Eficiencias y registro de cambios en el efluente.....	39
5.2.1	Potencial de hidrógeno (pH)	39
5.2.2	Conductividad eléctrica (CE)	41
5.2.3	Grasas y aceites (GA).....	43
5.2.4	Sólidos Sedimentables (SS)	44
5.2.4	Evaluación del purgador de sólidos sedimentables	47
5.2	Periodos de mantenimiento	51
5.2.1	Condiciones operacionales de la PTAR.....	51
5.2.2	Tiempo de residencia hidráulica (TRH).....	52
5.2.3	Comportamiento promedio del efluente de la industria.....	54
5.2.4	Determinación de los periodos de remoción de parámetros físicos.....	55
5.2.4.1	Determinación del periodo de mantenimiento del purgador	57
5.3	Manual de operación	58
VI.	CONCLUSIONES	69
VII.	RECOMENDACIONES.....	71
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	73

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación de Campo Hermoso en Nuevo Ideal, Durango	20
Figura 1.2	Superficie inundada con el AR	21
Figura 1.3	Vista del bordo de contención y construcción de la PTAR	22
Figura 1.4	Impactos del efluente quesero.....	22
Figura 1.5	Esquema de la PTAR de la quesería Holanda	23
Figura 1.6	Vista superficial y lateral del Tanque amortiguador	24
Figura 1.7	Vista superficial del desnatador–sedimentador	25
Figura 1.8	Vista lateral del corte A y B del desnatador-sedimentador	25
Figura 1.9	Vista superficial y lateral del corte A del tanque anaerobio	26
Figura 1.10	Vista superficial del humedal artificial y laguna de estabilización	27
Figura 4.1	Perfil hidráulico de la PTAR y puntos de muestreo (P1 a P5)	31
Figura 5.1	Registro de cambios del pH del efluente durante el muestreo	40
Figura 5.2	Registro de cambios del pH del efluente durante el tratamiento	40
Figura 5.3	Registro de cambios de CE durante el tratamiento del efluente.....	42
Figura 5.4	Remoción de GA durante el tratamiento del efluente	43
Figura 5.5	Remoción de SS durante el tratamiento del efluente	45
Figura 5.6	Efecto de los sólidos sedimentables en la unidad DS	46
Figura 5.7	Vista real y corte longitudinal del purgador de SS.....	47
Figura 5.8	Montaje experimental de los tratamientos	48
Figura 5.9	Instalación y cambio del nuevo soporte del purgador.....	50

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1.1	Composición aproximada del lactosuero	6
Cuadro 1.2	Composición de los sueros del queso	7
Cuadro 1.3	Clasificación de sólidos totales	9
Cuadro 1.4	Límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales.....	16
Cuadro 2.5	Nivel estático de los pozos cercanos a la planta de producción	20
Cuadro 2.6	TRH y eficiencia proyectadas inicialmente	27
Cuadro 4.1	Composición de los tratamientos propuestos para el purgador	34
Cuadro 5.1	Características promedio y su resultado de prueba de medias del efluente a la salida de cada una de las unidades.....	38
Cuadro 5.2	Análisis de varianza para pH	44
Cuadro 5.3	Análisis de varianza para CE	46
Cuadro 5.4	Análisis de varianza para GA.....	48
Cuadro 5.5	Eficiencia de remoción de grasas y aceites	49
Cuadro 5.6	Análisis de varianza para SS	50
Cuadro 5.7	Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables.....	46
Cuadro 5.8	Registro de tiempo y volumen de cada tratamiento	48
Cuadro 5.9	Eficiencia de remoción de sólidos totales en los tratamientos	55
Cuadro 5.10	Determinación de la vida útil del soporte evaluado en el T3.....	56
Cuadro 5.11	Cálculos de tiempos de residencia hidráulica por operación o tratamiento con base a un efluente de 50 m ³ /día.....	53
Cuadro 5.12	Comportamiento promedio del efluente de la industria, periodo 2006-2010.....	54
Cuadro 5.13	Determinación de los periodos de remoción SS en las unidades de la PTAR.....	55
Cuadro 5.14	Determinación de los periodos de remoción de GA en las unidades de la PTAR.....	56
Cuadro 5.15	Programación de actividades de mantenimiento	67
Cuadro 5.16	Parámetros de control sugeridos para la PTAR.....	68

EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Sociedad Cooperativa de Producción de Quesería Holanda S.C.L, ubicada en Campo Hermoso, Nuevo Ideal, Durango, conforme a la Normatividad Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Los parámetros monitoreados fueron potencial de hidrógeno (pH), conductividad (CE), grasas y aceites (GA), sólidos totales (ST), volátiles (SVT), fijos (SFT), sedimentables (SS) y nitrógeno total (N_{TK}). La evaluación se llevo a cabo al comparar las entradas y salidas por parámetro de cada operación y/o proceso involucrado en la PTAR de la quesería, tomando en cuenta sus tiempos de residencia hidráulica (TRH). Además de una comparativa de los cambios en la composición del efluente del proceso que abarcó desde el año 2006 a la fecha. Las diferencias obtenidas fueron validadas aplicando un análisis de varianza de dos vías. Los resultados indican que la planta opera con una eficiencia de remoción de GA del 87% y un 100% para los SS. Sin embargo, la concentración de GA en el efluente final excede de 8 a 11 veces lo que marca la norma (15 a 25 mg/L como límite máximo permisible).

El efluente del sistema de tratamiento no cumple lo establecido por la normatividad, lo cual se ha adjudicado a varias situaciones como la falta de estandarización del proceso de producción, a la variabilidad de las características del efluente industrial, sumado al alto consumo de detergentes que ha provocado la emulsión de las grasas y formación de espumas dentro del sistema de tratamiento.

Palabras claves: Industria láctea, Planta de tratamiento, Aguas residuales

EVALUATION OF A TREATMENT PLANT OF WASTEWATER OF A DAIRY

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the efficiency of wastewater treatment plant (WWTP) Sociedad Cooperativa de Producción de Quesería Holanda S.C.L, located in Campo Hermoso, Nuevo Ideal, Durango, according to the Mexican Official Norms NOM-001 -SEMARNAT-1996.

The parameters monitored were potential hydrogen (pH), electric conductivity (CE), fats and oils (GA), total solids (TS), volatile (SVT), fixed (SFT), settleable (SS) and total nitrogen (T_{KN}). The evaluation was performed by comparing the inputs and outputs for each operation parameter and / or processes involved in the cheese dairy WWTP, taking into account the hydraulic residence time (HRT). In addition to a comparison of changes in the composition of the effluent of the process that spanned from 2006 to date. Differences were validated using analysis of variance of two ways. The results indicate that the plant operates with a removal efficiency of GA 87% and 100% for SS. However, the concentration of GA in the final effluent exceeds 8-11 times more than the norm (15-25 mg/L as the maximum allowable limit).

The effluent treatment system is not complying with the regulations set by, which is awarded to various situations such as lack of standardization of the production process, the variability of industrial effluent characteristics, coupled with high consumption of detergents has caused the fat emulsion and foaming within the treatment system.

Keywords: Dairy industry, treatment plant, Wastewaters

INTRODUCCIÓN

La aplicación generalizada de la tecnología moderna a la provisión de agua en abundancia para actividades municipales, industriales y agrícolas sin incentivos que alienten su reutilización o conservación, ha incrementado en alto grado la competencia para fuentes limitadas de agua, aún cuando no es un recurso escaso.

Históricamente las aguas residuales (AR) son un residuo ligado a la producción industrial, mismas que el ambiente absorbía y les daba un tratamiento natural. El progreso cultural e industrial terminó por llevar dicha práctica a situaciones límite, la cual se ha reflejado en la diversa normatividad para proteger los distintos cuerpos receptores.

En respuesta a lo anterior, y con la finalidad de atenuar los impactos al ambiente, se han generado técnicas y procesos de depuración que permiten que estos desechos sean tratados, minimizados o reciclados antes de su vertido, y de ser posible, obtener algún subproducto, además de cumplir con la normatividad vigente.

En el municipio de Nuevo Ideal, Dgo., se encuentra una comunidad Menonita dedicada desde hace más de 30 años a la elaboración del queso. Derivado de su proceso productivo se generan residuos líquidos, provenientes de la producción y del lavado de las instalaciones. Esta agua residual se vierte con diferentes grados de contaminación debido a que no está estandarizado el proceso productivo, por lo que en ocasiones contiene grandes cantidades de lactosuero dulce y salado, aumentando la cantidad de materia orgánica y sales, características que lo hace un efluente difícil de tratar.

Actualmente se trabaja en la optimización de la materia prima, con lo que se espera una reducción de los desechos que genera, dentro del proyecto “Plan de Manejo de Residuos en las Queserías Menonitas de Nuevo Ideal, Durango, con la Aplicación del Concepto de Producción más Limpia”.

Para reducir el impacto que dichas acciones ejercen sobre el entorno y para ver el grado de cumplimiento de la normatividad vigente se realizó el diagnóstico de cada una de las operaciones y procesos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y con ello se evaluó el proceso, además de elaborar un manual de operación del sistema y una calendarización del actividades que se deben efectuar para dar mantenimiento a la PTAR.

I. ANTECEDENTES

Los desechos industriales son los materiales sobrantes de los en estado sólido, líquido o gaseoso, su composición y cantidad varía según el tipo de industria y los procesos utilizados. En la industria, la contaminación generada puede dividirse en los siguientes apartados: contaminación atmosférica, residuos sólidos, residuos tóxicos y peligrosos y efluentes líquidos (Tetra Pak Processing System, 2003).

● *Contaminación atmosférica*

La única posibilidad de contaminación atmosférica por parte de una industria láctea proviene de sus generadores de vapor, que habitualmente son calderas que trabajan a baja presión, con una generación de vapor.

● *Residuos sólidos*

La generación de residuos sólidos en las industrias lácteas es muy pequeña, y se circunscribe generalmente a los desechos de envases y embalajes, vidrio, cartón, plástico, envases especiales (tipo tetra-pack), entre otros. Aunque todos estos residuos son semejantes a los residuos sólidos urbanos y pueden ser dispuestos en las mismas plantas de tratamiento de los residuos municipales, los sistemas ideales de eliminación son los que permiten su reciclado o reutilización, mediante sistemas de recogida selectiva.

● *Residuos tóxicos y peligrosos*

La generación de residuos tóxicos y peligrosos por parte de la industria láctea es prácticamente nula. Tan sólo se les puede aplicar este concepto a determinados fluidos refrigerantes de transformadores eléctricos y de cuartos de refrigeración, aceites usados y residuos de laboratorios. Estos residuos no pueden ser evacuados de cualquier forma y deben ser entregados al acabar su periodo de uso a un gestor de residuos legalmente reconocido para que se encargue de su eliminación.

● *Efluentes Líquidos*

Las industrias lácteas se pueden dividir en diversos tipos de factorías dependiendo del tipo de producto que procesen, como la obtención de leche fresca, pasteurizada y descremada, fabricación de mantequillas, leche condensada, leche en polvo y fabricación de quesos.

Las AR generadas por estas factorías están constituidas en su mayor parte por leche entera, leche tratada y suero de derrames obligados o accidentales; derrames que llegan a los sistemas de tratamiento debido a un deficiente diseño o funcionamiento del proceso; restos de lavados que contienen productos químicos, alcalinos u otros, utilizados para limpiar los recipientes, lo mismo que restos parcialmente caramelizados de depósitos, tanques, utensilios, zonas calientes, y sistemas de evaporación (Nemerow y Dasgupta, 1998).

1.1 Origen y características de las aguas residuales (AR) de las industrias lácteas

Aunque las plantas lácteas se encuentran en muchos lugares, hay que considerar la variación en el tamaño de las mismas y en el tipo de productos que fabrican. Las AR de las industrias lácteas son, generalmente, neutras o un poco alcalinas, pero tienen tendencia a volverse ácidas rápidamente por la fermentación de la azúcar de la leche convirtiéndose en ácido láctico. La lactosa en las AR puede pasar a ácido cuando los cursos de agua están sin oxígeno disuelto y con ello ocasionar la precipitación de la caseína que haya quedado en el agua (Nemerow y Dasgupta, 1998).

1.1.1 Tipos de AR de las industrias lácteas

Este tipo de industria genera diferentes tipos de efluentes producto de una amplia gama de actividades que van desde los provenientes de los procesos productivos, de servicios sanitarios, limpieza de equipo y pisos.

Las AR lácteas se pueden dividir en tres categorías:

- *Aguas de enfriamiento* normalmente está libre de contaminantes se descarga en los colectores de aguas pluviales, o del proceso.
- *AR sanitarias*: están compuestas por aguas negras que contienen materia fecal y aguas producto de la higiene personal, presentan alto contenido de materia orgánica, jabón, grasas, partículas minerales y una gran cantidad de microorganismos, normalmente se recoge en colectores que van directamente al sistema de alcantarillado.
- *AR industriales* proceden de reboses de leche y productos de la limpieza de los equipos que han estado en contacto con los productos lácteos. La concentración y la composición de esas AR dependen del plan de producción, de los métodos de operación y del diseño de la planta del proceso (Tetra Pak Processing System, 2003).

1.2 Origen y características de las aguas residuales de las industrias queseras

Los tipos de queso existentes en el mercado son tan numerosos como sus métodos de preparación. Por regla general durante su proceso se pueden distinguir cinco operaciones fundamentales: la preparación de la leche, la coagulación, el escurrimiento, el salado y la maduración. En principio casi todos los tipos de quesos se elaboran de la misma forma siguiendo estas operaciones, pero las diferencias que generan la enorme variedad de quesos existentes están en las variaciones particulares para cada una de ellas, así como en el tipo de leche y microorganismos utilizados (García *et al*, 2000).

Las AR de la fabricación de queso son las que más difieren de los otros procesos a causa de la presencia del suero y las que más contiene sólidos en suspensión (cuajo), además de que tienden a convertirse en vertidos ácidos a causa de la fermentación de la azúcar, en su transformación en ácido láctico (Rigola, 1999; Nemerow y Dasgupta, 1998).

1.2.1 Efluentes derivados de la elaboración del queso

Durante la elaboración del queso se obtiene como principal residuo el suero de queso o lactosuero, que es el líquido resultante de la coagulación de la leche durante la elaboración del queso, esto tras la separación de las caseínas y de la grasa, representa el 80 - 90% del volumen de la leche que entra en el proceso. Estos efluentes son los que más contaminación provocan en las queserías si no tienen un aprovechamiento posterior (Badui, 2006).

1.2.1.1 Suero del queso o lactosuero

Su composición varía dependiendo de las características de la leche y de las condiciones de elaboración del queso de que proceda. El Cuadro 1.1 muestra las cifras de composición aproximada del suero procedente de la elaboración del queso.

Cuadro 1.1 Composición aproximada del lactosuero

Constituyente	Suero de queso (%)
Sólidos totales	6.4
Agua	93.6
Grasa	0.05
Proteína	0.55
NNP (nitrógeno no protéico)	0.18
Lactosa	4.8
Sales minerales:	0.5
Calcio	0.043
Fósforo	0.040
Sodio	0.050
Potasio	0.16
Cloruro	0.11
Ácido láctico	0.05

Fuente: Tetra Pak Processing System, 2003

Aproximadamente 70% del nitrógeno total (proteína cruda) corresponde a proteína verdadera, la cual tiene un valor nutritivo superior al de la caseína y está compuesta por la β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina, las inmunoglobulinas, la proteosa-peptona y las enzimas nativas; el resto lo forman aminoácidos, urea, creatina, amoníaco y ácidos nucleicos (García *et al* 2000).

1.2.1.2 Tipos de sueros

El suero de la leche, según su acidez, se divide en dos tipos: a) Suero dulce con pH de 5.8 – 6.6, proveniente de los quesos fabricados con renina. b) Suero ácido con pH menor a 5.2, que utiliza ácido acético para la precipitación; éste es un subproducto de los quesos blanco y *cottage*, debido a su pH, es muy corrosivo para los metales (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2 Composición de los sueros del queso

Constituyente	Dulce (%)	Ácido (%)
Sólidos totales	6.5	5.2
Lactosa	4.9	4.3
Proteína	0.8	0.6
Nitrógeno no protéico (%)	22.0	27.0
Ácido láctico	0.15	0.75
Sales minerales	0.56	0.46
pH	6.2	4.6

Fuente: Badui, 2006

Es aconsejable que estos sueros no sean vertidos de forma directa a un cuerpo de agua o al suelo, pues provocarían un enorme incremento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Por ello, suele aprovecharse este suero para alimentación del ganado, en plantas más modernas a partir del lactosuero se obtiene proteínas del suero lácteo y lactosa en polvo; productos con un alto valor añadido y de fácil venta

posterior. El proceso de salado también provoca la emisión de efluentes líquidos, aunque en este caso contienen escasa materia orgánica y gran cantidad de sales. La contaminación producida por estas aguas se caracteriza por unos modestos sedimentos y un fuerte olor a ácido butílico, causados por la descomposición de la grasa (Nemerow y Dasgupta, 1998).

1.2.2 Composición de los efluentes líquidos de la industria quesera

Antes de proceder a la descripción de las operaciones y procesos disponibles para el tratamiento de AR, es importante conocer los parámetros físicos y químicos utilizados para describir y determinar su calidad. Algunos de estos parámetros se utilizan para controlar y evaluar procesos de tratamiento dentro de PTAR realizando mediciones de forma continua o discreta. Los contaminantes pueden encontrarse de forma disuelta o en suspensión, y por su naturaleza química ser orgánicos o inorgánicos (Metcalf & Eddy, 1994).

1.2.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH de las AR varía entre 2 y 12 como resultado del uso de detergentes ácidos y alcalinos en la planta de limpieza. Tanto los valores bajos de pH como los altos interfieren en la actividad de los microorganismos que descomponen los contaminantes orgánicos en la etapa del tratamiento biológico de la planta de tratamiento de AR, transformándola en lodos biológicos (detritos celulares).

Como regla general, el agua residual con un pH por encima de 10 o por debajo de 6.5 no se debe descargar al sistema de tratamiento de AR ya que puede ocasionar corrosión de las tuberías. Los detergentes utilizados serán por lo tanto, normalmente recogidos en el tanque de mezcla, a menudo localizado cerca de la planta de limpieza; midiéndose el pH y regulándose hasta un pH de 7.0 antes de descargarlos a los colectores de AR (Rigola, 1999).

1.2.2.2 Sólidos totales

Los sólidos totales (orgánicos e inorgánicos) de las AR son, por definición, los residuos que quedan una vez que la parte líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a peso constante a 103°C. Se hace la distinción entre sólidos disueltos y sólidos no disueltos (en suspensión) evaporando muestras de AR filtradas y sin filtrar. La diferencia de peso entre las dos muestras secas indica el contenido de sólidos en suspensión. A fin de clasificar aún mejor los residuos, se mantienen a 550°C durante 15 min. y las cenizas residuales obtenidas representan los sólidos inorgánicos y la pérdida de materia volátil es una medida del contenido orgánico (Henry & Heinke, 1999), ver Cuadro 1.3.

Cuadro 1.3 Clasificación de sólidos totales

	Sólidos totales (Residuo a 100 °C)	Inorgánicos (Residuo a 550 °C)	Orgánicos (Pérdida a 550 °C)
Sin filtrar (en suspensión +disueltos)	Sólidos totales (ST)	Sólidos Totales Fijos (STF)	Sólidos Totales Volátiles (STV)
Filtrada (disueltos)	Sólidos Totales Disueltos (STD)	Sólidos Fijos Disueltos (SFD)	Sólidos Volátiles Disueltos (SVD)
Por diferencia	Sólidos en Suspensión (SS)		Sólidos Volátiles en Suspensión (SVS)

Fuente: Henry & Heinke, 1999

1.2.2.3 Grasas y aceites

Las grasas animales y aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a temperatura ambiente se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. Son compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las

bacterias. En su mayoría flotan sobre el agua residual, aunque una parte de ellos es llevada al fango por los sólidos sedimentables.

Si la grasa no se elimina antes del vertido del AR, puede interferir con la vida biológica en las aguas y crear películas y materias en flotación imperceptible (Metcalf & Eddy, 1994).

1.2.2.4 *Contaminantes inorgánicos*

Los componentes inorgánicos de las AR son casi en su totalidad sales minerales, y son determinadas en gran medida por medio de la composición iónica y la concentración salina del agua. Los procesos de tratamiento de los efluentes hoy en día se centran en la reducción de nitrógeno, sales fosfóricas y metales pesados.

El nitrógeno y los compuestos fosfóricos son importantes ya que son nutrientes para los organismos, por ejemplo las algas. Otros procesos secundarios pueden tener lugar en el embalse, formando sustancias orgánicas adicionales que cuando se descomponen, pueden aumentar considerablemente la demanda orgánica que sería causada en principio por los contaminantes orgánicos de los efluentes (Tetra Pak Processing System, 2003).

Los componentes inorgánicos más comunes incluyen los siguientes:

- Cloruros y sulfatos: presentes normalmente en el agua y en residuos generados por humanos.
- Nitrógeno y fósforo: en sus diversas formas (orgánicas e inorgánicas) en residuos en humanos, con fósforo adicional de los detergentes.
- Carbonatos y bicarbonatos: normalmente presentes en el agua y en los residuos como sales de calcio y de magnesio.
- Sustancias tóxicas: arsénico, cianuro y metales pesados como Cd, Cr, Hg, Pb y Zn que pueden estar presentes en los residuos industriales (Henry & Heinke, 1999).

1.3 Tratamiento de las AR de la industria láctea

El objetivo de cualquier tratamiento es que el agua vertida cumpla con las especificaciones que marca la normatividad, esto mediante la eliminación de los componentes definidos como contaminantes nocivos para el cuerpo receptor. Durante el tratamiento se deben considerar una serie de factores como el caudal, la composición y concentraciones de los contaminantes, la calidad requerida del efluente y sus posibilidades de reutilización (Crites y Tchobanoglous, 2000). Las tecnologías existentes para el tratamiento de este tipo de efluentes son muy amplias, por lo que es difícil precisar un tratamiento estándar. No obstante, si se pueden exponer de forma general los tratamientos habitualmente empleados.

1.3.1 Pre-tratamientos

Generalmente este tipo de operaciones ajustan las condiciones del AR antes de que estas se han sometidas a procesos de tratamiento secundario o biológicos, esto significa la separación de materia flotante, arena, grasas y aceites. También las AR pueden tener valores de pH demasiado ácidos como en el caso de las industrias lácteas por lo que se necesita una corrección del mismo (Crites y Tchobanoglous, 2000; Kiely, 1999). Los pre-tratamientos más habitualmente empleados son los siguientes:

- *Tamizado*: elimina los sólidos gruesos antes de la entrada a la planta depuradora.
- *Tanques de sedimentación*: se suelen emplear para aquellas industrias lácteas que generen una gran cantidad de sólidos en suspensión.
- *Homogeneización y neutralización*: este proceso suele ser imprescindible en la industria láctea, ya que al generarse durante los lavados aguas muy ácidas o muy alcalinas, podría provocar un vertido que impidiese cualquier tratamiento biológico posterior, además de incumplir los valores establecidos por la normatividad. Por ello se suelen instalar tanques de tiempo de retención grande en los cuales se mezclan las aguas ácidas y alcalinas procedentes de

la factoría, produciéndose una neutralización natural (Tetra Pak Processing System, 2003). En ocasiones esto no es suficiente para neutralizar los vertidos, por lo que se suelen emplear sistemas automáticos de adición de ácido o álcali en función del pH del efluente.

- *Desengrasado o Desnatado*: este proceso es también muy importante en la industria láctea, la cual genera gran cantidad de grasas difíciles de eliminar para ello se suelen instalar tanques en los cuales se introduce aire en forma de burbujas finas por el fondo para ayudar a que la grasa flote. La grasa formada en la superficie se suele empujar a una zona de remanso donde un jalador la retira a una canaleta y a un contenedor para retirarla al vertedero (Metcalf & Eddy, 1994).

1.3.2 Tratamiento biológico y remoción de nutrientes

Los objetivos principales del tratamiento biológico son estabilizar la materia orgánica, coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimentan y que se encuentran en las AR. Dependiendo de las circunstancias locales se pueden incluir otros objetivos tales como la remoción de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, así como de rastros de compuestos orgánicos. En el nivel más fundamental, el tratamiento biológico comprende 1) La conversión de materia orgánica carbonácea disuelta y coloidal en diferentes gases y tejidos celulares, 2) La formación de flóculos biológicos compuestos de materia celular y de los coloides orgánicos presentes en las AR y 3) La subsecuente remoción de dichos flóculos por medio de la sedimentación por gravedad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que si el tejido celular producido no se retira por precipitación, éste ejercerá una DBO en las aguas residuales y el tratamiento será incompleto (Crites y Tchobanoglous, 2000). Dicho tratamiento pueden ser anaeróbicos y aeróbicos.

1.3.2.1 *Aeróbicos*

Son los tratamientos habitualmente empleados, siendo el proceso de lodos activados el más comúnmente utilizado. Se basan en la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos en presencia de oxígeno, como aceptor de electrones. Son sistemas adaptables a una gran variedad de vertidos y bastantes flexibles, obteniéndose muy buenos resultados, si la implementación es adecuada. No obstante, tienen esencialmente dos grandes inconvenientes, como es la generación de una gran cantidad de lodos y el importante gasto energético para proporcionar el oxígeno necesario para la fermentación. Los lodos generados representan un residuo sólido de grandes dimensiones. Normalmente suele ser retirado por las empresas municipales de residuos y van a un vertedero (Metcalf & Eddy, 1994), aunque en la actualidad se está estudiando su uso como abono después de diversos tipos de tratamiento. El oxígeno se suele aportar mediante turbinas aireadoras en superficie o mediante difusores de oxígeno situados en el fondo del reactor biológico y alimentados con aire.

● *Lagunas facultativas*

Son las más usadas y versátiles entre las diferentes clases de lagunas. En general, su profundidad oscila entre 5 y 8 pies (1.5 a 2.5 m) y se conocen también como lagunas de estabilización. El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aerobias en la capa superior y bacterias anaerobias o anóxicas en la capa inferior, dependiendo de la mezcla que se induce por acción del viento. Además de que los sólidos sedimentables se depositan en el fondo de la laguna. El aporte del oxígeno se logra por fotosíntesis y por reaireación natural superficial. Las lagunas facultativas pueden funcionar como lagunas con descarga controlada, lagunas de retención total, o como unidades de almacenamiento para un tratamiento posterior sobre el suelo (Crites y Tchobanoglous, 2000; Metcalf & Eddy, 1994).

● *Humedales artificiales*

- a. *Humedales artificiales de flujo libre* (HALF), conocidos como pantano o ciénaga. La vegetación está parcialmente sumergida en el agua, cuya profundidad varía de 4 a 8 pulgadas (100 a 450 mm). La vegetación común para los HAFL incluye eneas, carrizos, juncias y juncos. Este tipo de sistema consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos sistemas HAFL se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y la evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que ésta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos.
- b. *Humedales artificiales de flujo superficial* (HAFS) el agua residual se trata a medida que fluye lateralmente e través de un soporte poroso. La vegetación emergente se planta en el medio, que puede ser desde grava gruesa hasta arena. La profundidad del lecho va desde 1.5 a 3.3 pies (0.45 a 1 m) y tiene una pendiente característica de 0 a 0.5 % (Crites y Tchobanoglous, 2000).

1.3.2.2 *Anaeróbicos*

Se basa en la degradación de la materia orgánica por bacterias anaeróbicas formándose metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), Como ventajas tiene esencialmente la posibilidad de aprovechar el valor calorífico del gas en la explotación de la propia planta, la baja producción de lodos, así como el valor de los mismos que pueden ser empleados como abono por su alto valor fertilizante. No obstante, es un proceso que requiere un tiempo de retención muy alto, es muy sensible a cualquier cambio de pH o de temperatura, además de que existen algunos riesgos asociados al manejo del biogás (Crites y Tchobanoglous, 2000; Henry & Heinke, 1999).

1.4 Tratamiento de AR de la industria en México

En materia de AR industriales, el tipo de tratamiento más utilizado es el secundario, en 1031 plantas y un gasto de operación de 16,902 L/s. La industria que trata un mayor volumen de aguas mediante este nivel de tratamiento tiene plantas en Veracruz y Nuevo León, con 3,597 y 2,539 L/s respectivamente.

En segundo lugar se encuentran el tratamiento primario, con 667 plantas con un gasto de operación de 9,691 L/s. La industria que trata un mayor gasto de sus AR mediante este tratamiento se encuentra localizada en Veracruz con 4,966 L/s, Morelos con 651 L/s y Chipas con 544 L/s.

Finalmente, el tratamiento terciario se encuentra en tercer lugar con 57 plantas y un gasto de 741 L/s. la industria que trata un mayor volumen de sus AR por medio de este proceso se encuentra establecida en Veracruz y en Tamaulipas con 350 y 155 L/s, respectivamente.

El número de plantas de tratamiento ha ido creciendo de manera histórica. Cada vez hay más plantas en operación con mayor caudal tratado. Los procesos de tratamiento se han vuelto más sofisticados, en algunos casos se han llegado a tratamiento terciario con ozonización y desinfección con luz ultravioleta (CNA, 2004). Del total de las plantas de tratamiento industrial en el ámbito nacional, 781 cumplen con las condiciones particulares de descarga, con una capacidad aprovechada de 17,124 L/s en tanto que 1,010 plantas con un gasto de 10,269 L/s no las cumplen. Es decir, el 44% del total de plantas en operación cumplen con esta condición y el 56% no (CNA, 2004).

En México los principales procesos para el tratamiento de AR son en primer lugar las lagunas de estabilización con un 47%, en segundo lugar los procesos de lodos activados con un 20%, en tercero y cuarto lugar los tanques Imhoff y sépticos con un 5% y por último los filtros biológicos con un 3%, entre otros (CNA, 2005).

1.5 Normatividad sobre vertidos de AR

La composición específica del vertido, los cuerpos receptores, la disponibilidad de terreno en las inmediaciones de la empresa, la recuperación y reutilización de estas aguas y su posible utilización para riego están en función de la normatividad vigente sobre descargas.

La Normatividad Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) establece los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Cuadro 1.4

Cuadro 1.4 Límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en las descargas de aguas residuales

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos				
Parámetros	Ríos		Suelo	
	Uso en riego agrícola		Uso en riego agrícola	
	PM	PD	PM	PD
Temperatura (°C)	NA	NA	NA	NA
Grasas y Aceites (mg/L)	15	25	15	25
Materia flotante (mg/L)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (ml/L)	1	2	NA	NA
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	150	200	NA	NA
DBO ₅ (mg/L)	150	200	NA	NA
Nitrógeno total (mg/L)	40	60	NA	NA
Fósforo total (mg/L)	20	30	NA	NA

PM = Promedio mensual; PD = Promedio diario; NA = No aplica
Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996

1.6 Plan de manejo de residuos en queserías menonitas, con la aplicación del concepto de Producción más Limpia

Los procesos llevados a cabo dentro de las industrias lácteas producen diariamente residuos que pueden ser nocivos para la salud humana y ambiental, ya que al no ser manejados adecuadamente pueden causar contaminación en aire, suelo y agua.

Dicha contaminación se puede prevenir empleando las materias primas, agua, energía y otros recursos de una forma más eficiente, el procedimiento sistemático para lograr lo anterior se conoce como Producción más Limpia (P+L).

En el caso de las queserías menonitas en Nuevo Ideal, Dgo., no se cuenta con planes de manejo correctamente establecidos para los sistemas de recuperación de residuos. Los residuos líquidos de estas industrias, contienen una gran cantidad de grasas sales y materia orgánica, que han dañado el suelo, motivo por lo que la autoridad ambiental ha puesto de manifiesto estas anomalías ya que sus efluentes no cumplen con lo establecido por la normatividad (Pérez *et al.*, 2007).

La problemática anterior implica, además de los impactos negativos económicos y ambientales, una falta de optimización en la minimización y aprovechamiento de la materia prima en la elaboración del queso, motivo por el cual la cantidad de residuos es alta con lo que se incrementan los costos de tratamiento, de ahí que las medidas de mitigación deberán iniciarse con la aplicación de técnicas de P+L tendientes a mejorar el sistema de producción.

A menudo la aplicación correcta de los procedimientos de P+L puede derivar en la reducción de las fugas en los procesos de fabricación y así mejorar los rendimientos de la producción, además de generar una minimización en las necesidades del efluente y poder cumplir así con las obligaciones en materia de regulación ambiental (Pérez *et al.*, 2007; CMPO, 2003).

1.7 Elaboración de quesos en la Comunidad Menonita, de Nuevo Ideal, Durango

La principal fuente de ingresos de las colonias menonitas proviene en primer lugar de la agricultura, enseguida de la ganadería y luego el comercio. Existen microindustrias que llevan a cabo la fabricación de calentones, molinos de viento, moldes en fundidores de aluminio, máquinas perforadoras de pozos y la elaboración de queso. De esta última existen alrededor de 20 queserías, las cuales procesan aproximadamente 100,000 L de leche diarios, cuyo resultado es el queso tipo Chihuahua o más conocido en esta región como “Menonita” (Pérez- López, 2007).

Durante la elaboración del queso menonita la leche procesada genera un rendimiento del 9.49% en queso, 85.84% de lactosuero sin salar y 2.06% salado. El lactosuero sin salar que es derramado al suelo representa el 3.36%. Las características fisicoquímicas del suero sin salar son: conductividad de 6.38 mS/cm, pH de 6.31, 6.71% ST, 0.68% cenizas, 0.47% grasa, 0.64% proteína, 4.92% de lactosa.

Para el caso del lactosuero salado Valverde-Cisneros (2007) reporta los siguientes resultados: conductividad de 88 mS/cm, pH de 6.05, 7.35 % cenizas, 1.01 % grasa, 0.62% proteína, 5.44 % de lactosa. Estos valores indican que en el lactosuero se quedan más del 50% de los sólidos.

Una parte del lactosuero es utilizado como alimento para animales, el resto es vertido directamente al suelo con los desechos líquidos de las queserías. Dicha práctica se ha realizado desde hace aproximadamente 50 años, motivo por el cual la Comisión Nacional del Agua (CNA) los ha impuesto multas a estas empresas por incumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Pérez- López, 2007).

1.7.1 Características del efluente queso

La cantidad del efluente generado dentro de la empresa por día para el 2007 fue de aproximadamente $7 \pm 2 \text{ m}^3$, donde el 59% correspondió a agua de lavado del equipo, utensilios e instalaciones, el 15% al suero sin salar, el 14% al vapor condensado que proviene del calentamiento de las marmitas y el 11% al suero salado proveniente del prensado.

El efluente final poseía una composición aproximada de grasas y aceites (GA) y nitrógeno total Kjeldahl (N_{TK}) de 3.9 y 0.28 g/L, respectivamente; mientras que la concentración de los sólidos totales (ST), volátiles (SVT), disueltos (SD) y cenizas de 20.54, 11.38, 19.62 y 9.16 g/L respectivamente, los sólidos sedimentables (SS) de 1.3 ml/L, la conductividad eléctrica (CE) de 15.10 mS/cm y el pH de 5.42 (Valverde-Cisneros, 2007).

Debido al alto contenido de sólidos presentes en el efluente (sobre todo sales), esto hace que también sea uno de los materiales más difíciles y más caro de tratar en un sistema de depuración convencional (Pérez-López, 2007).

1.7.2 Caracterización de la planta de producción Quesería Holanda

La planta de producción Quesería Holanda (QH) se localiza dentro del municipio de Nuevo Ideal al noroeste de la capital del estado de Durango, a 152.22 km por carretera y Campo Hermoso a 16.66 km por terracería de la cabecera municipal de Nuevo Ideal (Figura 1.1).

El clima de esta región es templado, la temperatura media anual en el valle es de 15°C con una temperatura extrema máxima de 41°C y mínima de -9°C y una precipitación anual de 400 mm. El mes de ocurrencia de heladas anuales se deja sentir en primera instancia en octubre y su última helada en abril (Talamantes-Esparza, 2009).



Figura 1.1 Ubicación de Campo Hermoso en Nuevo Ideal, Durango

El cuerpo de agua superficial más cercano a la planta de producción se encuentra a 12 km en línea recta, conocida como Laguna de Santiaguillo (Figura 1.1). En el caso de aguas subterráneas, el acuífero se encuentra a 10.4 ± 6.07 m (Cuadro 1.5), valor obtenido a partir del nivel estático de 8 pozos alrededor del sitio; siendo este un acuífero libre y de agua dulce. El suelo en el que se estableció la empresa es de vocación agrícola (INEGI, 1990).

Cuadro 1.5 Nivel estático de los pozos cercanos a la planta de producción

Pozo	Nivel Estático (m)
El Toboso	10
Bajío Verde	9
Nueva Santa Fe	15
Campo Hermoso	20
Campo Verde	5
Jardín de Flores	4.5
Nueva Esperanza	3.5
Nueva Instalación	10
Promedio	10.4
Desviación estándar	± 6.07

Fuente: Talamantes-Esparza ,2009

La QH originalmente era una empresa artesanal, la mayoría de sus procesos se llevaban a cabo de forma manual y era poca la maquinaria utilizada. Con el paso del tiempo la demanda de sus productos fue creciendo a la par de sus residuos, por lo que se hizo necesario una reubicación y remodelación de la planta por completo. Así mismo se requirió el uso de tecnología y se implementó un sistema de tratamiento para los efluentes, que dejó de funcionar debido a la cantidad de grasa existente en el efluente y a la falta de periodos de mantenimiento y por dicho motivo el sistema se colapsó (Ortega-Díaz, 2007).

La quesería cuenta con una superficie de 29,739.62 m², de las cuales aproximadamente 4,200 m² se han inundado en repetidas ocasiones con agua residual procedente de la planta de producción por más de 5 años (Figura 1.2).



Figura 1.2 Superficie inundada con el AR

Durante en el periodo 2007-2008, el área impactada se redujo a 2,016 m² gracias a la construcción de una PTAR (Figura 1.3), y donde el suelo removido fue usado para construir un bordo de contención para resguardar el agua residual (Talamantes-Esparza, 2009).



Figura 1.3 Vista del bordo de contención y construcción de la PTAR

1.7.2.1 *Impactos del efluente quesero*

El agua residual vertida en el suelo incrementó la cantidad de sales y la materia orgánica en la capa arable (30 cm de profundidad), lo que ha provocado la alteración de la porosidad, reducción de la permeabilidad y velocidad de infiltración del agua, generación de malos olores, además de la degradación del paisaje (Figura 1.4). Así mismo, los ensayos de germinación con semillas de lechuga demostraron efectos tóxicos que limitan o nulifican la capacidad cultivable del sitio (Talamantes-Esparza, 2009; Villagrana-Alvarado, 2009).

Villagrana-Alvarado (2009) reportó que el área impactada dentro de la quesería era de 1.02 Ha (equivalente a 3,383.16 Ton de suelo), es decir que más del 50% del suelo se encuentra alterado.



Figura 1.4 Impactos del efluente quesero

1.7.3 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

El sistema de depuración está considerando para un gasto de 50 m³/día, donde el agua procesada deberá cumplir con un contenido en grasas y aceites de 15 - 25 mg/L, de 5 – 9 unidades de pH y ausencia de sólidos flotantes; de acuerdo a lo solicitado por la normatividad en materia de descargas al suelo.

Para lograr lo anterior se diseñó un sistema compuesto de un tanque amortiguador, desgrasador-sedimentador, tanque anaerobio, humedal artificial y una laguna de estabilización (Figura 1.5). Enseguida se describen las operaciones y procesos involucrado en el sistema.

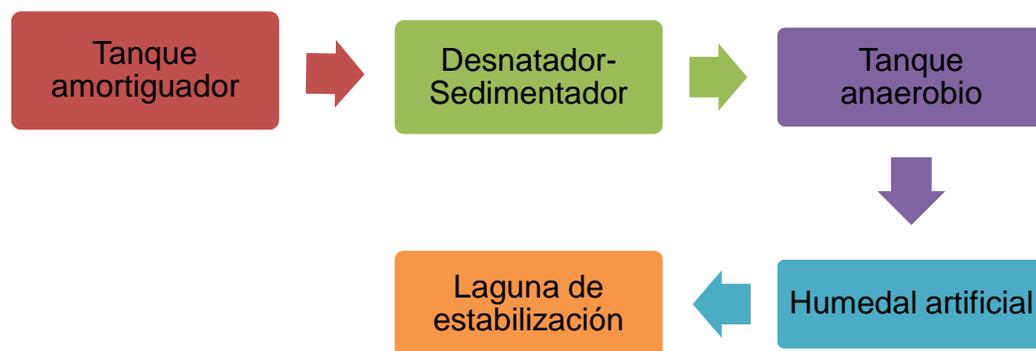


Figura 1.5 Esquema de la PTAR de la quesería Holanda

Enseguida se describen las operaciones y procesos involucrado en el sistema:

1. *Tanque amortiguador (TA)*

El efluente proveniente de la planta de producción (PP) ingresa al TA, tiene como principal propósito la estabilización del caudal para reducir las variaciones en su concentración, además de proveer de manera continua el efluente al desnatador-sedimentador. Mide 2.5 m de ancho, por 7.6 m de largo y 3 m de profundidad, con un volumen efectivo de 57 m³ (Figura 1.6). El tiempo de retención es de 1 día, estimado con la ecuación 1.1 y un caudal base de 50 m³/día.

$$TRH = V_o/Q \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulico (días)

Q = Caudal ($m^3/día$)

V_o = Volumen de operación de la unidad (m^3)

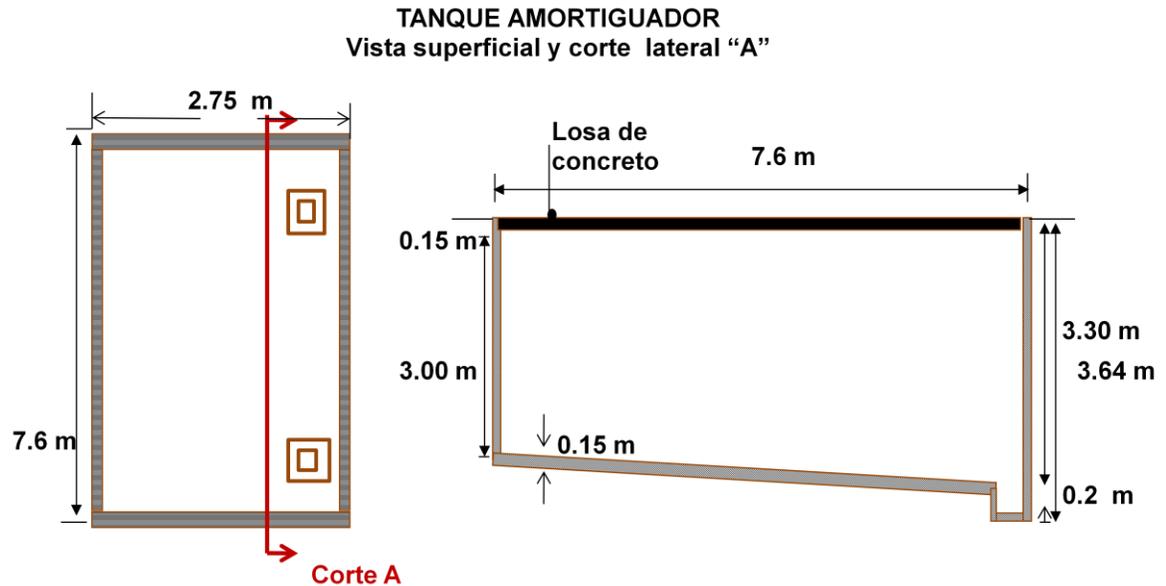


Figura 1.6 Vista superficial y lateral del Tanque amortiguador

2. *Desnatador y Sedimentador (DS)*

Esta unidad tiene como finalidad dar el tratamiento primario al efluente proveniente del TA, este consiste en la remoción de grasas y sólidos sedimentables. Para tal fin se construyeron tres depósitos de igual dimensión unidos mediante vasos comunicantes de igual dimensión (Figura 1.7).

Cada uno de los depósitos tiene 3 m de ancho por 4 m de largo, con 1.15 m de profundidad y un fondo de forma cónica con taludes con pendiente, con una altura de 0.3 m.

DESNATADOR – SEDIMENTADOR
Vista superficial

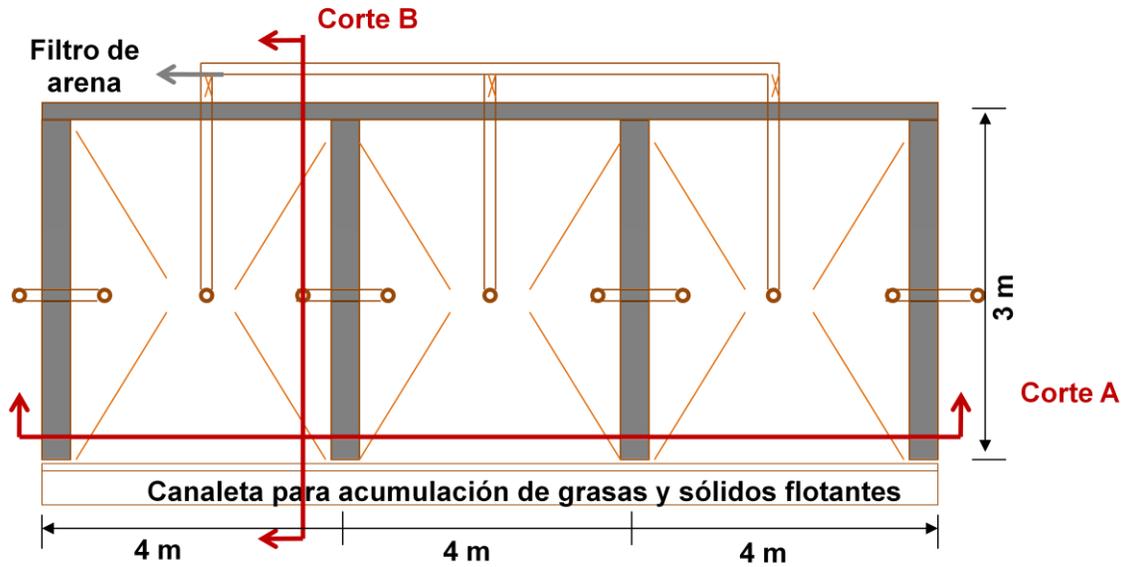


Figura 1.7 Vista superficial del desnatador-sedimentador

El volumen de cada uno de los tres depósitos es la suma de la parte cónica del fondo mas la parte rectangular superior, cuyas dimensiones se especifica en la Figura 1.8; dichos volúmenes son de 1.2 y 18 m³ respectivamente. El volumen total por sección es de 19.2 m³ dando un volumen total de 57.6 m³ y un TRH de 1 día.

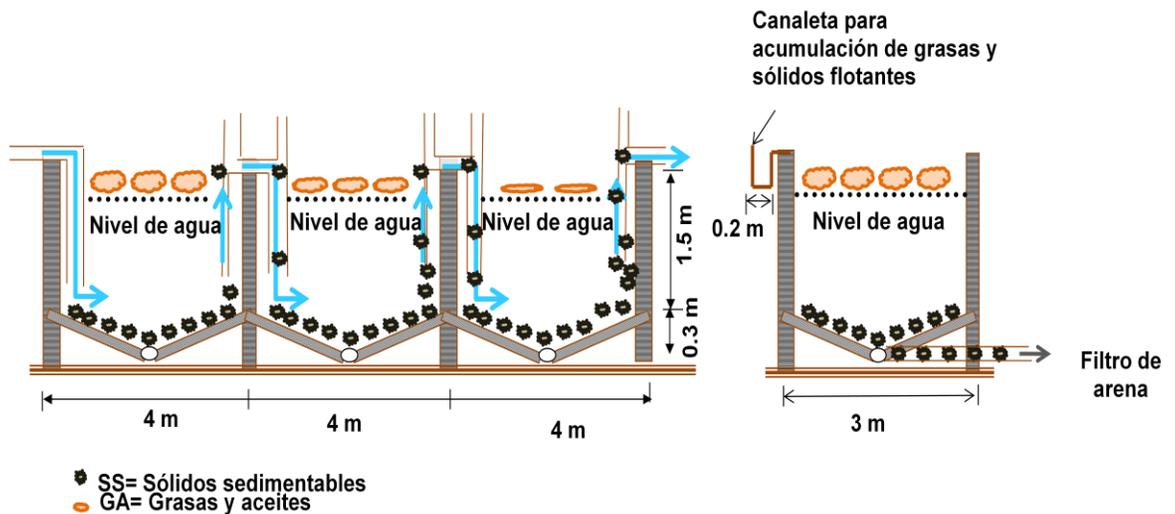


Figura 1.8 Vista lateral del corte A y B del desnatador-sedimentador

3. Tanque Anaerobio (TAN)

El tratamiento secundario se lleva a cabo en el tanque anaerobio en el cual se efectúa el proceso biológico del efluente proveniente del desnatador. Las dimensiones de la pila anaerobia son de 8 m de ancho, por 10 m de largo y 3 m de profundidad (Figura 1.9), dando un volumen de 240 m³ y un TRH de 5 días.

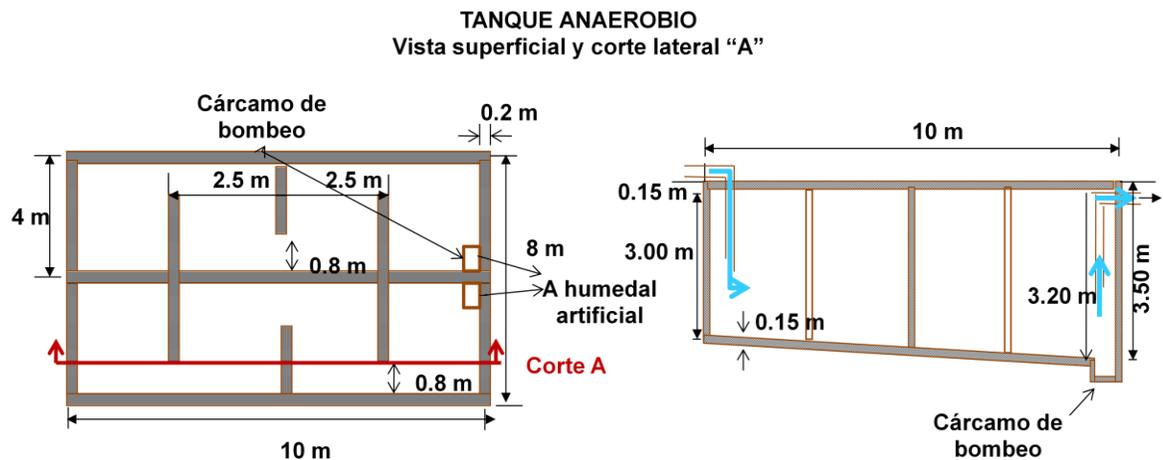


Figura 1.9 Vista superficial y lateral del corte A del tanque anaerobio

4. Humedal Artificial (HA) y Laguna de estabilización (LE)

El tratamiento terciario o de pulimento se lleva a cabo en el humedal artificial y la laguna de estabilización. El HA mide 95 X 1.5 X 0.7 m de largo, ancho y profundidad, respectivamente y está dividido en secciones de 10 m cada una; está ubicado en la periferia de la laguna de estabilización, la cual es usada como reservorio del agua tratada (Figura 1.10).

El volumen efectivo del humedal es de 71 m³ y un TRH de 1.4 días, el volumen de la laguna es de 291 m³ y TRH de 6 días, respectivamente (Pérez-López *et al.*, 2008).

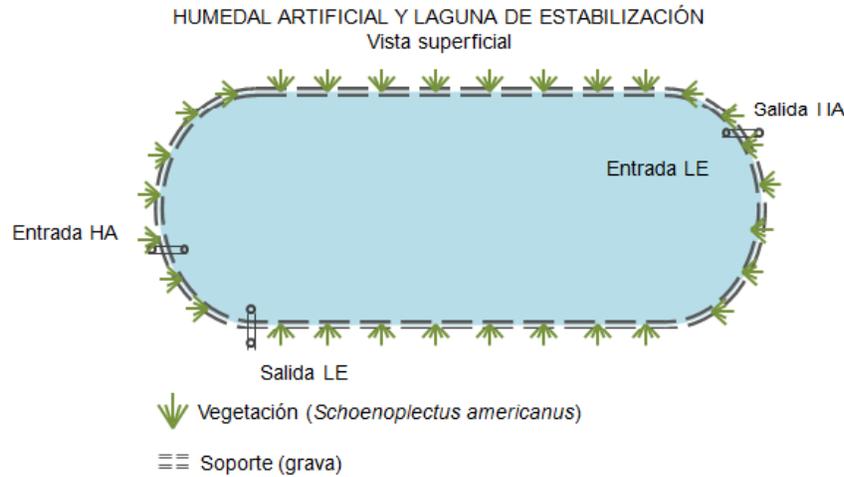


Figura 1.10 Vista superficial del humedal artificial y laguna de estabilización

La PTAR se diseñó con eficiencias que permitían alcanzar lo que marca la normatividad, las eficiencias iniciales aparecen en el Cuadro 1.6

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el periodo necesario para llevar a cabo la remoción del contaminante elegido por medio de operaciones físicas y procesos químico- biológicos. El cálculo se determinó a partir de la ecuación 1.1

Cuadro 1.1 TRH y eficiencia proyectadas inicialmente

Unidad	TRH (días)	Eficiencia proyectada (%)	Grasas y aceites (mg/L)	
			Entrada	Salida
Tanque amortiguador	1.0	0.0	20000	20000
Desgrasador-sedimentador	1.0	97.3	20000	540
Tanque anaerobio	5.0	70.0	540	150
Humedal artificial	1.4	60.0	150	60
Laguna estabilización	6	58.3	60	25
Total	14.4		25	

Fuente: Pérez-López *et al.*, 2008

II. JUSTIFICACIÓN

En el municipio de Nuevo Ideal, Dgo., dentro de la Comunidad Menonita, se encuentra una de las principales industrias queseras de la región, la empresa Quesería Holanda S. C. L. la cual procesa aproximadamente 50,000 L de leche/día. Durante 50 años, estas industrias habían vertido al suelo y cuerpos de agua sus efluentes sin un tratamiento previo, incumpliendo con esto la NOM-001-SEMARNAT-1996, motivo por el cual la Comisión Nacional del Agua (CNA) los sancionó.

Con la finalidad de solucionar el problema de disposición del agua residual la empresa construyó su planta de tratamiento (PTAR). El diseño y construcción se realizó dentro de las actividades del proyecto “Plan de manejo de residuos en las queserías menonitas de Nuevo Ideal Durango, con la aplicación del concepto de “producción más limpia”, con clave FOMIX- DGO-2007-C01-67972, bajo la dirección de personal del CIIDIR, quedando pendiente la evaluación del sistema construido.

Sin embargo aún cuando su construcción no había finalizado, se empezó a procesar un volumen mayor al que se tenía proyectado; incrementándose con esto la cantidad de agua residual y con ello se agravó el problema de su disposición, esto aunado a que el sistema de tratamiento se quedó sin evaluar.

Para verificar que la calidad del agua residual este conforme a la normatividad para descarga a terrenos agrícolas, es indispensable caracterizar el efluente, determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento, además de elaborar un manual de operación del sistema en base a sus condiciones operacionales.

III. OBJETIVOS

3.1 General

Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Sociedad Cooperativa de Producción de Quesería Holanda S.C.L conforme a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3.2 Específicos

- Determinar la eficiencia de cada operación o proceso que conforma la PTAR
- Calcular los periodos de mantenimiento
- Elaborar un manual de operación de la PTAR

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Evaluación de la eficiencia de cada operación o proceso que conforma la PTAR

La evaluación se llevó a cabo comparando las entradas y salidas por parámetro de cada operación y proceso involucrados en la PTAR de la quesería Holanda. Los parámetros elegidos para la evaluación tienen su fundamento legal en la NOM-001-SEMARNAT-1996, en donde se estipulan los límites máximos permisibles de las aguas residuales para su uso con fin de riego agrícola. Posteriormente se calcularon los periodos de mantenimiento y con ello se estableció el manual de operación de la planta.

4.1.1 *Características del agua generada en la industria*

Uno de los aspectos más importantes es conocer las características generales y específicas del efluente industrial, que es luego el influente de la PTAR, en base a sus características diarias, mensuales y anuales y con ello establecer las eficiencias que debe alcanzar la PTAR para cumplir con la normatividad. De tal forma que se buscó información histórica sobre las características y composición del efluente para establecer los cambios en el tiempo y comparar los resultados de los muestreos recientes.

4.1.2 *Métodos analíticos empleados*

Los parámetros se seleccionaron en base a su impacto ambiental: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), grasas y aceites (GA) solicitados por la normatividad vigente, y como medidas de control los sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), sólidos fijos totales (SFT), sólidos sedimentables (SS) y nitrógeno total Kjeldahl (N_{TK}).

Para el pH se empleó un potenciómetro marca Orión modelo 230A, calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 10 marca J.T. Baker (NMX-AA-008-SCFI-2000). En el

caso de la CE se utilizó un conductímetro marca Orión modelo 162, calibrado con una solución estándar de 12.88 mS cm^{-1} marca Hanna Instruments (NMX-AA-093-SCFI-2000). Ambos equipos se calibraron según especificaciones del fabricante.

Los sólidos totales, fijos y volátiles totales (NMX-AA-034-SCFI-2001) se determinaron por el método gravimétrico, sólidos sedimentables por el método del cono Imhoff (NMX-AA-004-SCFI-2000), grasas y aceites con el método de extracción Soxhlet (NMX-AA-005-SCFI-2000) y nitrógeno total por el método Kjeldahl (NMX-AA-026-SCFI-2000); todos se determinaron según los procedimientos descritos por los Métodos Estándar de Análisis (APHA, 1995) y la Normatividad Mexicana (NMX-AA-SCFI-2001).

La confiabilidad de los datos se aseguró a través de la estandarización de las técnicas, medición de blancos y realizando los análisis por triplicado.

4.1.3 Toma de muestras

Se tomaron muestras simples de un litro en los puntos de descarga de cada operación o proceso (Figura 4.1) de manera continua, en un día normal de operación, durante el tiempo necesario para completar cuando menos el TRH más largo (5 días). Con dichas muestras se llevaron a cabo los análisis necesarios para conocer su composición.

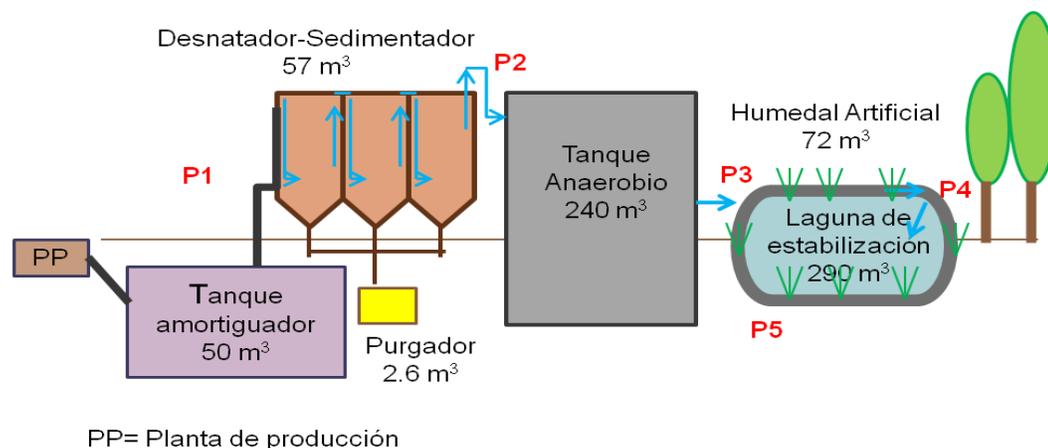


Figura 4.1 Perfil hidráulico de la PTAR y puntos de muestreo (P1 a P5)

Las muestras se preservaron después de su toma en refrigeración a 4 °C, además de la adición de ácido sulfúrico hasta pH < 2 para las muestras destinadas para la determinación de N_{TK} y GA.

4.1.4 Eficiencias y registro de cambios en el efluente

Para conocer la eficiencia de cada uno de los procesos y operaciones que conforman la planta de tratamiento es necesario conocer:

- Eficiencia de remoción (relación de las entradas vs. salidas)
- Registro de cambios en el influente

4.1.4.1 Eficiencia de remoción

Las eficiencias de remoción se calcularon mediante el uso de la ecuación 4.1 donde se compararon las entradas y salidas por parámetro de cada operación y proceso involucrados en la PTAR de la quesería, para los parámetros que pueden ser removidos físicamente que son GA, SS y ST.

$$\% \text{Eficiencia de remoción} = 100 - \left[\left(\frac{PS}{PE} \right) * 100 \right] \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

PE = Parámetro a la entrada de la unidad

PS = Parámetro a la salida de la unidad

4.1.4.2. Registro de cambios en el influente

Durante la evaluación y a través de todo el sistema se realizó un registro de los cambios del pH y la concentración de sales por medio de la CE, ya que el efluente industrial que ingresa a la PTAR (influyente) tiene un pH bajo y contiene una gran cantidad de sales, condiciones que lo hacen un residuo difícil de tratar.

4.1.4.3. *Evaluación del purgador de sólidos sedimentables*

Debido a que se presentaban desbordamientos en el purgador de sólidos sedimentables, ubicado después del DS, se propuso la evaluación de diferentes soportes a escala laboratorio para calcular la eficiencia de retención de estos sólidos y en base a esto elegir el mejor, para posteriormente efectuar el escalamiento correspondiente.

Para efectuar las pruebas a nivel laboratorio se establecieron 3 tratamientos conformados con paja, arena y grava en diferentes proporciones. Una vez establecidos se les agregó sedimento generado en el DS de la PTAR se observó su comportamiento. Para evaluarlos a cada uno se le midió: el tiempo de recuperación del líquido (TRL) y el volumen recuperado (VR), se determinó los sólidos totales (ST) y se calculó la eficiencia de remoción de ST utilizando la ecuación 4.1

1. *Descripción de los contenedores*

Los tratamientos se llevaron a cabo en recipientes con las siguientes dimensiones 0.33 X 0.20 X 0.14 m de largo, ancho y profundidad, con un volumen de operación 0.0093 m^3 (9.3 L).

2. *Composición de los tratamientos*

En el Cuadro 4.1 se describe la composición de cada uno de los tratamientos, a los cuales después de ser montados se les agregó 3 L de sólidos sedimentables provenientes del DS de la planta de tratamiento.

Cuadro 4.1 Composición de los tratamientos propuestos para el purgador

Tratamiento	Soporte	Altura del Soporte (m)	Peso Soporte (Kg)
T1	Grava	0.05	3.3
	Arena	0.05	4.5
T2	Grava	0.025	1.65
	Paja	0.02	0.435
	Arena	0.02	1.8
T3	Paja	0.05	1.08
	Arena	0.05	4.5

4.2 Determinación de los periodos de mantenimiento

Para realizar la determinación de los periodos de mantenimiento de cada una de las unidades que conforma la PTAR se consideraron los siguientes datos:

- Descripción de las condiciones operacionales de cada operación y/o proceso
- Comportamiento del efluente industrial
- Calcular los periodos de remoción para las GA y SS

4.2.1 Descripción de las condiciones operacionales de cada operación y/o proceso

Se realizó una descripción de las características operacionales de cada unidad, pues en base a estas y a los periodos de remoción se realizara la programación de las actividades de mantenimiento.

4.2.2 Comportamiento del efluente industrial

Para determinar los periodos de remoción es necesario conocer las características generales y específicas del efluente industrial, de tal forma que se buscó información histórica sobre las características y composición del efluente para establecer los

cambios en el tiempo, que se compararon con los resultados de los muestreos recientes. Con la finalidad de identificar los valores máximos de los contaminantes que pueden ser removidos físicamente como lo son los GA y SS, en base a ellos calcular los periodos de remoción.

4.2.3 *Calculo de los periodos de remoción para las GA y SS*

Los periodos de remoción se calcularon mediante el uso de la ecuación 4.2 donde se determino el periodo de remoción de cada operación y proceso involucrado en la PTAR de la quesería, para los parámetros que pueden ser removidos físicamente que son GA y SS.

$$\textit{Periodo de remoción} = \frac{V_R}{V_G} \quad \textit{Ec. 4.2}$$

Donde:

V_R = Volumen de recepción (m^3)

V_O = Volumen de generación del parámetro (m^3 /día)

4.3 *Elaboración del manual de operación*

Los periodos de mantenimiento determinados fueron usados para elaborar el manual de operación, el cual fue realizado lo más sencillo posible. Además se elaboró una manta impresa con las actividades más relevantes para el mantenimiento de la PTAR las cuales son necesarias para que se cumpla con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

4.4 *Análisis estadístico de la información*

Para el análisis de la información de cada parámetro en cada operación y/o proceso que conforman la PTAR y los diferentes días de muestreo ($n=10$) se utilizó un diseño completamente al azar y los resultados fueron validados mediante un análisis de

varianza de dos vías (ANOVA) y una prueba de medias DMS (Diferencia Mínima Significativas, $p < 0.05$)

Las hipótesis que se plantearon fueron las siguientes:

Parámetro individual (pH, CE, GA, SS, ST, SFT, SVT y N_{TK})

H_0 : $\mu_{TM} = \mu_{DS} = \mu_{TA} = \mu_{HA} = \mu_{LE}$ (no hay diferencias significativas entre las unidades de tratamiento de AR en la QH)

H_a : Al menos una unidad es diferente

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) conforme a la NOM-001-SEMARNAT-2006; por lo que se caracterizó el efluente a la entrada y salida de cada una de las unidades para establecer sus eficiencias. En base a éstas y a sus características operacionales se calcularon periodos de remoción y mantenimiento, los cuales se establecieron y programaron en un manual de operación.

5.1 Características del agua residual generada en la industria

El efluente de la quesería está compuesto por lactosuero (dulce y salado), leche, detergentes, sanitizantes, disoluciones de sosa y agua de enfriamiento. Dicho efluente no contiene aguas sanitarias, las cuales son tratadas aparte.

5.1.1 Descripción físico-química del efluente

En el Cuadro 5.1 se muestra la composición físico-química promedio \pm la desviación estándar del efluente en cada uno de las unidades por las que está conformada la PTAR, además de los resultados de la prueba de medias, donde se observa que las unidades tienen efectos significativos sobre los parámetros de pH, la CE, GA y la concentración de SS.

Cuadro 5.1 Características promedio y su resultado de prueba de medias del efluente a la salida de cada una de las unidades

Unidad	pH	CE (mS/cm)	GA (mg/L)	SS (ml/L)	ST (g/L)	SFT (g/L)	SVT (g/L)	N _{TK} (mg/L)
Tanque Amortiguador	4.45 ±0.28 a	3.70 ±0.92 a	1227 ±666 c	4.94 ±4.87 b	7.63 ±5.49 a	2.14 ±0.64 a	5.49 ±5.06 a	178 ±66 a
Desnatador Sedimentador	4.66 ±0.39 b	4.19 ±0.52 b	694 ±428 b	9.60 ±7.70 b	5.60 ±0.90 a	2.17 ±0.57 a	3.43 ±0.62 a	172 ±25 a
Tanque Anaerobio	4.84 ±0.26 c	4.67 ±0.43 ab	358 ±193 ab	7.02 ±5.41 b	4.77 ±0.29 a	2.27 ±0.60 a	2.50 ±0.58 a	201 ±53 a
Humedal Artificial	4.69 ±0.33 bc	4.68 ±0.32 ab	171 ±124 a	0 ±0 a	4.85 ±0.39 a	2.29 ±0.29 a	2.56 ±0.46 a	195 ±65 a
Laguna de Estabilización	4.80 ±0.26 bc	5.11 ±0.42 c	176 ±120 a	0 ±0 a	5.22 ±0.41 a	2.66 ±0.38 a	2.56 ±0.54 a	180 ±29 a

n= numero de muestra; n=10

± Desviación estándar

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas estadísticamente (DMS con un valor de $\alpha=0.05$)

pH= Potencial de hidrogeno

CE=Conductividad eléctrica

GA= Grasas y aceites

SS= Sólidos sedimentables

ST=Sólidos totales

SFT=Sólidos fijos totales

SVT= Sólidos volátiles totales

N_{TK}=Nitrógeno total

5.2 Eficiencias y registro de cambios en el efluente

Este análisis se realizó con base en los resultados de la caracterización y con el objetivo de identificar que unidades presentan efectos significativos sobre los parámetros, todo lo anterior con base en el análisis ANOVA y la prueba de medias aplicada a los resultados obtenidos.

5.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El análisis de varianza muestra que el pH presenta diferencias significativas entre las unidades y los días de muestreo (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2 Análisis de varianza para pH

Fuente	SC	GL	CM	F	p
Unidad	0.5660	4	0.1415	7.59	0.000472
Día	2.4055	8	0.3007	16.13	0.000000
Error	0.4287	23	0.0186		

SC=suma de cuadrados

GL=grados libertad

CM= cuadrados medios

F= Fisher

p($\alpha=0.05$)

Las variaciones de pH a lo largo de los diferentes días se puede deber a que en la actualidad los vertidos que se generan dentro de la PP tienen una amplia variación de caudal y concentración de compuestos contaminantes, esto puede atribuirse a principalmente a que no se ha logrado dar un uso eficiente al lactosuero y la cantidad vertida del mismo es variable (Villareal-Rivota, 2009) ver Figura 5.1.

Cabe resaltar que ni los productos ni AR cuentan con las mismas características, ello como resultado de que ninguno de los procesos que se llevan a cabo dentro de la empresa se encuentran estandarizados y la línea de productos que se manufacturan es variable.

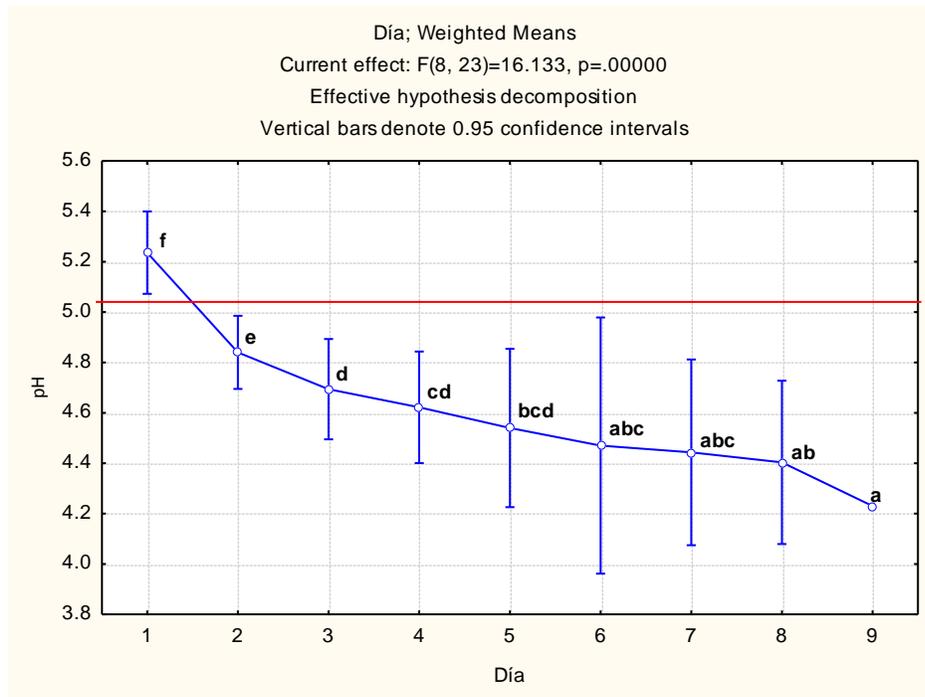


Figura 5.1 Registro de cambios del pH del efluente durante el muestreo

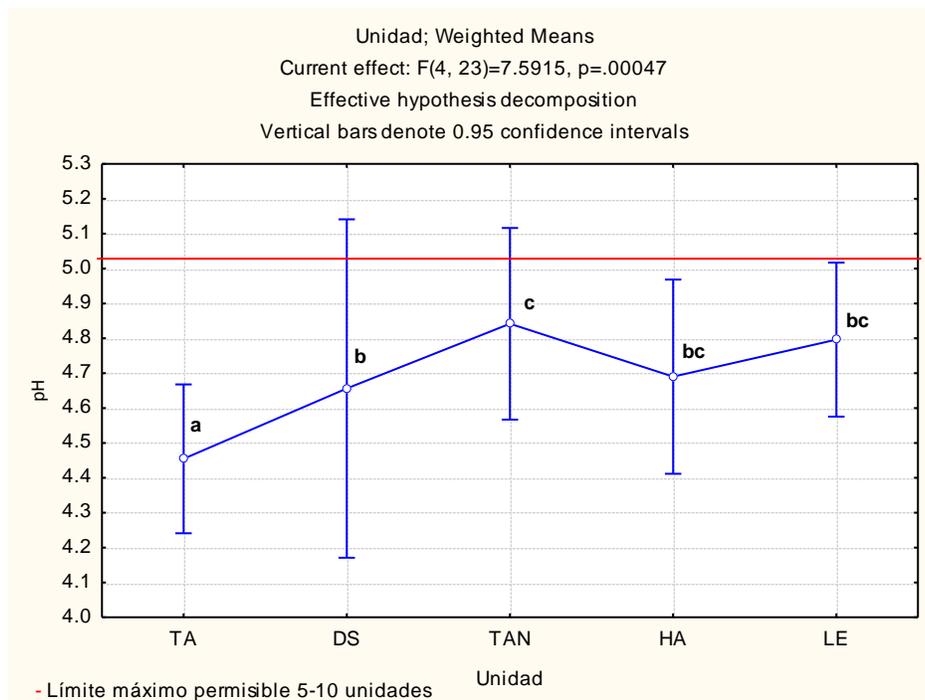


Figura 5.2 Registro de cambios del pH del efluente durante el tratamiento

En el caso de las unidades el pH es una de las variables operacionales más importantes durante el tratamiento anaerobio, las AR de esta empresa antes de ingresar al TAN tenían en promedio un pH de 4.66 ± 0.39 , según Crites y Tchobanoglous (2000) el rango óptimo para que se lleve a cabo este proceso biológico las AR deben de tener un rango 6.5 a 7.5 unidades y en condiciones óptimas un pH de 7.0, lo que ha impedido que este proceso se realice correctamente dentro de la PTAR.

La normatividad marca que el efluente debe encontrarse en el rango de 5 a 10 unidades (NOM-001-SEMARNAT-1996), aunque existió un aumento del pH el efluente no cumplió c

on lo requerido pues al ingresar al sistema de tratamiento contaba con un pH de 4.45 y egresó del sistema de tratamiento con 4.80 (Figura 5.2), el pH se mantuvo ácido a lo largo del tratamiento esto se puede deber a la conversión de la lactosa en ácido láctico durante los días que permanece el efluente en el sistema (Nemerow y Dasgupta, 1998).

5.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

El Cuadro 5.3 muestra que solo hay diferencias significativas entre las unidades y no así para los días.

Cuadro 5.3 Análisis de varianza para CE

Fuente	SC	GL	CM	F	p
Unidad	7.6865	4	1.9216	7.370	0.000566
Día	4.8111	8	0.6014	2.306	0.055897
Error	5.9972	23	0.2607		

SC= suma de cuadrados

GL=Grados libertad

CM=cuadrados medios

F= Fisher

P ($\alpha=0.05$)

El efluente registro un aumento en las tres primeras unidades esto debido a la mineralización de la materia orgánica presente en el efluente, en el caso del HA no se registraron cambios esto se puede deber a que no cuenta con vegetación, que es la que remueve una fracción de sales o compuestos mineralizados, Pérez- López (2008) menciona que estos sistemas son considerados lentos, debido a que su funcionamiento se basa en el metabolismo de las plantas y bacterias del sistema, de aquí que no se puede esperar que haya remoción de sales contaminantes pues la unidad no cuenta con vegetación y su TRH es menor a 1. El comportamiento de la CE a lo largo del sistema de tratamiento y su análisis estadístico se puede observar en la Figura 5.3.

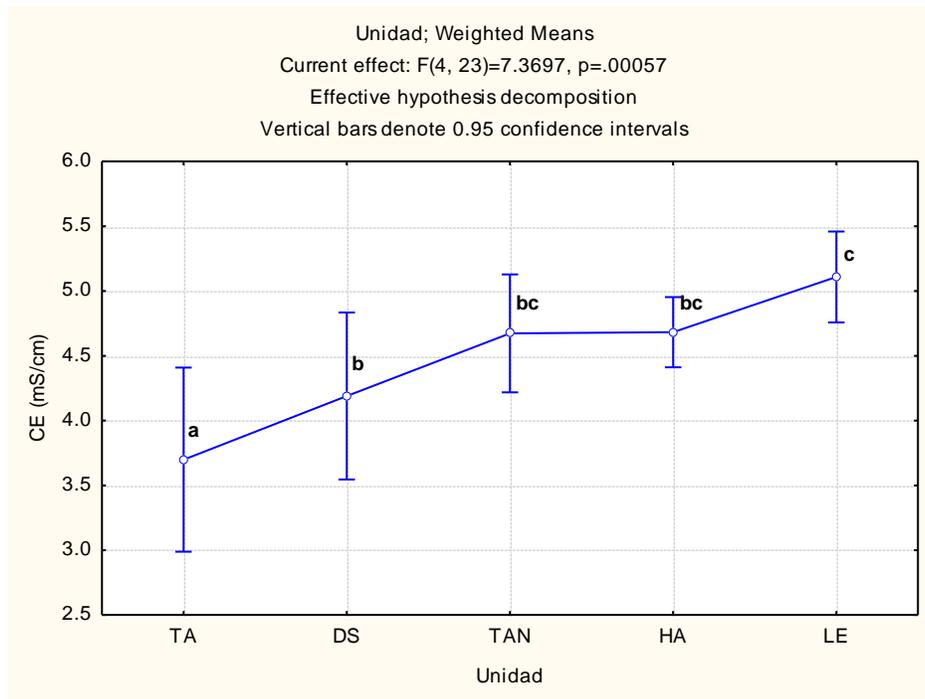


Figura 5.3 Registro de cambios de CE durante el tratamiento del efluente

5.2.3 Grasas y aceites (GA)

Para las GA se presentó una remoción estadísticamente significativa para las diferentes unidades (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4 Análisis de varianza para GA

Fuente	SC	GL	CM	F	P
Unidad	6936973	4	1734243	13.48510	0.000008
Día	1719152	8	214894	1.67097	0.159588
Error	2957901	23	128604		

SC= suma de cuadrados

GL=Grados libertad

CM=cuadrados medios

F= Fisher

P ($\alpha=0.05$)

En las cuatro primeras unidades, principalmente en el TAN y el HA (Figura 5.4), el porcentaje de remoción de grasa fue menor al proyectado en todas las unidades (Cuadro 5.5).

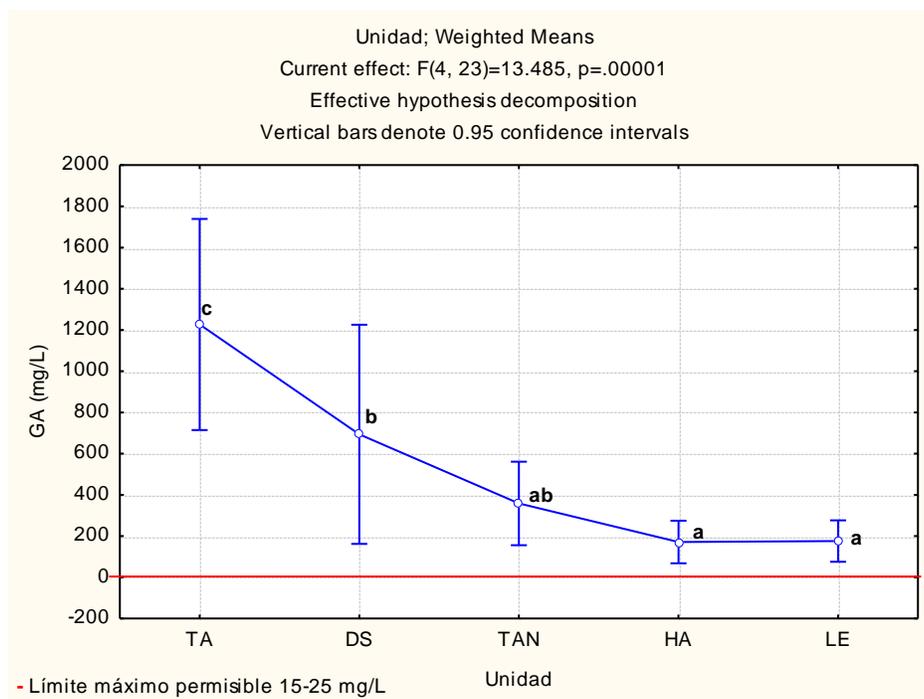


Figura 5.4 Remoción de GA durante el tratamiento del efluente

Cuadro 5.5 Eficiencia de remoción de grasas y aceites

Unidad	% ERGP	% ERGR
Desnatador-sedimentador	97.3	43.5
Tanque anaerobio	70	48.3
Humedal Artificial	60	52
Laguna de estabilización	58	-2.71

ERGP= Eficiencia remoción de grasas proyectada
ERGR= Eficiencia remoción de grasas real

La disminución de la eficiencia en desnatado en todas las unidades se atribuye al uso excesivo de detergentes dentro de la PP, estos provocan que parte de las grasas presentes en el efluente se emulsionen y pierdan su capacidad de flotar, esto debido al efecto que tienen los detergentes; ya que en su molécula existe una parte lipofílica por medio de la cual se unen a la grasa o aceite, mientras que la otra parte de la molécula es hidrofílica, tiene afinidad por el agua, esta solución al ser aireada favorece la formación de espumas muy estables las cuales están compuestas por grasa (Metcalf & Eddy, 1994).

La eficiencia general de la PTAR para GA fue del 85%, pero aún así no cumplió con la NOM, pues el LMP es de 15 – 25 mg/L y el efluente final tuvo en promedio 175 mg/L. (Monroy, 1991),

5.2.4 Sólidos Sedimentables (SS)

El Cuadro 5.6 muestra que solo hay diferencias significativas entre las unidades y no así para los días.

Cuadro 5.6 Análisis de varianza para SS

Fuente	SC	GL	CM	F	p
Unidad	423.1979	4	105.7995	4.87779	0.005369
Día	74.2596	8	9.2825	0.42796	0.892117
Error	498.8709	23	21.6900		

SC= suma de cuadrados

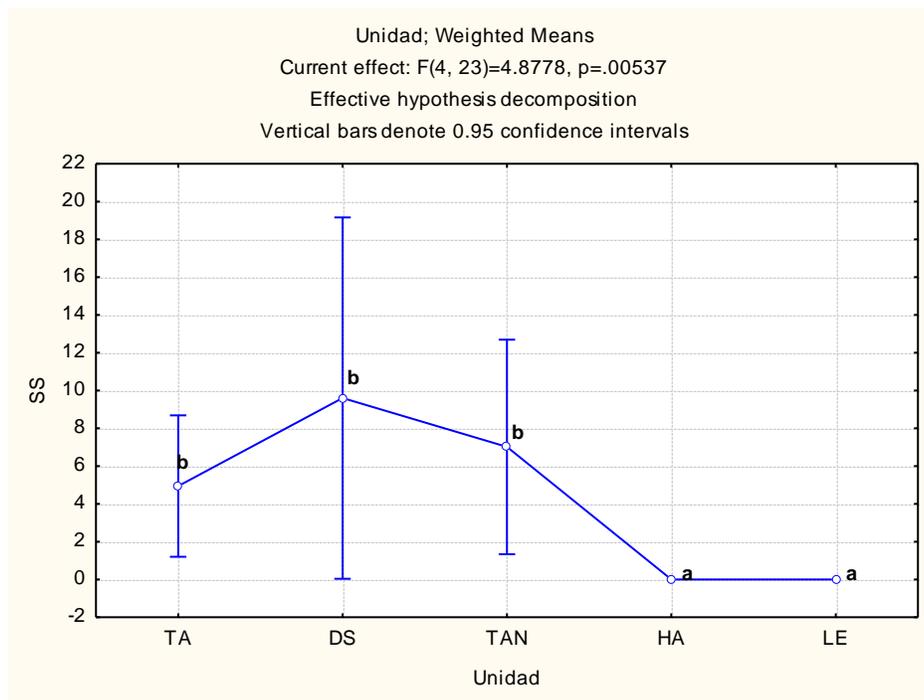
GL=Grados libertad

CM=cuadrados medios

F= Fisher

P ($\alpha=0.05$)

La unidad que presentó un mayor efecto sobre los SS del efluente fue el DS, cabe mencionar que este efecto fue negativo (Figura 5.5) porque a la salida contenía una cantidad mayor a la inicial (31 vs. 3.86 ml/L respectivamente). Esto se puede atribuir a que desde el arranque en Enero del 2009 no se realizó ningún tipo de limpieza, razón por la cual el área de recepción de SS se saturó, trayendo como consecuencia el arrastre de estos a las demás secciones del DS como se muestra en la Figura 5.6

**Figura 5.5** Remoción de SS durante el tratamiento del efluente

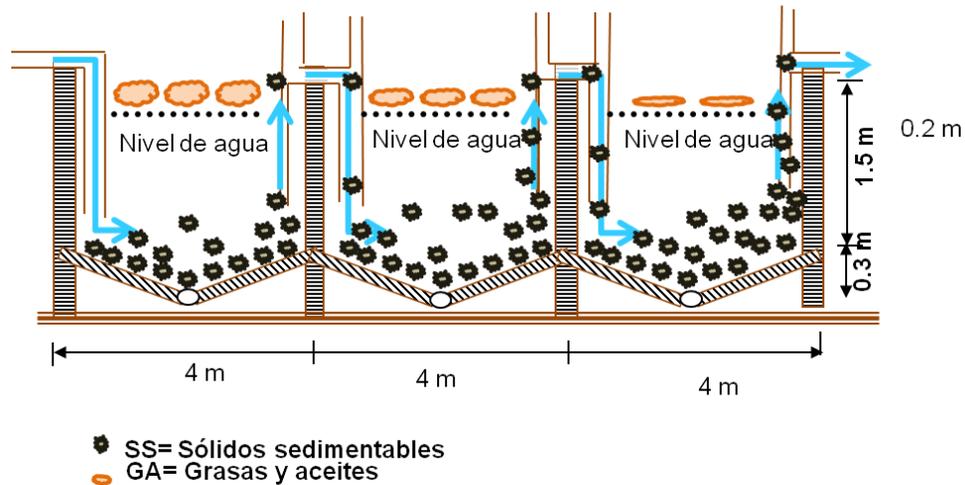


Figura 5.6 Efecto de los sólidos sedimentables en la unidad DS

En el cuadro 5.7 se muestran las eficiencias de las unidades que conforman el sistema de tratamiento, donde el TAN tiene una eficiencia promedio del 27% y del HA es del 100%. La eficiencia global fue del 100% porque a la salida del HA y de la LE ya no había SS.

Cuadro 5.7 Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables

Unidad	% ERGR
Desnatador-sedimentador	-94
Tanque anaerobio	27
Humedal Artificial	100
Laguna de estabilización	100

5.2.4 Evaluación del purgador de sólidos sedimentables

Cómo una tarea adicional y porque no aparece dentro de los planos de la PTAR, evaluó y modificó el espacio donde se lleva a cabo la retención de los SS del agua purgada del DS al que se llamó purgador de sólidos sedimentables.

● Identificación del purgador

El purgador recibe el sedimento acumulado en el DS, originalmente constituido por una base de grava de ½ pulgada y una cubierta de arena, con dimensiones son 3.6 X 1.0 X 0.60 m de largo, ancho y profundidad, con un volumen de 2.6 m³.

Se pretendía que dicho purgador funcionara como un filtro donde el sedimento recogido en el DS se quedara en la arena, y el agua infiltrada pasara por medio de una bomba al proceso anaerobio, pero los sólidos saturaban de inmediatamente la arena y ocurrían desbordamientos, ver Figura 5.7.

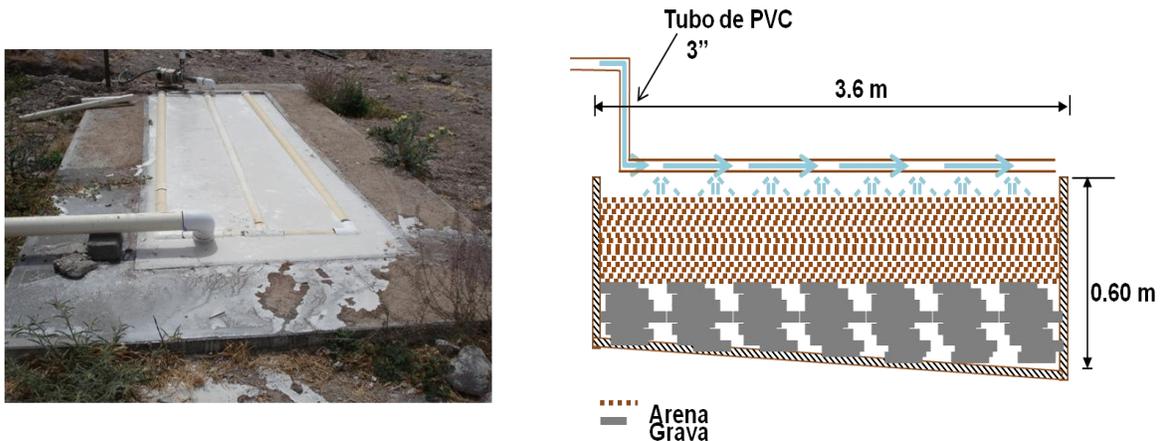


Figura 5.7 Vista real y corte longitudinal del purgador de SS

Debido a los desbordamientos se propuso la evaluación de diferentes soportes a escala laboratorio (Figura 5.8) para calcular la eficiencia de retención de sólidos totales y en base a esto se eligió el mejor y posteriormente se efectuó el escalamiento correspondiente.

Los lodos residuales generados dentro del DS presentaron las siguientes características promedio 63 mL/L de sólidos sedimentables, 16.3 g/L de sólidos totales y una densidad de 0.9787 g/mL



Figura 5.8 Montaje experimental de los tratamientos

La velocidad de infiltración se obtuvo determinando el tiempo de recuperación del líquido (TRL) midiendo para esto el volumen que podía soportar cada tratamiento y el tiempo en que éste salía del sistema, ver resultados en la Cuadro 5.8

Cuadro 3.8 Registro de tiempo y volumen de cada tratamiento

Tratamiento	Volumen de entrada (mL)	Volumen recuperado (mL)	% Volumen recuperado	Tiempo salida (h)
T1	3000	1100	37	6.2
T2	2000	870	29	4.1
T3	3000	1200	40	3.4

Se determinó la eficiencia de remoción cuantificando los sólidos totales (ST) a la entrada y salida de cada uno de los tratamientos y con esto se calculó la eficiencia de remoción. Los resultados de las eficiencias de remoción de sólidos totales y velocidades de infiltración, están resumidos en la Cuadro 5.9

5.9 Eficiencia de remoción de sólidos totales en los tratamientos

Tratamiento	Sólidos Totales (g/L)	Velocidades de recuperación (mL/h)	Eficiencia Remoción de sólidos totales %
T1	5.9	484	64
T2	13.6	49	16
T3	7.1	882	56

De acuerdo con la Cuadro 5.9 el T1 (grava-arena, diseño original) obtuvo la mayor eficiencia con 64% de remoción de sólidos, sin embargo presentó desventaja respecto al tiempo de recuperación del líquido ya que se agregaron 3000 mL de líquido y sólo se recuperó el 37% del efluente en 6.2 horas.

El T2 (grava-paja-arena-paja) tuvo una eficiencia de remoción del 16% de sólidos en un tiempo de 4.1 horas y se recuperó 29% del efluente agregado al sistema. Por su parte el T3 (paja-arena) tuvo una eficiencia de 56% en la remoción de sólidos y en 3.4 horas se recuperó el 40% del efluente que se le adicionó.

Por otro lado el material filtrante empleado para la remoción de sólidos se puede reutilizar para elaborar compost y obtener un material que puede ser utilizado para mejorar el suelo contiguo a la empresa.

● *Estimación del tiempo de vida útil del soporte*

Para llevar a cabo la estimación la estimación del tiempo de vida útil del soporte se re-estableció de nuevo el T3, al cual después de ser montado, se alimentó con lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento hasta que la infiltración a través del soporte fuera mínima. Para evaluarlo se midió: el volumen de alimentación (V_A), volumen recuperado del líquido (V_{RL}), tiempo de entrada y salida (T_E y T_S) y se calculó el caudal inicial y el final (Q_I y Q_F)

Cuadro 5.10 Determinación de la vida útil del soporte evaluado en el T3

Parámetro	Resultado
V_A (L)	10
V_{RL} (L)	4.6
T_E (h)	0
T_S (h)	68
Q_I (L/h)	14.4
Q_F (L/h)	1.8

La carga que soportó el T3 fue de 10 L, como se puede observar en la Cuadro 6.10 el caudal de salida del efluente disminuyó con el tiempo, lo cual se debe a que los sólidos que tenía la muestra se fueron reteniendo en el soporte, reduciendo la capacidad de filtración del sistema hasta que la salida del efluente se consideró nula, que fue aproximadamente a los tres días, tiempo que podría aumentar si se incluyera una bomba que extrajera constantemente el agua tratada, así la vida útil del soporte podría aumentar.

Dados los resultados obtenidos se procedió a efectuar el cambio e instalación del nuevo soporte en el purgador de lodos, tomando las mismas proporciones del material usado para el escalamiento, ver Figura 5.9.

**Figura 5.9** Instalación y cambio del nuevo soporte del purgador

5.2 Periodos de mantenimiento

Para determinar el periodo de mantenimiento de cada una de las unidades que conforma la PTAR se considero el tiempo de retención hidráulico (TRH), el comportamiento promedio del efluente, volumen de operación, volumen de recepción, caudal, esto dependiendo del parámetro físico que se desea remover como a continuación se detalla.

5.2.1 *Condiciones operacionales de la PTAR*

La empresa no cuenta con un manual de operación para ninguna de las unidades que conforman la PTAR, no se tiene ningún registro de actividades de limpieza ni de la periodicidad con que se llevan a cabo, los planos donde se describen sus características físicas están incompletos ya que algunos datos no concuerdan con los reales.

A continuación se describen los detalles más relevantes:

1. El diseño del TA (tanque amortiguador) no cuentan con ningún tipo de acceso, lo cual impide la realización de actividades limpieza y mantenimiento.
2. El DS (desnatador-sedimentador) al igual que el resto de las unidades no se le realizó ningún tipo de limpieza, razón por la cual el área de recepción de sólidos sedimentables se saturó, trayendo como consecuencia el arrastre de estos a las demás secciones del DS. En el caso de las grasas y aceites ocurrió la misma situación, éstas se trasladaron a otras secciones, incluso a otras unidades.

Existe un purgador de lodos residuales que acompaña al DS del cual se desconocían su dimensión, su funcionamiento y no estaba incluida en el plano correspondiente.

3. En el TAN (tanque anaerobio) el diseño no permite que se lleve a cabo ningún tipo de limpieza pues al igual que el TA, no cuenta con ningún tipo de acceso que permita su mantenimiento, además que está funcionando al 50% de su

capacidad porque solo una de las dos secciones que la conforman esta habilitada reduciendo así mismo su TRH de 5 a 2.5 días. Debido a la baja eficiencia del DS en el TAN se formó una capa de grasas en la superficie de aproximadamente de 60 cm de espesor, de acuerdo con Metcalf & Eddy Inc. (1994) las partículas de grasa son compuestos orgánicos muy estables y no se descomponen fácilmente por la acción de las bacterias presentes, además de interferir con la actividad biológica, aunado al bajo pH.

4. El HA (humedal artificial) no está funcionando como inicialmente se había diseñado. Al calcular el TRH inicial no se considero el volumen que ocupaba la grava, siendo el volumen efectivo 29.7 m^3 de la unidad y teniendo como consecuencia un TRH más corto; sólo el 50% de superficie está cubierta con grava, no cuenta con vegetación bien establecida porque no se logró su correcto desarrollo.
5. En el caso de la LE (laguna de estabilización) no se tiene registro de limpieza ni mantenimiento.

5.2.2 Tiempo de residencia hidráulica (TRH)

El TRH se modificó porque algunas unidades no están funcionando al 100%, por lo que el tiempo que permanece el efluente dentro de las unidades es menor al que se tenía proyectado inicialmente, por lo que fue necesario volverlos a calcular de acuerdo a las condiciones actuales.

Los resultados se encuentran en la Cuadro 5.11 donde se muestran los tiempos de residencia calculados con la ecuación 2.1 para las operaciones y procesos que conforman la PTAR.

Cuadro 5.11 Cálculos de tiempos de residencia hidráulica por operación o tratamiento con base a un efluente de 50 m³/día

Unidad	Volumen de operación (m ³)	Tiempo de Residencia Hidráulica (días)
Tanque Amortiguador	50	1
Desnatador-Sedimentador	57.6	1.13
Tanque Anaerobio*	240	4.8 (2.4*)
Humedal Artificial*	29.7	0.6 (0.3*)
Laguna de Estabilización	291	5.82
Total	668	13.36

* Volumen de operación al 50%

5.2.3 Comportamiento promedio del efluente de la industria

Se realizó una revisión histórica del comportamiento del efluente del periodo 2006-2010 (Cuadro 5.12), con la finalidad de identificar los valores máximos de los contaminantes que pueden ser removidos físicamente como lo son los SS y GA, con ellos se realizaron los cálculos para la programación de las actividades de mantenimiento.

Cuadro 5.12 Comportamiento promedio del efluente de la industria, periodo 2006-2010

Referencia	n	pH	CE (mS/cm)	GA (mg/L)	SS (mL/L)	ST (g/L)	SF (g/L)	SV (g/L)	N _{TK} (mg/L)
SANLUIS,2001	1	6.92	2.98	210	0.3	---	---	---	49.28
Saucedo-Casas,2006	3	5.20 ± 0.14	10.62 ± 0.46	2258 ± 628	1.53 ± 0.9	15.93 ± 1.15	6.93 ± 0.12	9.01 ± 1.27	---
Valverde-Cisneros, 2007	-- -	5.42	15.1	3400*	1.3	21.98	9.91	12.07	280
Talamantes-Esparza,2009	3	4.6 ± 0.1	4.37 ± 3.5	1265 ± 59	9.5* ± 0.7	6.54 ± 12.7	2.57 ± 14.1	3.96 ± 26.9	---
Rodríguez -Hernández,2010	1 0	4.42 ± 0.31	3.53 ± 0.93	1079 ± 465	3.86 ± 3.52	5.99 ± 1.41	2.13 ± 0.50	3.86 ± 1.04	155 ± 50

n= numero de muestra, valores promedio ± desviación estándar

*Valor en que se basan los cálculos de remoción

5.2.4 Determinación de los periodos de remoción de parámetros físicos

En las Cuadro 5.13 y 5.14 se muestran los periodos de remoción para la limpieza de las operaciones y procesos de la PTAR, estos fueron calculados a partir de la ecuación 5.2 de acuerdo a los de sólidos sedimentables, grasas y aceites que son removidos en cada etapa del sistema.

Cuadro 5.13 Determinación de los periodos de remoción SS en las unidades de la PTAR

Unidad	Volumen de recepción SS (m ³)	Volumen de generación promedio (m ³ /día)	Periodo de remoción de SS (días)
Tanque amortiguador	50	0.247	202.4
Desnatador-Sedimentador	1.2	0.247	4.9
Tanque Anaerobio	240	0.247	971.7
Humedal Artificial	29.7	0.247	120.2
Laguna de estabilización	291	0.247	1178.1

Tiempo de residencia basado en flujo de 50 m³/día
 Periodo de remoción basado en picos más altos 4.94 mL/L

Cuadro 5.14 Determinación de los periodos de remoción de GA en las unidades de la PTAR

Unidad	Volumen de recepción GA (m ³)	Volumen de generación diario (m ³ /días)	Periodo de remoción de GA (días)
Tanque Amortiguador	50	1	50.0
Desnatador-Sedimentador	3.6	1	3.6
Tanque anaerobio	240	1	240.0
Humedal artificial	29.7	1	29.7
Laguna de estabilización	291	1	291.0

Tiempo de residencia basado en flujo de 50 m³/día
 Periodo de remoción basado en picos más altos
 0.30 m de altura para acumulación de grasa
 Cada litro de AR contiene 20 ml de grasa (Saucedo-Casas, 2007)

5.2.4.1 Determinación del periodo de mantenimiento del purgador

El purgador de lodos, que tiene como función filtrar los sedimentos acumulados por el mismo DS, este tiene un volumen de total de 2.6 m³ y un volumen efectivo de 0.9 m³ que corresponden al área de captación del efluente. A continuación se presenta el cálculo del tiempo necesario para evacuar los lodos residuales del desnatador-sedimentador.

● Cálculo del flujo del sedimentador

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{Ec. 6.1}$$

Donde:

v =velocidad de salida del efluente

H = altura con respecto al orificio

g = gravedad

Sustituyendo los valores en la ecuación 6.1 se obtiene que:

$$v = \sqrt{2(9.8m/s^2)(1.15m)}$$

$$v = 4.74m/seg$$

Además para el cálculo del área se empleó la ecuación 6.2.

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ec. 6.2}$$

Donde:

A = área del orificio de salida

π = 3.1416

r = radio

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene que:

$$A = (3.1416)(3.75)^2$$

$$A = (3.1416)(3.75)^2$$

$$A = 0.004418 m^2$$

Para el cálculo del flujo del sedimentador se hizo uso de la ecuación 6.3.

$$G = AV \quad \text{Ec. 6.3}$$

Donde:

G = flujo del sedimentador

A = área del orificio de salida

V = velocidad del efluente

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene que:

$$G = (4.74 \text{ m/seg}) (0.004418 \text{ m}^2)$$
$$G = 0.0209 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Cada sección del DS tiene capacidad de almacenar 1.2 m³, para evacuar esta cantidad se tendría que abrir cada llave completamente durante 57 segundos.

5.3 Manual de operación

La elaboración del manual de operación se basó en las características del efluente, las condiciones operacionales de la PTAR, en la determinación de los periodos de mantenimiento y en las especificaciones de la normatividad vigente.

Dicho manual incluye una descripción general de la planta de tratamiento, una programación de actividades de mantenimiento y un resumen de los parámetros sugeridos para el monitoreo, tanto del efluente como el de la planta de tratamiento de aguas residuales.

MANUAL DE OPERACIÓN

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

QUESERÍA HOLANDA S.C.L



INDICE GENERAL

I.	GENERALIDADES DE LA PTAR	61
II.	DESCRIPCIÓN DE CADA SECCIÓN QUE CONFORMA LA PTAR	62
	2.1 Tanque amortiguador (TA)	62
	2.2 Desgrasador- Sedimentador (Tratamiento Primario, Operaciones Físicas)	63
	2.3 Tanque Anaerobio (Tratamiento Secundario, Proceso Biológico)	65
	2.4 Humedal Artificial y Laguna de estabilización (Tratamiento Terciario, Proceso Físico-Biológico).....	66
III.	PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	67
IV.	PARÁMETROS DE CONTROL SUGERIDOS PARA LA PTAR.....	68

I. GENERALIDADES DE LA PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) fue diseñada considerando un gasto de $50 \text{ m}^3/\text{día}$, donde el agua procesada deberá cumplir con un contenido en grasas y aceites de $15 - 25 \text{ mg/L}$, de $5 - 9$ unidades de pH y ausencia de sólidos flotantes; de acuerdo a lo solicitado por la normatividad en materia de descargas al suelo.

Para lograr lo anterior se diseñó un sistema compuesto de un tanque amortiguador, tanque desnatador-sedimentador, tanque anaerobio, humedal artificial y una laguna de estabilización (Pérez-López *et al.*, 2008).

El efluente proveniente de la planta de producción ingresa a un tanque de amortiguamiento que tiene como función proveer un flujo constante a la siguiente unidad que inicia con un tratamiento primario por medio de dos operaciones físicas que tienen como objetivo la eliminación las grasas, otros materiales flotantes y los sólidos sedimentables presentes en el efluente, esto por medio de un tanque desnatador-sedimentador. Esta operación es empleada como paso previo a un tratamiento secundario o biológico el cual se lleva a cabo en un tanque anaerobio para reducir la concentración de compuestos orgánicos. Finalmente como tratamiento terciario que utiliza una combinación de procesos y operaciones unitarias para la reducción de nitrógeno, además de la minimización de residuos orgánicos y su conversión en tejido celular para la producción de algas, esto dentro del humedal artificial y de una laguna de estabilización.

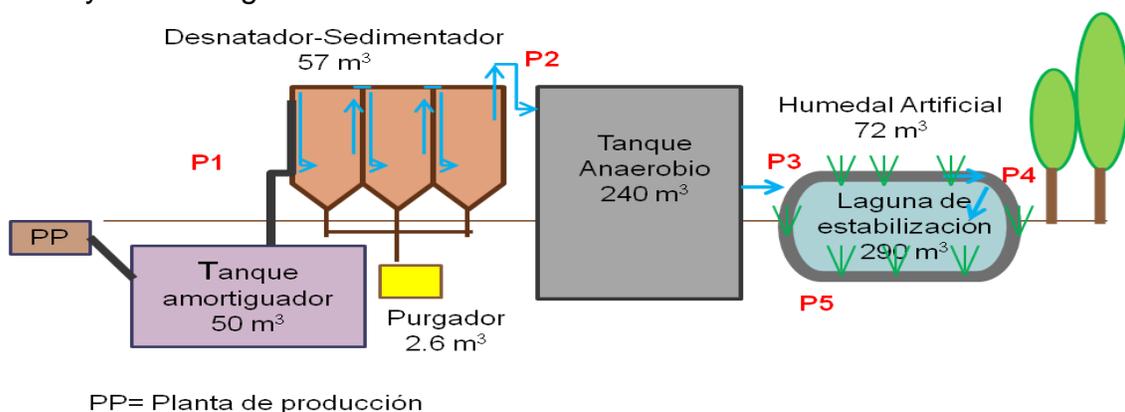


Figura 1. Esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales

II. DESCRIPCIÓN DE CADA SECCIÓN QUE CONFORMA LA PTAR

2.1 Tanque amortiguador (TA)

El efluente proveniente de la PP es ingresa a un TA, tiene como principal propósito la estabilización del caudal para reducir las variaciones en su concentración, además de proveer de manera continúa el efluente a las siguientes unidades que conforman la PTAR, mide 2.5 m de ancho, por 7.6 m de largo y 3 m de profundidad, es decir, un volumen efectivo de 62.7 m^3 .

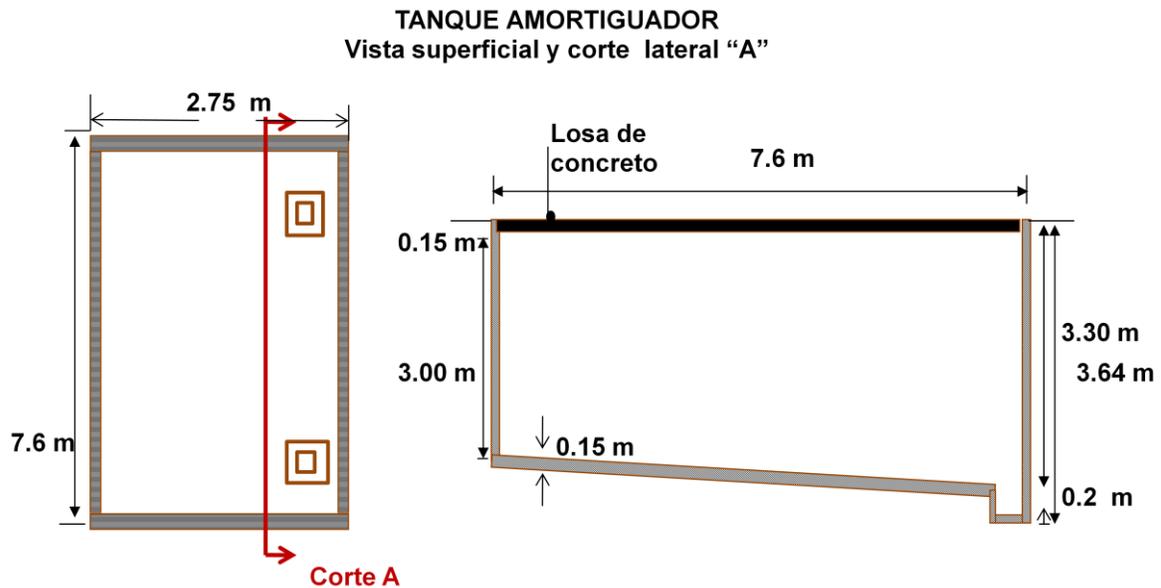


Figura 2. Vista superficial y lateral del tanque amortiguador

2.2 Desgrasador- Sedimentador (Tratamiento Primario, Operaciones Físicas)

Este tanque está diseñado de tal manera que las grasas asciendan y permanezca en la superficie del agua residual hasta que sean arrastrados hacia la canaleta y depositadas en tanques de 200 L (Figura 3), esta operación esta combinada con una sedimentación primaria que tiene como finalidad la separación de las partículas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad, y posteriormente la eliminación de estos sólidos sedimentables hacia un purgador.

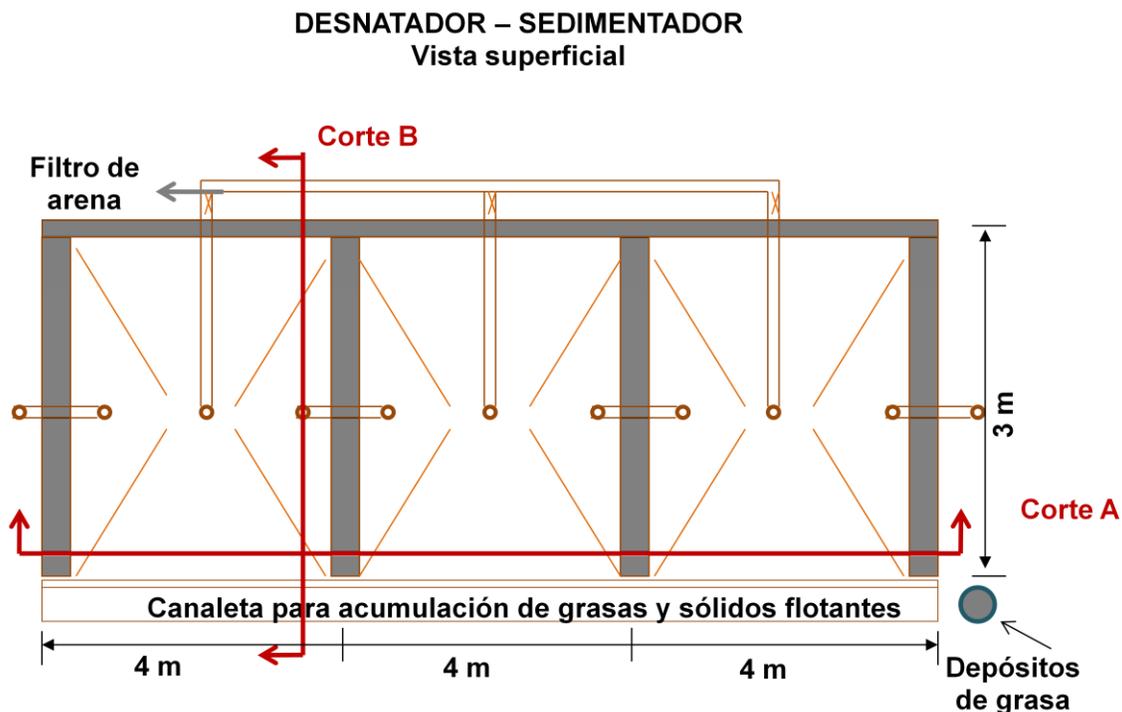


Figura 3. Vista superficial del desnatador – sedimentador

El DS tiene en tres secciones unidas mediante vasos comunicantes, cada sección tiene 3 m de ancho por 4 m de largo, con 1.15 m de profundidad y un fondo en forma de pirámide invertida, con una altura de 0.3 m, el cual tiene como objetivo la captación de sólidos sedimentables (Figura 4).

El volumen de cada recipiente se compone de una pirámide invertida sumado al volumen de un paralelepípedo rectángulo cuyas dimensiones se especifican en los planos anexos; dichos volúmenes son de 1.2 y 18 m³ respectivamente; el volumen

total por sección es de 19.2 m^3 El volumen total de los tres recipientes es de 57.6 m^3 .

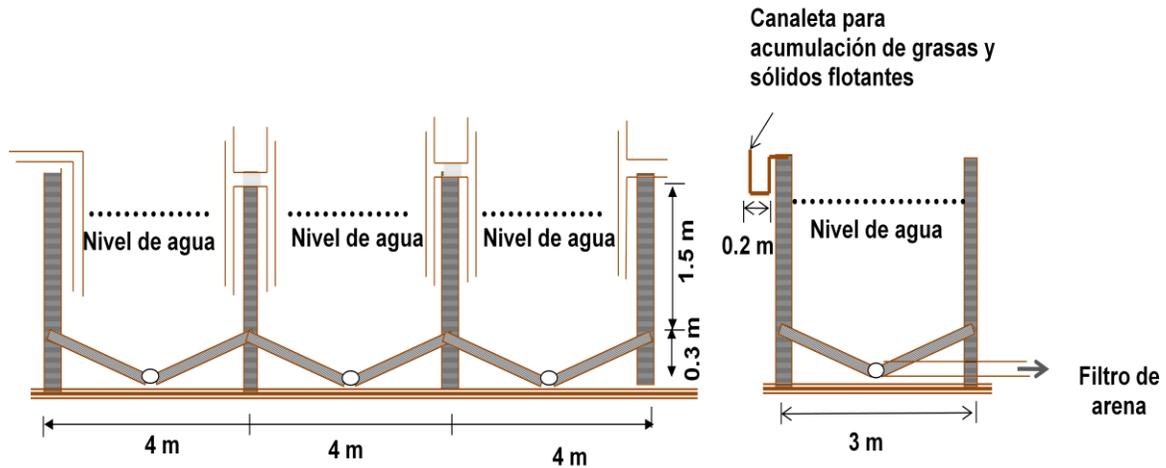


Figura 4. Vista lateral del corte A y B del desnatador-sedimentador

Los sólidos son dirigidos a un purgador de sólidos sedimentables donde el efluente a través de un material poroso constituido por paja, arena y grava de $\frac{1}{2}$ pulgada (Figura 5), sus dimensiones son $3.6 \times 1.0 \times 0.60 \text{ m}$ de largo, ancho y profundidad, con un volumen de 2.6 m^3 y un volumen efectivo de 0.9 m^3 que corresponden al área de captación del efluente

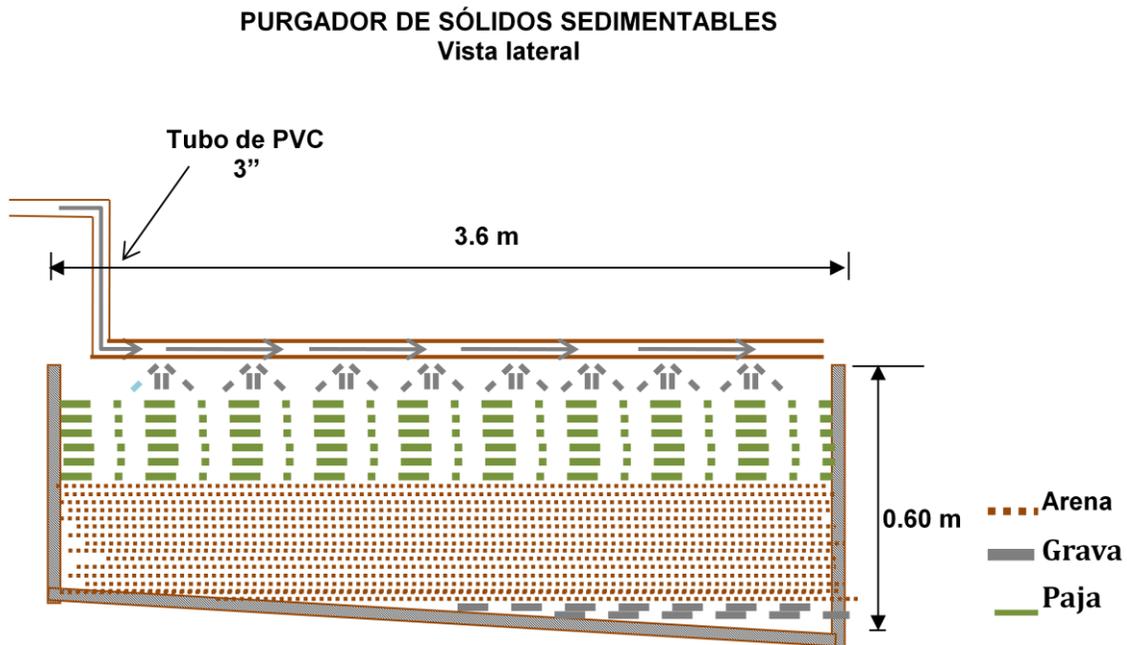


Figura 5. Vista lateral del purgador de lodos residuales

2.3 Tanque Anaerobio (Tratamiento Secundario, Proceso Biológico)

Los objetivos principales de este tratamiento biológico son estabilizar la materia orgánica, remover los sólidos que no sedimentan, la remoción de nutrientes como el nitrógeno y rastros de compuestos orgánicos (Figura 6).

El efluente del desgrasador ingresa al tanque anaerobio de 240 m^3 (8 m de ancho, por 10 m de largo y 3 m de profundidad), con un tiempo de retención de 4.8 días ($240 \text{ m}^3/50 \text{ m}^3/\text{día}$).

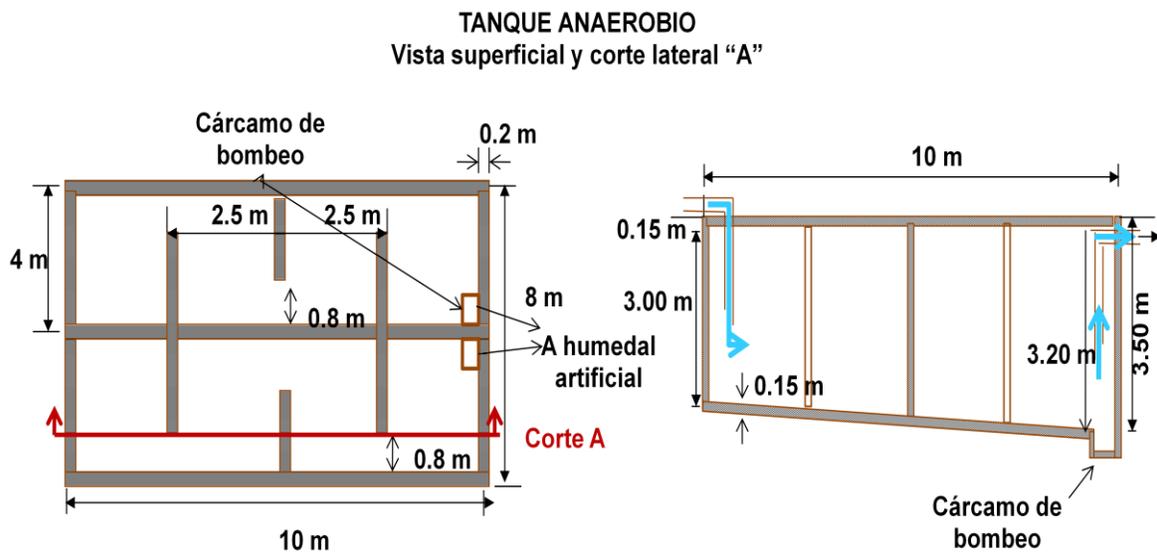


Figura 6. Vista superficial y lateral del corte A del tanque anaerobio

2.4 Humedal Artificial y Laguna de estabilización (Tratamiento Terciario, Proceso Físico-Biológico)

El humedal establecido es de tipo subsuperficial donde el efluente se trata a medida que el efluente fluye lateralmente a través de un medio o material poroso que en este caso es grava de ½ pulgada (12 mm), cuenta con vegetación emergente la especie empleada fue *Schoenoplectus americanus*.

El propósito de la vegetación es proveer oxígeno a la zona radicular y aumentar el área superficial para el crecimiento biológico de las raíces (ver Figura 7).

Este tipo de lagunas permiten la penetración de la luz solar sobre el efluente, obteniendo como resultado una gran actividad fotosintética durante las horas de luz solar, esto para optimizar la producción de de algas y lograr altas cantidades de proteínas utilizables esto debido a la conversión de los nutrientes por medio del tratamiento de los residuos orgánicos solubles (Metcalf & Eddy, 1994),

El humedal mide 95 X 1.5 X 0.7 m de largo, ancho y profundidad, respectivamente; el cual esta dividido en secciones de 10 m cada una; está ubicado en la periferia del estanque que será usado como reservorio del agua tratada. El volumen efectivo del humedal es de 71 m³; y el del estanque es de 291 m³. (Ver Figura 7).

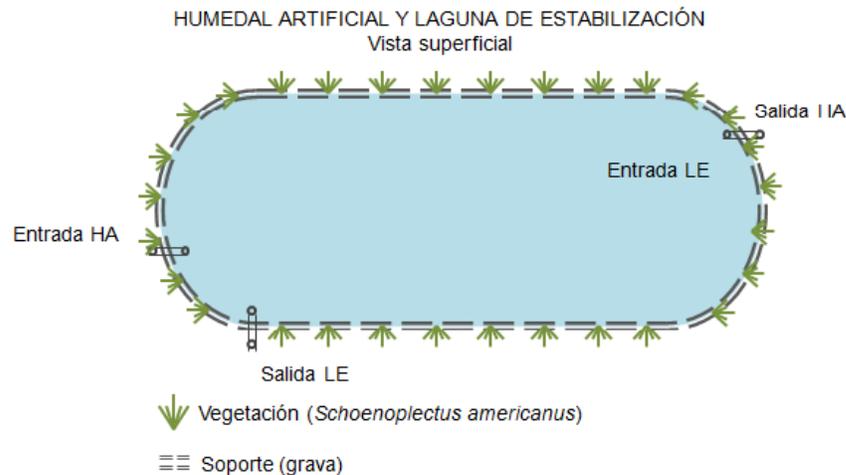


Figura 7. Vista superficial del humedal artificial y laguna de estabilización

III. PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

La programación de actividades se basó en los periodos calculados para remoción de GA y SS, el tiempo de vida útil del soporte del purgador de SS, además se tomo en cuenta la calidad de la vegetación por ser un factor esencial para el humedal artificial.

Cuadro 5.15 Programación de actividades de mantenimiento

Actividad	Punto	Unidad	Mantenimiento	Frecuencia
Remoción de grasas	P2	Desnatador-sedimentador	Empujar la grasa formada en la superficie con un jalador hacia la canaleta de acumulación y colocarla en un contenedor.	3 días
	P4	Humedal Artificial	Remover la grasa formada en la superficie del soporte con una rasqueta y colocar en un contenedor.	Mensual
Eliminación de sólidos sedimentables	P2	Desnatador-sedimentador	Abrir las llaves a la mitad por 2 min cada sección.	5 días
Calidad del soporte	P2	Purgador de lodos	Verificar el estado de todo el soporte.	Mensual
	P4	Humedal Artificial	Verificar el estado de la grava de todos los transectos, principalmente en los transectos de entrada.	Trimestral
Cambio del soporte	P2	Purgador de lodos	Realizar remoción del soporte en caso de que se encuentre saturado y sustituirla por una nueva.	Trimestral
	P4	Humedal Artificial	Realizar remoción de la grava en los transectos que se encuentre saturada y sustituirla por una nueva.	Anual
Verificación de la vegetación	P4	Humedal Artificial	Observar el estado de salud de las plantas, y de ser necesario realizar implantación.	Trimestral

Elaboró: Nadia Verónica Rodríguez Hernández

IV. PARÁMETROS DE CONTROL SUGERIDOS PARA LA PTAR

Para la elaboración de esta sección se adicionaron algunos parámetro que aunque no son considerados por la normatividad para descargas a suelos, son de gran importancia para tener un monitoreo más exacto de las condiciones mantenimiento y monitoreo de la PTAR.

Cuadro 5.16 Parámetros de control sugeridos para la PTAR

Parámetro	Unidad	Punto	Ubicación	Frecuencia
Calidad del agua				
Caudal	TA,HA	1,5	Entrada/Salida	Diario
†pH (potencial de hidrógeno)	Todas	1,2,3,4,5	Salida	Semanal
†Sólidos flotantes	Todas	1,2,3,4,5	Salida	Semanal
†Grasas y aceites	Todas	1,2,3,4,5	Salida	Semanal
†Coliformes Fecales	Todas	1,2,3,4,5	Salida	Semanal
Sólidos suspendidos totales	Todas	1,2,3,4,5	Salida	Semanal
Vegetación				
*Verificación de la cobertura vegetal	Humedal Artificial	4	Dentro y a lo largo de los transectos	Trimestral
Soporte				
*Calidad del medio o soporte	Purgador de lodos	2	Dentro del purgador	Mensual
	Humedal Artificial	4	Dentro de los transectos	Trimestral

*Adaptado de Crites y Tchobanoglus (2000).

†Parámetro recomendado por la NOM-001-SEMARNAT-1996

VI. CONCLUSIONES

- ✚ El TRH global de la planta es de aproximadamente de 11 días un tiempo menor del que se tenía proyectado inicialmente que era de 14.5 días, esto aunado a la falta de homogeneidad tanto en el caudal como en la composición del efluente está provocando una disminución en el desempeño general de la PTAR.
- ✚ El efluente proveniente de la planta de producción tiene un pH ácido (4.80 ± 0.25) que impide que se realice el tratamiento biológico, además de no cumplir con los valores marcados por la normatividad. Esto provocado en parte por el alto contenido de lactosuero que contiene el efluente.
- ✚ La gran cantidad de detergentes que utilizan dentro de la planta son los causantes de la presencia de espumas y grasas a lo largo de todas las unidades de tratamiento.
- ✚ Las operaciones físicas (desnatado y sedimentación) en la primera unidad no se están efectuando correctamente esto debido principalmente a la cantidad de detergentes que ha modificado las características de las grasas perdiendo su capacidad de flotación haciendo más difícil su remoción.
- ✚ La falta de mantenimiento dentro del DS ha generado la acumulación excesiva de sólidos sedimentables provocando que estos sean arrastrados a otras secciones y que el efluente final contenga un contenido mayor.
- ✚ En el caso del tanque anaerobio la baja eficiencia se atribuye al bajo pH y a la cantidad de grasas presentes, ambos parámetros impiden que se realice el tratamiento biológico.

- ✚ En general se concluye que el efluente del sistema de tratamiento no cumple lo establecido por la normatividad, lo cual se ha adjudicado a varias situaciones como la falta de estandarización del proceso de producción, por lo que sus características han sido muy variables. Esto sumado al alto consumo de detergentes que ha provocado la emulsión de las grasas y formación de espumas dentro del sistema de tratamiento.

VII. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados y a las conclusiones de este proyecto se extienden las siguientes recomendaciones:

✚ MONITOREO DEL EFLUENTE

Para próximos trabajos se recomienda considerar el monitoreo de parámetros como los sólidos suspendidos totales y DBO, aunque estos parámetros no sea considerados por la normatividad para descargas a suelos, dan una idea más clara de las características del efluente a tratar, así como un monitoreo más exacto de las condiciones operacionales de la PTAR y el tiempo de vida útil de los soportes del purgador de lodos residuales y del humedal artificial.

✚ PLANTA DE PRODUCCIÓN

Dentro de la planta de producción se sugiere las siguientes modificaciones:

- Separar los efluentes dentro de la planta de producción, principalmente el lactosuero que es uno de los componentes que dificulta el tratamiento.
- Reducir el uso de detergentes, utilizarlos conforme a las especificaciones del fabricante ó introducir un sistema de limpieza a base de vapor de agua.

✚ PLANTA DE TRATAMIENTO

- Solicitar un operador calificado para la planta de tratamiento e instalaciones de laboratorio, para el análisis y supervisión de la misma.
- Introducción de aparatos para medir el flujo de entrada y salida de la PTAR
- Neutralizar el influente antes de ingresar al sistema de tratamiento; los especialistas recomiendan que el pH del efluente no debe de descender de 6.2 unidades, para tener un mejor desempeño dentro de los procesos biológicos.

- En el tanque amortiguador se sugiere inyectar aire para obtener una mejor mezcla, ya sea por agitación mecánica, la colocación de deflectores, o bien combinar los dos anteriores, para lograr que el efluente sea más uniforme en sus características.
- En el caso del humedal artificial se puede incorporar una recirculación del efluente tratado con el fin de diluir la concentración del influente, aumentar el tiempo de residencia y mejorar el tratamiento.

Se recomienda que el soporte de los primeros transectos de la entrada sea más grande de 30 a 40 mm (de diámetro) para reducir el potencial de obstrucción, y en el resto de los transectos el soporte sea menor de a 10 mm.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- APHA (American Public Health Association).** 1995. Standard Methods “For the Examination of Water and Wastewater”, 19th Edition.
- Badui D., S.** 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición, Editorial Pearson Educación, México. 626-628 p.
- CMPO (Centro de Producción más Limpia, Nicaragua).** 2003. Proyecto “Diseño de una Estrategia Nacional de Tecnologías Limpias para Nicaragua”, Análisis de Sustitución de Tecnologías Limpias para el Sector Lácteo. Informe Final
- CNA (Comisión Nacional del Agua),** 2004. Estadísticas del agua en México, México, primera edición 2004, www.cna.gob.mx.
- CNA (Comisión Nacional del Agua).** 2005. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre del 2004. www.cna.gob.mx.
- Crites, R. y Tchobanoglous G.** 2000. Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados. Editorial Mc.Graw-Hill Interamericana, S.A., Colombia. 563 – 640 p.
- García G., M.; Quintero R., R.; López-Murguía C., A.** 2000. Biotecnología Alimentaria. Editorial Limusa, México, pág. 179-209.
- Henry, J. G. & Heinke, G. W.** 1999. Ingeniería Ambiental. Prentice Hall, México. pp 800
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática).** 2004. Cuaderno Estadístico Municipal. Durango, Dgo. INEGI-Gob. del. Edo. de Durango. Aguascalientes, Ags.
-

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática). 1990 Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas DGO G13-11. Durango Escala 1:250,000

Kiely, G .1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Editorial Mc.Graw-Hill Interamericana de España, pp. 669-759

Metcalf & Eddy, Inc. 1994. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales. Tercera edición editorial Labor, S.A. pp. 956

Monroy, H.O; F. Vázquez M; J. C. Derramadero y J.P. Guyot. 1991. Anaerobic-aerobic treatment of cheese wastewater with national technology in México: the case of “El Sauz”.

Nemerow, N. L. y Dasgupta, A.1998. Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos. Ediciones Díaz de Santos, S.A. 447 – 456 p

Ortega-Díaz, S. 2007. Implementación de un sistema de depuración biológico para el tratamiento de efluentes de una industria quesera. Reporte de Residencia Profesional. Licenciatura en Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Durango, México. pp. 64

Pérez-López, M. E.; Vicencio-de la Rosa., M. G., Medina-Herrera E., Burciaga-Siqueiros., M. E.; Villanueva-Fierro., I; Chávez, C.S.; Martínez-Prado, M. A.; Pinto-Espinoza., J. 2008. Plan de manejo de residuos en las queserías menonitas de Nuevo Ideal., con la aplicación del concepto de producción más limpia. FOMIX: DGO-2007-CO1-67972.

Pérez-López, M. E. 2008. Implementación de humedales como alternativas de tratamiento de efluentes de la industria láctea de la Comunidad Menonita de Nuevo Ideal, Dgo. IPN, CIIDIR, DGO.

Rigola, L. M.1999. Tratamiento de Aguas Industriales. Editorial Marcombo, S.A, Barcelona, España. pp.

Saucedo-Casas, G. L. 2006. Dimensionamiento de un tanque de amortiguamiento para separar sólidos sedimentables y grasa del agua residual de una quesería menonita. Residencia Profesional. Licenciatura en Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Durango, México. pp. 65

Saucedo-Velázquez, M. E. 2010. Remediación de suelo contaminado con grasa del agua residual de la industria quesera en la Comunidad Menonita de Nuevo Ideal, Dgo. Tesis de Maestría en Ciencias de Gestión Ambiental, IPN – CIIDIR-DGO. pp. 70

NMX-AA-004-SCFI 2000 SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 2000. Norma Mexicana.. Análisis de aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas -Método del cono Imhoff. Diario Oficial de la Federación.

NMX-AA-005-SCFI 2000 SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 2000. Norma Mexicana. Análisis de aguas - Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de extracción Soxhlet. Diario Oficial de la Federación

NMX-AA-006-SCFI 2000 SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 2000. Norma Mexicana.. Análisis de aguas - Determinación de materia flotante en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método visual con malla específica. Diario Oficial de la Federación.

NMX-AA-008-SCFI-2000. Norma Mexicana. Análisis de aguas - Determinación de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método potenciométrico. Diario Oficial de la Federación.

NMX-AA-026-SCFI-2000. Norma Mexicana. Análisis de aguas - Determinación de nitrógeno total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método Kjeldahl. Diario Oficial de la Federación.

NMX-AA-034-SCFI-2001. Norma Mexicana. Análisis de aguas - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método gravimétrico. Diario Oficial de la Federación.

NMX-AA-093-SCFI-2000. Norma Mexicana. Análisis de aguas - Determinación de conductividad electrolítica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales.

STATISTICA (data analysis software system), version 7. StatSoft, Inc. 2004.
www.statsoft.com

Talamantes-Esparza, N. G. 2009. Distribución de los contaminantes de un agua residual de una industria láctea en el suelo. Tesis de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Durango, México. pp. 116

Tetra Pak Processing System. 2003. Manual de Industrias Lácteas. AMV Ediciones. Calle Almansa, 94 28040- Madrid, España. pp. 415-436

Valverde-Cisneros, C. 2007. Evaluación de los efluentes generados en la elaboración de queso tipo menonita. Reporte de Tesis. Licenciatura en Ingeniería Química Instituto Tecnológico de Durango, México. pp. 70

Villagrana-Alvarado, C. A. 2009. Evaluación del impacto ocasionado al suelo por la descarga del agua residual de la industria Quesera Menonita. Reporte de Residencia Profesional. Licenciatura en Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Durango, México. pp.82

Villareal-Rivota, E. O. 2009. Formulación de un requesón bajo en grasa. Reporte de Residencia Profesional. Licenciatura en Ingeniería Bioquímica Instituto Tecnológico de Durango, México. pp.86

