Uso del Agua y Diseño Experimental para el Tratamiento de Efluentes de la Planta de Lácteos Zamorano

Luis Miguel Paz y Miño Arboleda

MICROSIS:
FECHA:
ENCARGADO:

ZAMORANO
Programa de Tecnología de Alimentos

Diciembre, 1999

1054

Uso del agua y diseño experimental para el tratamiento de efluentes de la Planta de Lácteos Zamorano

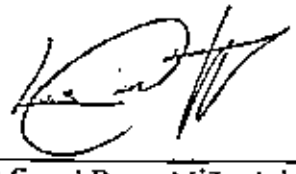
Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura.

presentado por

Luis Miguel Paz y Miño Arboleda

Zamorano, Honduras
Diciembre, 1999

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Luis Miguel Paz y Miño Arboleda

Zamorano, Honduras
Diciembre, 1999

DEDICATORIA

A mis Padres: Héctor y Martha por el apoyo que me dieron en hacer de un sueño realidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios y a mi madre Dolorosa por haberme dado los padres tan maravillosos que tengo.

A mis Padres por su esfuerzo inalcanzable al haberme apoyado en todo momento durante mi vida.

A Carlos Antonio y Héctor por la ayuda recibida para conseguir una meta.

Al Dr. George Pilz por su ayuda para realizar los análisis y la ayuda prestado a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Especialmente agradezco a Ing. José Teuben por la ayuda recibida para culminar mis estudios.

Al Ing. Aurelio Revilla por sus consejos para la vida, muchas gracias.

A Ing. Janeth Moncada por su guía y todo el trabajo conjunto para la realización de este trabajo.

Al Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica por el uso del Laboratorio de Aguas y por su apoyo.

Al Programa de Tecnología de Alimentos: Ing. José Teuben, Dra. Claudia García, Ing. Manuel Morales, Ing. Aníbal Cantarero, Ing. Rodolfo Cojulún, Ing. Javier Bueso.

A mis amigos PIA por todos los momentos pasados: Fausto, Luis, Francisco, Oscar, Victor, Paul, Julio, Paúl, Toño, Marcelo, Samy, Cesar, Erick, Santiago, Felipe, Carlos, Néstor, Verónica, Juan, Idalia, Andrea, Maricela, Belinda, Luciano, Fernando, Felix y a todos cuyo nombre no recuerdo en este momento.

A toda persona que de una u otra manera contribuyó a la realización de este proyecto.

RESUMEN

Paz y Miño Luis 1999. Uso del Agua y Diseño Experimental para el Tratamiento de Efluentes de la Planta de Lácteos de Zamorano. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 51p.

En la Planta de Lácteos de Zamorano, Honduras, se evaluó en forma cualitativa y cuantitativa el agua residual y su uso dentro de ésta. El diagnóstico consistió en medir la calidad del efluente a través de parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales, Densidad y la cantidad en volumen por día promedio. Mediante los resultados de los análisis, se diseñó un sistema de tratamiento adecuado para tratar el efluente y se evaluó las diversas formas de optimizar el uso del agua en la planta, principalmente en el procedimiento de limpieza. En cuanto al agua residual, se obtuvo una descarga diaria promedio de 30,94 metros cúbicos con indicadores de DBO y DQO de 171,11 y 475,36 mg/l respectivamente, resultados que sobrepasan los valores permitidos por la Ley Hondureña. Para que el efluente se mantenga dentro de los límites permitidos, se propuso un sistema de aireación/mezclado utilizando difusores de aire sumergidos como una alternativa para la reducción del DBO. Se describe los cálculos de diseño enfocados a las dimensiones requeridas, el material adecuado, la potencia necesaria para el mezclado a 450 r.p.m. es de 1.5 HP y 3.3 kg de oxígeno /kW para los difusores sumergidos NOPON® y la válvula de salida de seis pulgadas en tubería de PVC descargaría el efluente tratado en ocho horas. El uso del agua en la planta se detectó que el volumen utilizado en aguas de limpieza no varía en relación a los litros de leche que ingresan a la planta a diferencia del agua de enfriamiento y proceso que se incrementa según el volumen de leche sube. Implementar de manera piloto el sistema diseñado podría ajustar los cálculos. Para la reducción del agua en la planta, se formuló algunas recomendaciones con el cumplimiento del procedimiento de limpieza.

Palabras clave: aireación , DBO, DQO, tratamiento de agua.

Nota de Prensa

EL AGUA RESIDUAL EN PLANTAS PROCESADORAS DE LÁCTEOS PUEDEN TRATARSE MEDIANTE AIREACIÓN

El manejo de residuos dentro de una planta de procesamiento de lácteos es vital considerando los efectos para el medio ambiente. Es por eso que el investigador realizó un diagnóstico de los efluentes de la Planta de Lácteos de Zamorano para determinar su calidad, las posibles formas de tratamiento y maneras de optimizar el uso del agua en ella.

La contaminación producida por residuos orgánicos se refleja en la cantidad y la calidad. Como indicadores de la calidad se utiliza parámetros como: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En el estudio se detectó que en Zamorano los niveles de estos parámetros superaron los niveles permitidos por la legislación hondureña, haciendo necesario y urgente la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes.

Un sistema de tratamiento de aireación / mezclado permitiría la reducción de la DBO y por lo tanto de la contaminación y es un diseño relativamente sencillo. El sistema propuesto incluye dos tanques: uno de sedimentación y otro de aireación. El mezclado necesario sería proporcionado por un motor de 1.5 HP y el aire por difusores sumergidos.

Dentro de una planta de lácteos el uso eficiente del agua es de igual importancia tanto en la limpieza como en el procesamiento y enfriamiento. Por eso las medidas para preservarla y evitar el desperdicio son importantes. En Zamorano se colocó pistolas de presión y modificó líneas de agua potable que provocaban fugas innecesarias sin obtenerse los resultados esperados.

El estudio indica claramente la necesidad de reducir el volumen de efluentes y por otro efectuar un tratamiento a estos para cumplir los estándares permitidos. Cursos de capacitación para los trabajadores, es una herramienta adicional para lograr el objetivo de disminuir el derroche de agua y que cualquier cambio en un procedimiento de limpieza funcione.

Zamorano está consciente del impacto que pueda tener una reducción de los efluentes sobre el medio ambiente y la implementación de las recomendaciones de este estudio será otro paso más hacia una industria limpia y de ejemplo.

CONTENIDO

	Portadilla	i
	Autoria	ii
	Página de firmas	iii
	Dedicatoria	iv
	Agradecimientos	v
	Resumen	vi
	Nota de Prensa	vii
	Contenido	viii
	Indice de Cuadros	xi
	Indice de Figuras	xiii
	Indice de Anexos	xiv
1.	INTRODUCCION	1
1.1	OBJETIVOS	1
1.1.1	General	2
1.1.2	Específicos	2
1.2	LIMITACIONES	2
2.	REVISION DE LITERATURA	3
2.1	GENERALIDADES	3
2.1.1	Calidad de agua para plantas procesadoras de leche	3
2.1.2	Contaminación de fuentes de agua	4
2.1.3	Fuentes de contaminación	4
2.1.4	Tipos de contaminantes	4
2.2	PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUA	5
2.2.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	6
2.2.2	Demanda Química de Oxigeno (DQO)	6
2.2.3	Turbidez	6
2.2.4	Sólidos totales	7
2.2.5	pH	7
2.2.6	Temperatura	7
2.3	MEDIO AMBIENTE Y LA AGROINDUSTRIA	7
2.3.1	La industria láctea	8
2.3.2	Caracterización de efluentes lácteos	8
2.3.3	Efectos de descargar efluentes a una masa de agua	9
2.4	PLANTA DE LACTEOS DE ZAMORANO	9
2.5	PRODUCTOS LACTEOS	10
2.5.1	Leches fluidas	11

2.5.2	Mezclas	11
2.5.3	Quesos	12
2.6	LEY AMBIENTAL DE HONDURAS	13
2.6.1	Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario	13
2.7	SISTEMAS DE TRATAMIENTO	14
2.7.1	Tratamiento de desechos	14
2.8	TRATAMIENTO POR OXIDACION BIOLOGICA DE EFLUENTES	16
2.8.1	Procesos de tratamiento biológico	16
2.8.2	Tratamiento de aireación mecánica de tanque receptor	16
2.8.3	Reología de fluidos	17
2.9	MODELO AEROBICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	17
2.9.1	Digestión de desechos sólidos	18
2.9.2	Fangos activados	18
2.9.3	Cálculos básicos	18
2.9.3.1	Tanque receptor	18
2.9.3.2	Potencia de mezclado	19
2.9.4	Difusores de aire	20
2.9.5	Problemática de olores desagradables	21
3	MATERIALES Y METODOS	22
3.1	UBICACION GEOGRAFICA PLANTA DE LACTEOS ZAMORANO	22
3.2	UTILIZACION DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCION Y SU CALIDAD	22
3.2.1	Número de muestras y su distribución	22
3.2.2	Obtención de la muestra	23
3.2.3	Procesamiento de la muestra compuesta	24
3.2.3.1	Sólidos totales	24
3.2.3.2	Densidad	24
3.2.3.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	24
3.2.3.4	Demanda Química de Oxígeno (DQO	24
3.3	EVALUACION DEL PROTOCOLO DELIMPIEZA Y MEDICION DEL AGUA UTILIZADA	24
3.3.1	Medición del agua en diferentes procesos	25
3.3.2	Evaluación del protocolo de limpieza	25
3.4	SISTEMA DE TRATAMIENTO	26
4.	RESULTADOS Y DISCUCION	27
4.1	DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL Y SU CALIDAD EN LA PLANTA DE LACTEOS ZAMORANO	27
4.2	UTILIZACION DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCION Y SU RELACION CON EL PROTOCOLO DE LIMPIEZA	29
4.2.1	Agua utilizada en procesos, limpieza y enfriamiento	29
4.2.2	Evaluación del protocolo de limpieza de la Planta	30
4.2.3	Volumen del agua utilizado en 1998	31

4.2.4 Medidas correctivas implementadas y su efecto en el volumen total de agua utilizado..... 32
4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE LACTEOS ZAMORANO..... 33
4.3.1 Tanque receptor..... 34
4.3.2 Recolector de sólidos sedimentables..... 35
4.3.3 Tanque aireador/mezclador..... 35
4.3.4 Potencia de motores necesaria..... 36
4.3.5 Válvula de salida..... 37

5 **CONCLUSIONES**..... 38

6 **RECOMENDACIONES**..... 39

7 **BIBLIOGRAFIA**..... 40

8 **ANEXOS**..... 42

INDICE DE CUADROS

Cuadro		
1.	Producción de leche en Honduras	1
2.	Promedios de las concentraciones de algunos elementos evaluados en el agua del Zamorano de julio a octubre de 1993	2
3.	Valores de la DBO en algunos productos lácteos	6
4.	Promedio de pérdidas de leche o productos lácteos en diversas operaciones en una planta lechera	9
5.	Principales características físicas y químicas de la leche de vaca	11
6.	Porcentaje de los componentes de los productos provenientes de mezclas	12
7.	Componentes porcentuales de los principales quesos en Honduras	12
8.	Normas de calidad para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores y en alcantarillado sanitario	13
9.	Intervalo de temperatura de crecimiento para las bacterias	15
10.	Procesos biológicos utilizados en el tratamiento de agua residual	16
11.	Fechas de la distribución del muestreo del efluente en la Planta de Lácteos de Zamorano, 1999	23
12.	Resumen de los valores promedio obtenidos en los análisis del efluente de la Planta de Lácteos de Zamorano	27
13.	Volumen en metros cúbicos de agua utilizada en los procesos de productos básicos de la Planta de Lácteos de Zamorano	29
14.	Comparación entre concentraciones y parámetros utilizados y los niveles óptimos a los cuales trabajar	30
15.	Promedios de peso de detergente y partes por millón (ppm) de cloro utilizado en labores de limpieza en la Planta de Lácteos Zamorano	32

16. Dimensiones del Tanque receptor..... 34

17. Resumen de datos necesarios para el cálculo de potencia de motores..... 36

INDICE DE FIGURAS

Figura		
1.	Secuencia en el tratamiento de aguas residuales.....	14
2.	Equipo tornado Aeromix® para el tratamiento de aguas residuales en bajas concentraciones de carga orgánica.....	20
3.	Distribucion de la DBO en las fechas de muestreo.....	28
4.	Litros de leche enviados por el establo Zamorano a la Planta de Lácteos, 1999.....	31
5.	Metros cúbicos de agua utilizado por la Planta de Lácteos Zamorano en 1998.....	32
6.	Esquema general del proceso de tratamiento.....	33
7.	Esquema del tanque receptor.....	34
8.	Canastilla de acero inoxidable para la recolección de sólidos sedimentables.....	35
9.	Esquema del tanque aireador / mezclador.....	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1. Cuadros de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Muestra Compuesta..... 42

2. Prueba de diferencias de volumen con mangueras de spray..... 50

3. Recomendaciones a seguir en el procedimiento de limpieza..... 51

I. INTRODUCCION

El manejo de los desechos contenidos en las aguas residuales y su eliminación se considera un verdadero problema de sanidad. Si éstos no son adecuadamente descargados, se puede incrementar la contaminación del agua superficial hasta la subterránea (Harris *et al.*, 1999).

La preocupación ambiental tiene sus inicios en Estados Unidos en 1930, ésta ha generado que en muchos países como: Alemania, Francia y Suiza, se establezcan plantas de procesamiento con plantas de tratamiento de aguas (Foster, 1965).

Según Foster (1965) la conversión de las materias primas en productos acabados tiene siempre como resultado cierta cantidad de desperdicios. Los desperdicios pueden provenir de pérdidas involuntarias durante la elaboración o representar partes sin valor de la materia original.

Los desechos generados por la industria láctea están constituidos por una suspención o solución diluida de materia orgánica, sujeta a descomposición (Potter, 1973).

Estas aguas residuales de la industria láctea se pueden dividir en tres categorías: agua de enfriamiento, agua residual sanitaria y agua residual industrial usada en procesamiento (Bylund, 1996).

En Honduras la importancia de la producción de leche se puede ver en el Cuadro I, como ejemplo de fomento a la producción de leche tenemos a Lácteos de Honduras S.A. (LACTHOSA) división Sula y Leche y Derivados (LEYDE) que mediante el apoyo técnico a productores tratan de transmitir conciencia sobre la producción de leche higiénica.

Esta leche al ser procesada requiere de cierta cantidad de agua, se habla de 2 litros de agua por litro de leche según Bylund (1996) y que generarán como resultado de las actividades de transformación agua residual con altos índices de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Cuadro 1. Producción de leche en Honduras.

Año	*Leche entera en toneladas métricas*
1996	528,526
1997	524,000
1998	528,543

Fuente: http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl?subset=agriculture, (1999) adaptado por el autor.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Diagnóstico del uso de agua y los efluentes en la Planta de Lácteos para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.1.2 Específicos

- Determinar el volumen del agua residual diaria generada diariamente y evaluar su calidad en la Planta de Lácteos de Zamorano.
- Analizar la situación actual de la Planta para implementar medidas correctivas sobre el manejo de desechos y hacer recomendaciones en el procedimiento de limpieza.
- Proponer alternativas para la reducción significativa del promedio de m^3 de agua utilizada por día en los diferentes procesos en la Planta de Lácteos Zamorano.
- Diseñar un sistema de tratamiento de efluentes lácteos basado en la DBO.

1.2 LIMITACIONES

Hay limitaciones en lo que se refiere al número de muestras a analizar ya que sólo se tomarán 17 muestras que indican la variabilidad de composición y volumen del efluente de la planta.

Ciertas variables tienen dificultad de medición como el vapor usado en los procesos.

La variabilidad en la composición de los efluentes, debido a los productos en los que se utilizan subproductos como el suero y diferencia en producción diaria.

No haber realizado en forma piloto el diseño de tratamiento para realizar evaluaciones pertinentes y ajustes a los cálculos del mismo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Calidad de agua para plantas procesadoras de leche

Dentro de los procesos de la industria láctea el agua es un importante factor, ésta debe cumplir con estándares bacteriológicos y químicos según el lugar donde sea utilizada para evitar contaminación o que provoque olores, colores y sabores indeseables. (Vandenberg, 1988).

La dureza del agua debe ser suave, ya que afecta la eficiencia de los detergentes y libre de metales pesados, principalmente cobre, que puede desencadenar una reacción de rancidez de la grasa de la leche (Vandenberg, 1988).

El agua de Zamorano, proviene de nacimientos en el Monte Uyuca que es transportada mediante tubería al campus. Sus principales características se pueden ver en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Promedios de las concentraciones de algunos elementos evaluados en el agua del Zamorano de julio a octubre de 1993

Elemento evaluado	*Cantidad encontrada*	*Cantidad máxima permisible*
Dureza (ppm $CaCO_3$)	4-10	250
Azufre $S\text{-}SO_4^{-2}$ (ppm)	6-9	400
Sodio Na (ppm)	2-3	200
Potasio K (ppm)	< 2	2000
Calcio Ca (ppm)	< 3	75
Cobre Cu (ppm)	0-4.65	1
Zinc Zn (ppm)	0.03-5	5
Hierro Fe (ppm)	0.1-9.2	0.3
Plomo Pb (ppm)	0.006-0.01	0.05
pH	3.8-4.4	6.5-8.5

Fuente: Ing. Hilda Flores, Laboratorio de Suelos Agronomía EAP, 1999

2.1.2 Contaminación de fuentes de agua

Siendo el agua un factor principal en la vida cotidiana, el cuidado de mantener sus características es una responsabilidad de todos.

Fuentes, (1995) se menciona que factores como: el tiempo, estación del año, los días, la temperatura y los puntos de recolección de las muestras en una misma fuente afectan los resultados de la medición de la contaminación.

2.1.3 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación pueden provenir de dos formas principales según su origen que son contaminación puntual y no puntual

La contaminación del agua puede provenir de una alteración en sus propiedades y estos factores pueden ser de naturaleza física, química y biológica que constituyen las impurezas y con ellas la potencialidad de contaminación (Potter, 1986)

- Contaminación puntual

En Fuentes, (1995) se describe una fuente de contaminación puntual como aquellas que en su mayoría pertenecen a industrias que descargan sus efluentes a un sitio específico.

Ejemplos de esto son los excrementos de ganado que está bajo estabulación, industrias cárnicas y lácteas, almacenaje de plaguicidas y fertilizantes, como también restos de cosechas y agua residual de laboratorios de análisis de leche.

- Contaminación no puntual

Dentro de la contaminación no puntual no se puede asignar un lugar específico de la descarga contaminante hacia el lugar afectado, así la escorrentía de laderas y los plaguicidas utilizados en cierto lugar acarreados por una fuente de agua[1].

2.1.4 Tipos de contaminantes

Los contaminantes provenientes de la industria láctea pueden ser de tipo orgánico, inorgánico y organismos vivos (cultivos lácteos y otro tipo de microorganismos) que se incorporan al agua residual incidiendo en el nivel de contaminación.

[1] Moncada, J 1999 Tipos de contaminación y sus descargas, comunicación personal

- Contaminantes orgánicos

Un contaminante orgánico es cualquier material extraño al agua que fuera del tipo graso, proteico o carbohidrato que en solución se encuentra en el efluente (Foster, 1965).

Los contaminantes orgánicos se miden basados en su cantidad por unidad de volumen de agua residual y la forma más moderna es mediante la cromatografía líquida ó simplemente en forma de: DBO, Demanda química de Oxígeno (DQO), pérdidas por calcinación (% de Sólidos Totales) y Carbono Orgánico Total (COT) (Bylund, 1996).

En los efluentes municipales se encuentra en un 99.9% de agua con concentraciones relativamente pequeñas de materia orgánica disuelta y suspendida, normalmente constituida por carbohidratos, lignina, grasas, jabones, proteínas y sus productos de descomposición (Pescod, 1992).

- Contaminantes inorgánicos

Son en su mayoría sales minerales, detergentes y normalmente son detectados por medio de la composición iónica y concentración salina del agua, casi despreciables al momento de tratar las aguas a excepción de la reducción del nitrógeno, sales fosfóricas y metales pesados.

- Nitrógeno El nitrógeno en niveles de 20 a 100 mg/l presente en la forma de nitrógeno orgánico, amonio y nitrato. Su concentración afecta el crecimiento de las algas y microorganismos presentes en el efluente. Para el proceso de su desnitrificación es necesario la presencia de nitrato y carbón orgánico en condiciones anaerobias; en una relación de uno a uno. Por lo que este carbono orgánico debe ser incluido en el tratamiento.

- Fósforo Un efluente puede contener entre 5 a 50 mg/l de fósforo, dependiendo de la conversión que haya de fósforo orgánico a fosfato y también actúa a nivel sinérgico con el aluminio o hierro formando compuestos insolubles.

- Elementos traza y sales En estos se incluyen los metales pesados a bajas concentraciones los cuales constituyen un peligro si se infiltran a acuíferos subterráneos o contaminan el agua potable. Aunque las descargas industriales son altas, sus concentraciones normalmente están bajo los límites máximos (Pescod, 1992).

2.2 PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUA

2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se define DBO a la cantidad de oxígeno que microorganismos, (bacterias principalmente) toman del agua cuando realizan procesos de oxidación de la materia orgánica (Hach *et al.*, 1992).

Esta variable es medida por la cantidad de oxígeno consumido en cinco días por la descomposición de los componentes orgánicos en las aguas residuales a una temperatura de 20 °C (Bylund, 1996).

Dentro de una planta de tratamiento, la descomposición por aireación es la más importante para la operación del efluente para reducir la DBO en un 90%. En el Cuadro 3 se pueden observar los valores de DBO para algunos productos lácteos.

Cuadro 3. Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de algunos productos lácteos.

Producto	*DBO_5 mg/l*
Crema, 40 % grasa	400,000
Leche entera, 4% grasa	120,000
Leche desnatada, 0.05% grasa	70,000
Lactosuero, 0.05% grasa	40,000
Lactosuero concentrado, 60% MS	450,000

Fuente Bylund (1996).

2.2.2 Demanda Química de Oxígeno

Definida como la medida del oxígeno equivalente a la materia orgánica contenida en una muestra que es susceptible a la oxidación por un químico oxidante fuerte (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION *et al.*, 1992).

El consumo del oxidante proporciona una medida del contenido de sustancia orgánica y se convierte a la cantidad correspondiente de oxígeno, expresado el valor en mg/l (Bylund, 1996).

2.2.3 Turbidez

La claridad del agua es muy importante en la producción de productos dirigidos para humanos, bebidas, alimentos y plantas tratadoras de agua.

La turbidez es causada por la materia suspendida, sales, materia orgánica e inorgánica y se mide como la expresión de la propiedad óptica de transferencia de luz (AMERICAN PUBLIC ASSOCIATION *et al.*, 1992).

2.2.4 Sólidos totales

Los sólidos totales se expresan como el material residual luego de una evaporación de una muestra y su subsiguiente secado en un horno. En este se incluye el total de los sólidos suspendidos y el total de sólidos disueltos (AMERICAN PUBLIC ASSOCIATION *et al.*, 1992).

2.2.5 pH

Aunque el pH de un material de efluente puede dar resultados altos o bajos, debe ajustarse a la neutralidad. Así el pH óptimo para una oxidación bioquímica es el rango de 6.5 a 8.0 (Hach *et al.*, 1992).

El pH como un indicador de la acidez o alcalinidad del agua es un problema en si mismo, rangos de pH en aguas de irrigación van desde 6.4 a 8.4, fuera de este es un buen parámetro de que existe una anormalidad en la calidad del agua. (Pescod, 1992).

2.2.6 Temperatura

La velocidad de las reacciones bioquímicas es afectada por la temperatura y ésta es un factor muy importante en el crecimiento microbiano, así tasas de crecimiento se doblan por cada aumento de 10°C de la temperatura hasta alcanzar el valor óptimo según la clasificación de: psicrófilos, mesófilos y termófilos (Tchobanoglous, y Burton, 1996).

La temperatura está relacionada con una relación inversa a la solubilidad del oxígeno, no como un valor absoluto pero sí sólo como el cambio de la solubilidad con la temperatura (Winkler, 1986).

2.3 MEDIO AMBIENTE Y LA AGROINDUSTRIA

2.3.1 La industria láctea

El número de plantas procesadoras de leche ha incrementado, sin embargo, el flujo de leche a éstas escasamente llega al 30% de la producción nacional de la mayoría de los países; quedando un 70% restante para sistemas tradicionales de comercialización. (Revilla, 1996).

La industria láctea sigue la tendencia de centralizar sus operaciones, acumulando un mayor volumen de producto y así dificultar la eliminación de estos (Foster, 1965).

La industria lechera contamina su efluente con materia orgánica, nutrientes, químicos (amonia, nitratos, fosfatos detergentes) y organismos causantes de enfermedades (Harris *et al.*, 1999).

"El control y la evacuación de las aguas residuales es un problema de importancia en numerosas centrales lecheras. El volumen de residuos debe ser reducido al mínimo y aprovechar de ellos en la medida que sea posible" (Abdussalam, 1966).

En el Manual de Industrias Lácteas (Bylund, 1996) menciona que en la industria láctea es necesario controlar y prevenir el despilfarro de agua y producto en la planta de procesamiento.

Las técnicas para reducir este volumen son: control y mantenimiento de mangueras, mantener en buen estado los medidores de nivel de tanques de depósito, vaciar completamente las tuberías de producto antes de enjuagado con agua (Abdussalam, 1966).

Normalmente el vertido de las aguas residuales industriales está regulado legalmente y también la obligación de su monitoreo, para ser comparado a los estándares establecidos y realizar las medidas correctivas del caso (Bylund, 1996).

Industrias que descargan sus efluentes en posos de infiltración pueden afectar el agua subterránea, recargándola de microorganismos, sales, minerales y otros materiales que pueden afectar el uso presente y futuro del acuífero (Dorman, 1999).

2.3.2 Caracterización de efluentes lácteos

Los efluentes lácteos provenientes del proceso, limpieza o de enfriamiento difieren en sus características que normalmente están determinadas por:

- DBO
- DQO

En el Boletín FIL-IDF sobre los Efluentes de las Industrias Lácteas se informaba que el ratio DQO/DBO para los diferentes grupos de industrias Lácteas que producían leche líquida, mantequilla o queso oscilaba entre 1.16 y 1.57 y en otras de producción de leche en polvo, lactosuero deshidratado, lactosa y caseína variaba entre 1.67 y 2.34, mencionado por (Bylund, 1996).

Dentro de una caracterización de los productos típicos de una planta de lácteos su poder contaminante se puede medir mediante su DBO (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedio de pérdidas de leche o productos lácteos en diversas operaciones en una planta lechera.

Proceso o situación	*Unidades de peso DBO de desperdicio por cada 10,000 unidades de peso de leche*
Recepción y enfriamiento de leche	4
Leche entera derramada	2
Producción de requesón o de caseína	16
Helado de crema	4
Batido y lavado de mantequilla	2
Producción de leche con cultivos	5
Cuajada lavada queso americano	16
Suero ácido	8
Leche aromatizada	12

Fuente: Foster (1965) adaptado por el autor.

2.3.3 Efectos de descargar efluentes lácteos a una masa de agua

Los desperdicios lácteos están constituidos por una suspención o solución diluida de materia orgánica sujeta a descomposición. Dentro de los residuos se encuentra también una gran variedad de microorganismos (Foster, 1965).

Dentro de los componentes de la leche, la lactosa sufre una descomposición aeróbica donde la lactosa se convierte en glucosa y galactosa y en presencia de oxígeno pasa a dióxido de carbono y agua:

$$\text{(Lactosa) } C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 2C_6H_{12}O_6 \text{ (glucosa + galactosa)}$$
$$2C_6H_{12}O_6 + 12O_2 \longrightarrow 12CO_2 + 12H_2O$$

Para que se realice esta oxidación el oxígeno disponible depende de la temperatura, turbulencia y otros factores más, como promedio para los cursos de agua se habla de 7 a 8 partes por millón (ppm).

Así este proceso puede disminuir el nivel de oxígeno en los ríos o lagos donde se sobrecargan efluentes llegando a rangos peligrosos, (5 ppm) que causan un paro en la reproducción de peces y si es menor a 3 ppm puede provocar la muerte de peces y vida acuífera (Foster, 1965).

2.4 PLANTA DE LACTEOS DE ZAMORANO

Con el pasar del tiempo en Zamorano, la industria láctea ha progresado paulatinamente; la primera planta era rústica y estaba ubicada junto al establo. Contaba con el equipo mínimo de trabajo y no daba garantía para el proceso de la leche debido a su infraestructura y a la alta posibilidad de que ocurriera contaminación cruzada en el lugar.

En el año de 1988 se finalizó la construcción de la actual planta de lácteos Zamorano con una capacidad instalada de 10,000 litros de leche/día; su equipo es adecuado pero presenta errores en el diseño de sus drenajes y no posee un sistema propio de tratamiento de las aguas de desecho.

Dentro de la Planta de Lácteos los residuos que van como solutos en el efluente pueden clasificarse como: leche, crema, suero, cuajada, queso, empaques de diferentes tipos, residuos de mezclas y detergentes; los cuales mediante reacciones aeróbicas y anaerobias forman compuestos como CO_2, ácidos grasos, amoníaco, metano y sulfuro de hidrógeno.

En Zamorano estos residuos se los descargan a sistemas municipales de "aguas negras" o se destinan a lagunas de oxidación, quebradas y ríos. En el caso de la agroindustria de Zamorano mediante la cañería principal de Zootecnia se descargan los efluentes en la quebrada de la Chorrera que desemboca en el lago artificial del Titicaca.

En la Planta de Lácteos Zamorano el despilfarro de agua tuvo un índice de 18.97 litros de agua/ litro de leche para el año de 1998. Esta agua disolvía la concentración de solutos en el efluente. Que comparado al óptimo según Bylund, (1996) la relación agua/leche debe asemejarse a: 2.5 a 1.

La Planta de Lácteos Zamorano es la que genera efluentes con mayor DQO por descarga semanal y la tercera en lo que se refiere a la DBO. (Fuentes, 1995).

2.5 PRODUCTOS LÁCTEOS

"La leche se define según el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) como el producto íntegro, no alterado ni adulterado, del ordeño higiénico regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas, que no contenga calostro y que esté exento de color, olor, sabor y consistencia anormales" (Revilla, 1996)

Las características físicas y químicas de la leche y sus constituyentes afectarán en forma significativa las características del efluente y en las reacciones bioquímicas en que en presencia del oxígeno se efectúan. Un resumen de sus características se puede ver en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Principales características físicas y químicas de la leche de vaca

Característica	*Parámetro*
Materia grasa	3.5%, mínimo
Sólidos totales	12%, mínimo
Acidez	0.18%, máximo
*Proteínas (N*6.38)*	3%, mínimo
Cenizas	0.8%, máximo
Gravedad específica	1.032 kg/l
Viscosidad promedio	2.2 centipoises
Punto de congelación	−0.53 °C
Sedimentación en 473 cm³ de leche	2 mg

Fuente: Revilla (1996), adaptado por el autor.

2.5.1 Leches fluídas

Según Revilla, (1996) vario tipos de leches fluida existen, pero las utilizadas en la Planta de Lácteos Zamorano son:

- Leche entera: es aquella que mantiene sus componentes originales
- Leche estandarizada: es la que su porcentaje de grasa ha sido alterado, pudiendo ser mayor o menor que su original; en Centroamérica es aquella cuyo porcentaje ha sido ajustado al mínimo 3%. En el caso de la Planta de Lácteos Zamorano se refiere a la Leche especial que posee un 2% de grasa estandarizado.
- Leche descremada: con menos del 0.5% de grasa o conocida como suero de leche
- Leche compuesta o aromatizada: a esta se refieren a la leche que su sabor y olor han sido modificados, el ejemplo de la planta es leche con chocolate al 1.5% de grasa
- Leche acidificada: mediante la adición de un producto acidificante de un proceso de acidificación por microorganismos (cultivos lácticos o propios de la leche)

2.5.2 Mezclas

Dentro de esta categoría se agrupan las diferentes mezclas que se realizan en la Planta de Lácteos Zamorano y en otros sitios para la obtención de diferentes productos como: helados, cremas y mantequilla, cuyas principales características pueden resumirse en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Porcentajes de los componentes de los productos provenientes de mezclas

Componente	Producto			
	Helado Zamorano	*Crema ácida*	*Yogur con frutas*	*Mantequilla*
Grasa	*12%*	*>18%*	*0.5 – 3.8%*	*>80%*
Sólidos no grasos	*10 – 11%*	*8.2%*	*11 – 14%*	"
Estabilizador	*0.25 – 0.5%*	*0.5%*	*0.25 – 0.5%*	-
Sal	-	*1%*	"	*0.5 – 4%*
Frutas	-		*10 – 15%*	
Azúcar	*13 – 15%*		*6 – 7%*	
Agua	-		-	*16%*
Cultivo láctico	-	*2%*	*2%*	*0.76%*

Fuente: Revilla (1996), adaptado por el autor

2.5.3 Quesos

"El queso es un producto fresco o maduro de alto valor nutritivo, obtenido por la coagulación y desuerado de la leche entera, estandarizada, descremada o crema proveniente de algunos mamíferos principalmente las vacas" (Revilla, 1996).

La clasificación de los quesos se hace muy difícil debido al tipo de inóculo microbiológico, propiedades bioquímicas, físico - químicas y procesos mecánicos para su obtención.

Los quesos consumidos en Honduras son en su mayoría de tipo fresco cuyas principales características se pueden ver en el Cuadro 7. La leche utilizada artesanalmente en la producción de queso es de baja calidad un producto de calidad la leche requiere un porcentaje alto de proteína coagulable (Revilla, 1996).

Cuadro 7. Componentes porcentuales de los principales quesos en Honduras

Queso	Agua	Proteína	Grasa	Sal
Ahumado	34.5	30	21.5	4.5
Blanco, criollo	51	25	14.5	4.6
Crema	51	18	27	2.2
Quesillo	58	24	12	2.8

Fuente: Revilla (1996) adaptado por el autor

2.6 LEY AMBIENTAL DE HONDURAS

Dentro de la legislación hondureña existen leyes sobre el manejo y prevención de la contaminación las cuales son claras en sus multas a industrias que incumplan sus artículos.

2.6.1 Normas técnicas de las descargas de agua residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario

Estos artículos han sido publicados en: Comité técnico Nacional de Calidad del Agua, Honduras, 1997 y se describen.

Artículo 4 Toda persona natural o jurídica, pública o privada que realice actividades que generen descargas deberán cumplir las disposiciones descritas en las normas. Cuando las descargas no cumplen las normas deberán incorporarse las medidas correctivas que sean necesarias en un plazo no mayor de 18 meses a partir de la vigencia del presente Acuerdo (vigente desde diciembre 1997).

Artículo 6 cada descarga a un cuerpo receptor en forma directa o indirecta, deberá cumplir con las características físicas, químicas y bacteriológicas generales cuyos rangos y concentraciones máximas permisibles, se especifican (ver Cuadro 8).

Cuadro 8. Normas de calidad para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores y en el alcantarillado sanitario.

Parámetro	*Valor máximo permisible*
Temperatura	<25 °C
PH	6.00 a 9.00
Volumen descargado	<10% del caudal
Sólidos Sedimentables	1.00mg/l/h
Sólidos suspendidos	100.00 mg/l
DBO	50.00 mg/l, Max
DQO	200.00 mg/l, Max
Grasas y aceites	10.00 mg/l, Max
Nitrógeno total Kjeldahl	30.00 mg/l, Max
Nitrógeno amoniacal	20.00 mg/l, Max
Fósforo total	5.00 mg/l, Max
Sulfuros	0.25 mg/l, Max
Detergentes	2.00 mg/l, Max
Temperatura (agua residual)	<40 °C
PH (agua residual)	5.00 a 9.00

Fuente: Comité técnico Nacional de Calidad del Agua, Honduras (1997).

2.7 SISTEMAS DE TRATAMIENTO

El principal objetivo de un sistema tratamiento de aguas residuales es permitir que efluentes de casas e industrias sean depositados sin peligro para la salud humana (Pescod, 1992).

El tratamiento convencional de las aguas residuales consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para operaciones de remoción de sólidos, materia orgánica y algunas veces nutrientes del agua residual.

2.7.1 Tratamiento de desechos

Según Pescod, (1992) en términos generales existen varios niveles de tratamientos que son: tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario y técnicas avanzadas de tratamiento, como remoción de patógenos.

En la Figura 1 se puede apreciar en mejor forma una generalización de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

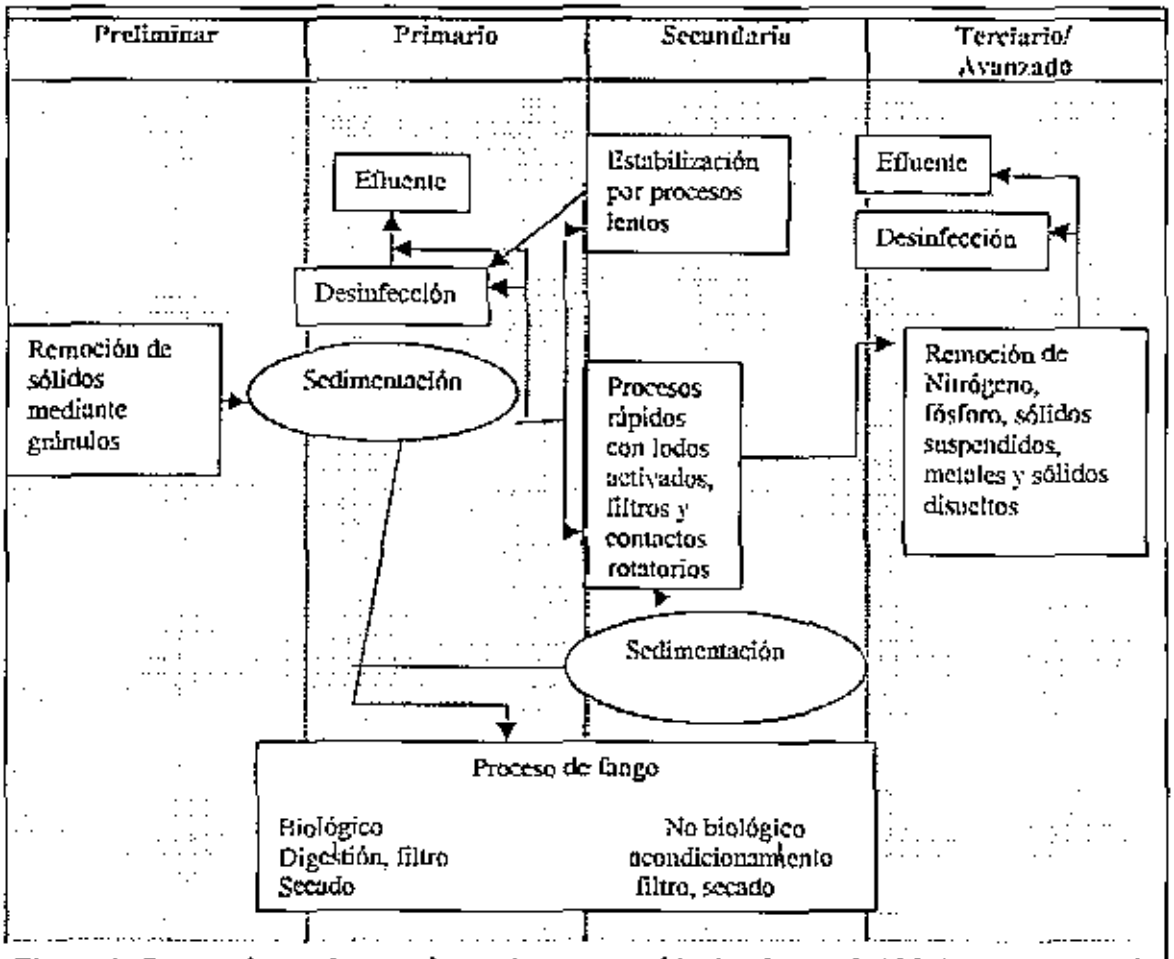


Figura 1. Secuencia en el tratamiento de aguas residuales (Pescod, 1992)

- Tratamiento preliminar Consiste en la remoción de los sólidos y de otros materiales grandes, esto se hace para mejorar la operación y mantenimiento de las subsiguientes fases del tratamiento, a veces se utiliza procesos de pulverización y filtros de gránulo grande, para detener la materia orgánica sólida.

- Tratamiento primario Su objetivo es remover los sólidos orgánicos e inorgánicos por medio de sedimentación y de los materiales que flotan por arrastre. Aproximadamente del 25 al 50% de la DBO, 50 al 70% de los sólidos suspendidos y un 65% de la fase de los lípidos son removidos.

- Tratamiento secundario Sirve para remover los sólidos restantes del tratamiento primario y los sólidos suspendidos, acompañado de un tratamiento de biodegradación mediante tratamientos biológicos, principalmente del tipo aeróbico cuyos productos inorgánicos son: CO_2, NH_3, H_2O. Los compuestos orgánicos que son desdoblados se refieren a los carbohidratos, proteínas y lípidos.

  A este nivel de tratamiento se usan los lodos activados, filtros de gránulos y biofiltros rotatorios (Pescod, 1992).

  La importancia del uso de los microorganismos en los procesos biológicos de tratamiento se debe a que se basan en procesos que se realizan en la naturaleza en ciclos de tipo aeróbico y anaerobio para que según el control de las condiciones del medio ambiente tengan características óptimas.

  Los microorganismos presentes en los efluentes requieren de condiciones favorables para su reproducción, temperaturas por debajo de su óptima tienen efectos más importantes sobre el crecimiento bacteriano que las superiores a ella. Así las tasas de crecimiento se doblan por cada aumento de 10°C de la temperatura hasta alcanzar el valor óptimo.

- De acuerdo a su clasificación en psicrófilas, mesófilas y termófilas, se puede observar en el Cuadro 9 (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

Cuadro 9. Intervalo de temperatura de crecimiento para las bacterias

	Intervalo	Temperatura óptima
Psicrófilas	-10 – 30	12 – 18
Mesófilas	20 – 50	25 – 40
Termófilas	35 – 75	55 – 65

Fuente: Tchobanoglous, G.y Burton, L. (1996)

- Tratamiento terciario Este es empleado en específicos tipos de componentes en aguas residuales donde se desea remover nitrógeno, fósforo, metales pesados y sólidos disueltos. (Pescod, 1992).

2.8 TRATAMIENTO POR OXIDACION BIOLOGICA DE FLUENTES

2.8.1 Procesos de tratamiento biológico

Para el tratamiento de las aguas residuales en forma biológica son varios los tratamientos que son utilizados los cuales se describen en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Procesos biológicos utilizados en el tratamiento de agua residual

Tipo Aeróbico	*Nombre común*	*Aplicación*
Cultivo en suspención	Proceso fangos activados	Eliminación DBO carbonosa, nitrificación
Cultivo fijo	Filtros percoladores	Eliminación DBO carbonosa, nitrificación
Procesos combinados	Biofiltros activados	Eliminación DBO carbonosa, nitrificación

Tipo Anaeróbio	*Nombre común*	*Aplicación*
Cultivo en suspención	Digestión anaerobia	Estabilización de la DBO carbonosa
Cultivo fijo	Filtro anaerobio	Estabilización de la DBO carbonosa
Proceso combinado	Procesos de una o varias etapas en estanques o lagunas aerobias	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación del fósforo

Fuente: Tchobanoglous.y Burton (1996)

2.8.2 Tratamiento de aireación mecánica de tanque receptor

En los sistemas de aireación se emplean dos tipos principales de equipos: aireadores de superficie de baja velocidad y aireadores de turbina sumergidos ya que son los adecuados para niveles de transferencia de oxigeno elevada.

- Airendor mecánico sumergido de eje vertical El aire u oxígeno puro se puede introducir por difusión en el flujo descendente de los aireadores radiales, en la zona situada por debajo de los impulsores, que se utilizan para dispersar burbujas de aire y

para mezclar el contenido del tanque. Su potencia puede ir desde 0.75kW hasta 100kW.

- **Aireador mecánico de eje horizontal** Son con forma de cepillo, promueve la circulación del agua y la aireación de los canales de oxidación debido al movimiento del cilindro que posee, este cepillo tiene piezas en forma de "L".

- **Aireador superficial de eje vertical** Estos promueven un flujo ascendente o descendente mediante un efecto de bombeo, pudiendo ser impulsores sumergidos o semi sumergidos conectados a un motor que puede ir sobre flotadores (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

2.8.3 Reología de fluidos

Dentro de las propiedades de un fluido está su número de Reynolds el cual identifica al flujo del fluido en dos grupos principales: laminar y turbulento según la ecuación 1. Esto es muy importante en el cálculo de la potencia necesaria para el proceso de mezclado del efluente. Donde a mayor velocidad y mayor turbulencia la eficiencia del mezclado será mejor. (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

$$N_r = D^2 n\rho / \mu \qquad [1]$$

D = diámetro del impulsor, m
N = revoluciones por segundo
ρ = densidad del fluido, kg/m^3
μ = viscosidad dinámica del fluido

2.9 MODELO AERÓBICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para el tratamiento de las aguas residuales existen cinco procesos básicos que son: Tamizado, desarenado, sedimentación, tratamiento químico y aireación. La secuencia en que éstos estén ordenados está determinado por el tipo y cantidad de agua residual que se vaya a someter a tratamiento (Bylund, 1996).

La capacidad del tanque se establece en función de la DBO_5 y del volumen diario de los efluentes en donde la forma de los tanques de aireación no parece ser relevante, no así la tasa de infiltración de oxígeno en la masa de agua y que su temperatura sea en promedio 30 °C que tenga menos del 9% de sólidos (Abdussalam, 1966).

2.9.1 Digestión de desechos sólidos

La digestión de los desechos de la industria láctea es la destrucción de la materia a sus compuestos básicos por medio de la degeneración biológica que se da en presencia del oxígeno donde se produce olores de baja adaptabilidad (Abdussalam, 1966).

Según el ciclo aeróbico que se presenta en un tanque de digestión existen dos fases de productos, la inicial donde el amoníaco, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno predominan hasta llegar a la fase estable donde se producen nitratos, dióxido de carbono y sulfatos (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

2.9.2 Fangos activados

Se denominan así a la acumulación de microorganismos activos capaces de transformar un residuo a sus componentes básicos por vía aeróbica donde se encuentran en suspención con el agua residual dentro de lo que se llama un reactor.

Los sólidos provenientes del agua residual constituyen su fuente de alimento y cultivo para su desarrollo y mantenimiento dentro del reactor.

2.9.3 Cálculos básicos

Para el diseño de un tratamiento aeróbico de aguas residuales es muy importante considerar la reducción porcentual de la DBO que uno desee, así según Abdussalam, (1966) se puede obtener reducciones de más del 95%.

Los cálculos básicos a que se refiere el modelo son:

1. Volumen de tanques receptores, sedimentadores, de homogenización, aireación, etc.
2. Potencia de motores requeridos para labores de aireación y mezclado
3. Datos del efluente en lo que se refiere a sus datos promedio y máximo de: volúmenes, DBO, sólidos totales, temperatura, pH (Tchobanoglous.y Burton, 1996; Abdussalam, M 1966).

2.9.3.1 Volumen del tanque receptor. Para el cálculo del volumen del tanque receptor se utiliza el dato del caudal en m^3 por segundo de efluente al día y su máximo y la concentración de DBO que se alcanza (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

La fórmula básica para cualquier cálculo de volúmenes de recipientes es la ecuación 2 ajustado por el factor de horas de trabajo o de llenado

$$V = Q * 3600*h \quad [2]$$

V = Volumen en m^3 del tanque
Q = Caudal en m^3/s del efluente

3600 = coeficiente de conversión en segundos/hora
h = horas de trabajo o llenado

También la magnitud de la carga horaria de DBO debe ser considerada para determinar el tiempo de permanencia en los tanques y esta se basa en la ecuación 3:

$$\text{Magnitud carga horaria kg/h} = (Xoc * Q * 3600) / 1000 \quad [3]$$

Xoc = concentración media de DBO en mg/l
Q = Caudal en m^3/s del efluente

2.9.3.2 Potencia de mezclado. Para el tratamiento de aguas residuales, el proceso de mezclado constituye un factor de éxito para completar los objetivos de:

- Formar una solución homogénea de sustancias
- Floculación
- Transferencia de calor.

La incorporación de aire en la mezcla acelera la digestión aeróbia conservando la suspención de microorganismos y uniformizar el calor interno.

El tiempo de retención dentro del tanque responde a la viscosidad e inversamente al caudal de ingreso, se puede ver en la ecuación 4 el gradiente de velocidad medio (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

$$G = \sqrt{P / \mu * V} \quad [4]$$

G = Gradiente de velocidad medio, s^{-1} P = Potencia necesaria, W
μ = Viscosidad dinámica V = volumen del tanque

El tiempo de retención se basa en la relación del volumen con el caudal (ecuación 5)

$$Gtd = (V / Q) * \left(\sqrt{P / \mu * V} \right) \quad [5]$$

Td = tiempo de retención
Q = caudal, m^3/h

Este tiempo depende en mucho de la digestión y reducción del oxígeno disuelto.

La potencia del motor requerido para el impulsor depende del Número de Reynolds y del diámetro de las propelas del impulsor, para esto las ecuaciones 6 y 7 funcionan según el fluido laminar o turbulento.

$$\text{Laminar: } P = k * \mu * n^2 * D^3 \quad [6]$$

$$\text{Turbulento: } P = k * \rho * n^3 * D^5 \quad [7]$$

P = Potencia requerida, W
κ = Constante
μ = viscosidad dinámica
ρ = densidad del fluido
D = diámetro del impulsor
η = número de revoluciones por segundo

Para el valor de *k* el valor a utilizar en los cálculos será de: 70 en flujo laminar y 4.8 en turbulento en una turbina de 6 palas curvas para asegurar la mayor velocidad, turbulencia por lo tanto mejor mezclado (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

El equipo de motor y turbina puede ser ejemplificado como en la figura 2

Figura 2 Equipo Tornado Acromix ® para el tratamiento de aguas residuales en bajas concentraciones de carga orgánica

Para el cálculo de los Sólidos Totales se utiliza la fórmula 8 dato en el que se incluyen sólidos suspendidos y sedimentables, estos participan en la formación del fango activado (AMERICAN PUBLIC ASSOCIATION *et al.*, 1992)

$$\text{Sólidos Totales (mg/l)} = (Pf\text{-}Pi)*1000/50 \quad [8]$$

Pf = peso final cápsula
Pi = peso inicial, cápsula seca

2.9.4 Difusores de aire

El fomentar un mezclado eficiente y condiciones aerobias necesarias para una oxidación adecuada del agua residual en el tiempo de tratamiento es esencial para el éxito del mismo (Carawan *et al.*, 1979).

Los difusores sumergido es una herramienta viable para introducir oxigeno a un tratamiento de aireación donde equipos porosos instalados en la base del tanque generan burbujas de tamaño medio a grande, con una eficiencia promedio del 37% (Tchobanoglous.y Burton, 1996)

Equipos NOPON® tienen una eficiencia alta en transferencia de oxígeno a la masa de agua residual con un gasto de energía bajo (0.6 a 0.8 kW/kg DBO) en base e difusores de placa de cerámica.

2.9.5 Problemática de olores desagradables

Olores de los productos de las reacciones aeróbicas dentro del tanque de aireación pueden crear problemas a la población circundante por lo que se recomienda una distancia de amortiguamiento según el tipo de proceso y características de la edificación de la industria.

En caso de tanques de aireación son 500 m de separación con referencia a la zona de producción (Tchobanoglous.y Burton, 1996).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACION GEOGRAFICA PLANTA DE LACTEOS ZAMORANO

Zamorano se encuentra ubicado en el kilómetro 30 vía a Danlí en la Carretera Panamericana en el Valle del Río Yeguare en el Departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Su ubicación cartográfica es: 13°55´ y 14°02´ latitud norte y 86°56´ y 87°03´ longitud oeste, su altitud es de 774 msnm con una precipitación anual de 1100 mm y una temperatura media anual de 24.4 °C.

La Planta de Lácteos Zamorano está en la zona de Zootecnia y se dedica a la transformación de leche proveniente de Establo Zamorano y de la sección de Doble Propósito Zamorano.

3.2 RECOLECCION DE DATOS DE VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL Y SU CALIDAD

Se recogieron los datos concernientes al efluente de la Planta de Lácteos durante los meses de mayo a agosto, ubicando el punto de muestreo en la caja de revisión del sistema de drenajes.

3.2.1 Número de muestras y su distribución

Se planificó un período de 17 semanas de observación de mayo a agosto, dentro de las cuales se aleatorizó los días de muestreo, siendo en total 17 muestras. .

El muestreo de estas cuatro semanas consistió en la recolección de los datos efectuando tres repeticiones por día de la semana.

Los días miércoles, jueves y viernes se consideraban como proceso normal sin mucha diferencia entre ellos, en cambio los días lunes y sábados diferían debido a la producción de queso y limpieza general respectivamente.

Los días asignados para el muestreo del efluente se pueden apreciar en el cuadro 11, cuyo objetivo principal era abarcar un rango amplio de variación para una mejor precisión en los resultados y en el diseño del sistema de tratamiento.

Cuadro 11. Fechas de la distribución del muestreo del efluente en la Planta de Lácteos Zamorano, 1999.

Mayo	Junio	Julio	Agosto
Miércoles, 5	Viernes, 4	Viernes, 16	Jueves, 5
Jueves, 6	Lunes, 14	Sábado, 17	Sábado, 7
Viernes, 7		Miércoles, 28	Viernes, 13
Sábado, 8			Sábado, 14
Jueves, 13			Lunes, 16
Lunes, 31			Martes,17
			Miércoles,18

3.2.2 Obtención de la muestra

La obtención de la muestra se realizaba en las horas de trabajo de la Planta, las cuales eran de 6:30 am a 2:30 pm, con un intervalo de recolección de 30 minutos.

Las muestras de este intervalo de tiempo eran recolectadas en recipientes plásticos que constituían las llamadas muestras simples, que eran transportadas luego al Laboratorio de Aguas del Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, para ser analizadas.

- **Muestra Simple** Para la recolección del agua residual se utilizó una jarra graduada de 2,000 ml para determinar el caudal en litros por segundo en tres repeticiones, luego se procedía a la medición de la temperatura, el oxígeno disuelto utilizando un medidor de oxígeno disuelto YSI modelo 50B y el pH con un equipo Fisher Digital pH meter 107

Para la medición de la turbidez del agua en unidades de NTU se usó un equipo graduado marca Del Agua

Las muestras se conservaron en cuarto frío en un rango de temperatura de 4 – 10 °C y con baja intensidad de luz.

- **Muestra Compuesta** A partir de las muestras simples se sumaron los caudales unitarios para realizar una proporción en base a 1,000 y 2,000 ml, dependiendo la disponibilidad de volumen de muestra simple; para obtener la cantidad de cada una dentro de la muestra compuesta, estos volúmenes se medían en probetas de 100 y 500 ml.

Esta muestra compuesta sirvió para realizar los siguientes análisis de: Sólidos Totales, Densidad, DBO y DQO.

3.2.3 Procesamiento de la muestra compuesta

La muestra compuesta con un volumen de 1,000 o 2,000 ml, dependiendo la disponibilidad del volumen de las muestras simples (max 530 ml) era sometida a los análisis convenientes para determinar el valor de las variables en el mismo día de realizado el muestreo.

3.2.3.1 Sólidos Totales. Se utilizó una cápsula de evaporación de vidrio Boro 3.3 (8mm) ser secada por una hora a 180°C en un horno WTB BINDER y pesada en una balanza METTLER TOLEDO AT 201. A esta cápsula se le agregaba 50 ml de muestra y se ponía en secado por: 10 a 12 horas a 103 °C y luego un secado final por una hora a 180°C. Enfriada en un desecador se obtuvo un peso constante y se aplicó la ecuación 8

3.2.3.2 Densidad. Utilizando una balanza METTLER TOLEDO AT 201 se registró el peso de un bicker de 50 ml y se añadía 50 ml de muestra y por división de la diferencia entre el peso final e inicial del bicker sobre el volumen utilizado se obtenía el dato.

3.2.3.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno. Para la determinación de esta variable se utilizó el método DBO_5 descrito en Standard Methods de APHA, AWWA y WEF 18^{ava} edición, con frascos de DBO marca WHEATON claros incubados a un rango de temperatura 19 – 21 °C en un equipo REVCO.

3.2.3.4 Demanda Química de Oxígeno. Para obtener esta variable se utilizaron volúmenes variables de muestra de 5 a 10 ml, dependiendo el grado de contaminación que la muestra presentaba. Se utilizaba el método de Reflujo Abierto descrito en Standard Methods de APHA, AWWA y WEF 18^{ava} edición en muestra por duplicado y blanco. Muy importante era controlar el titulante (FAS) $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2*6H_20$ en base una prueba de blanco de $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potasio).

3.3 EVALUACION DEL PROTOCOLO DE LIMPIEZA Y MEDICION DEL AGUA UTILIZADA

Denuro de la Planta de Lácteos se mantenía una serie de procesos dedicados a la limpieza de los equipos y de ella misma. Estos procesos y sus condiciones fueron revisados para realizar un diagnóstico de ellos y formular soluciones.

3.3.1 Medición del agua en diferentes procesos

Se definen los procesos generales que se realizan en la Planta Lácteos Zamorano, que son:

- Leches fluidas
- Mezclas
- Quesos

En los procesos el agua participa en varias funciones que eran:

- Agua de limpieza
- Agua de enfriamiento y calentamiento
- Agua en procesos

Para medir el agua se tomó mediciones del caudal en m^3 de cada una de las líneas de proceso que hay en la Planta de Lácteos haciendo tres replicas por cada línea.

La medición del caudal de agua para las mangueras se realizaba mediante el conteo del tiempo necesario para llenar un envase de 18 litros. Para los equipos con salida de aguas de enfriamiento se aplicó el mismo principio pero con un envase pequeño de 750 ml.

Para equipos de limpieza que se utiliza el volumen en su totalidad, se midió en el nivel de operación normal, ejemplos de esto son: el tanque de enfriamiento de tambos de cultivo láctico, el tanque para cloro de recepción, el tanque de detergente de lavado de tambos, el tanque de Lavado En Sitio en sitio (LES).

Para la determinación del consumo total en m^3 de agua por la Planta de Lácteos se utilizaron los datos proporcionados por Superintendencia de Zamorano del año 1998 como un estimado del gasto en 1999.

3.3.2 Evaluación del protocolo de limpieza

Para la realización del protocolo se tomaron medidas de la cantidad de detergente y cloro utilizándose en la planta, el pH de estas soluciones y la temperatura del agua.

Los tiempos utilizados en la limpieza de las líneas de producción para cada producto elaborado en éstas fueron considerados junto con la cantidad del agua que se utilizó.

Para evaluar la diferencia que se encontraba entre la utilización o no de pistolas en las mangueras dentro de los procesos de limpieza se registraron los caudales generados de cada manguera, su utilización en los procesos de limpieza y se comparó el efecto que esto tenía sobre el consumo total en m^3 de agua en la Planta en un período de 30 días.

3.4 SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para el diseño del sistema de tratamiento se tomaron en cuenta los datos promedio y máximos de las variables estudiadas:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- Sólidos Totales
- Caudal total y promedio por segundo
- Densidad aparente

El comprender la reología del agua residual de lácteos fue muy importante, por eso el Número de Reynolds [1] ayudó a planificar las necesidades de potencia de mezclado y aireación.

Los Sólidos Totales, fórmula [8], tienden a precipitarse al fondo del tanque de precipitación, por lo que su medición fue adecuada para predecir la cantidad de fango microbiano que se iba a crear y el tiempo necesario para que éste sea evacuado del tanque y que un efluente más limpio pase a aireación.

Los diferentes tanques receptores de efluentes se guían por la relación del caudal y un factor de 3600 para obtener un volumen en m^3 descritos en ecuación [2] que se complementa con la ecuación de carga horaria en kg donde se definió el tiempo de permanencia en los tanques.

La potencia del motor requerida por el mezclador / aireador fue calculada basándose en la reducción deseada de DBO en forma porcentual de 85 a 90% y al tipo de fluido del agua residual junto con las ecuaciones [4, 5, 6, 7].

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL Y SU CALIDAD EN LA PLANTA DE LACTEOS ZAMORANO

El volumen del efluente de la Planta de Lácteos es de 30.94 m^3 por jornada (6:30 am a 2:30 pm) con un coeficiente de variación del 44.11% lo que indica que la variabilidad es alta.

De la calidad del agua residual de la Planta se encontró que al comparar los datos obtenidos contra los exigidos por la ley, hay ciertos parámetros que se conservan en la media pero otros como la DBO sobrepasa en más del triple del rango permitido y la DQO presenta más del doble de proporción requerida.

Al evaluar las variables de Temperatura, NTU, pH, DBO, DQO, sólidos totales, densidad y relación entre DQO/DBO se encontraron los siguientes datos promedio y máximos (cuadro 12).

Cuadro 12. Resumen de los valores promedio obtenidos en los análisis del efluente de la Planta de Lácteos Zamorano.

Variable estudiada	*Valor promedio encontrado*	*Valor máximo encontrado*	*Valor permitido por ley de Honduras*
Temperatura	26.16 °C	29.1 °C	<25 °C
NTU	374	1089	--
pH	6.38	9.2	6.00-9.00
DQO	475.36 mg/l	878.4 mg/l	Max 200 mg/l
DBO	171.11 mg/l	433.6 mg/l	Max 50 mg/l
Sólidos Totales	1.4296 mg/l	2.6213 mg/l	--
Densidad	1.0014	1.0085	--
DQO/DBO	2.78	--	<2 óptimo*

*óptimo para el tratamiento eficaz de efluentes

Esta comparación contra los parámetros de la Ley de Honduras indica que existe un problema de contaminación dentro de las aguas residuales de la Planta de Lácteos Zamorano.

El promedio de temperatura alcanzado de 26 °C brinda un ambiente propicio para la degradación biológica del efluente al considerar las temperaturas óptimas para el desarrollo de bacterias mesófilas.

La variable temperatura depende mucho del origen del agua utilizada, picos altos de temperatura durante la eliminación del suero de queso en fundición y evacuando el agua caliente del tambo de cultivos de yogur influye en el oxígeno disuelto que presenta el efluente, ya que a una mayor temperatura el oxígeno disuelto disminuye.

La variable NTU como un indicador indirecto de la cantidad de sólidos suspendidos en el efluente se presenta en un rango medio con un coeficiente de variación del 62.77%, éste responde a la diversidad de baja transferencia de luminosidad de productos como yogur, suero de queso, ingredientes sólidos diluidos (chocolate, saborizantes y colorantes).

El pH promedio encontrado de 6.38 posee un coeficiente de variación del 18.55% que está dentro de la media de ley y también favorece al crecimiento microbiano como lo expresa Tchobanoglous,y Burton, (1996) en un rango de pH de 6.5 a 7.5.

Los resultados en las mediciones de la DBO presenta gran variabilidad. Esto parece tener su razón en la carga microbiana que se multiplica más rápido dependiendo del sustrato y las condiciones imperantes en ese día.

La DBO como se puede ver en la figura 3 tiene una distribución muy variable (coeficiente de variación del 66.25%) y responde al volumen de producción realizada en el día de muestreo y a los productos producidos en ese día (ver anexo I).

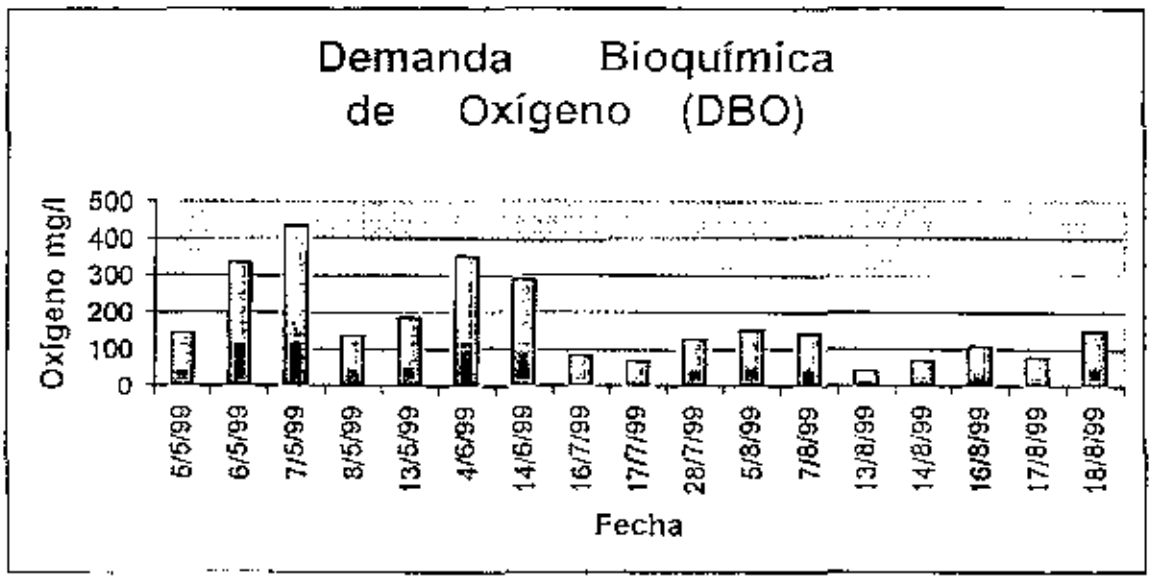


Figura 3. Distribución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las fechas de muestreo

4.2 UTILIZACION DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y SU RELACION CON EL PROTOCOLO DE LIMPIEZA

4.2.1 Agua utilizada en procesos, limpieza, enfriamiento

En este proyecto se clasificó uso del agua en: enfriamiento, procesamiento y limpieza para estimar el uso del agua por los estudiantes y trabajadores de la Planta.

Un resumen de los datos se puede observar en el Cuadro 13 los cuales provienen de un promedio de tres datos simples por producto básico de línea (Leches fluidas, Mezclas, Quesos) en un día común.

Cuadro 13. Volúmenes en metros cúbicos de agua utilizada en los procesos de productos básicos de la Planta de Lácteos Zamorano

			Metros cúbicos		
	Tipo	Peso en kg	Agua limpieza	Agua enfriamiento	Agua en proceso
Quesos	Queso Zamocriollo	136.3	0.97	0.74	--
	Queso Crema	253	0.85	0.57	--
	Queso Monterrey	141.5	0.92	0.5	0.01
	Promedio	176.93	0.91	0.60	0.01
Mezclas	Yogur natural	55	0.32	0.64*	--
	Helado Fresa	36	0.2	1.42	--
	Mantequilla	18	0.46	--	0.006
	Promedio	51.33	0.38	1.03	0.006
Leches Fluidas	Leche especial 1	360	0.63	0.57	--
	Leche chocolate	400	0.68	0.51	--
	Leche especial 2	176	0.42	0.12	--
	Promedio	312.00	0.58	0.40	

* Agua de calentamiento

Se puede observar que el agua de enfriamiento es muy importante dentro de los procesos constituyendo un 40% del total del muestreo y un 30 % del total consumido por la Planta[2] en los diferentes procesos de productos, donde el enfriamiento es de importancia constituye casi el 75% del agua medida en la muestra.

[2] Morales, M 1999 Utilización del Agua en la Planta de Lácteos Zamorano, comunicación personal

El agua de limpieza constituye en promedio el 60% del agua utilizada en la muestra y de un 65% en el total de la Planta[2] con excepción de procesos de mezclas donde la fabricación de helado representa un 25% del total.

Agua utilizada en la sección de recibo de leche para el lavado de tambos y del tanque receptor varía en un rango diario de 0.77 a 0.83 m^3, teniendo en cuenta el sistema establecido de lavado de tambos y no las irregularidades por mal uso de mangueras.

El consumo de agua en el Laboratorio es despreciable y un estimado correcto es de: 0.075 m^3, en baños de estudiantes el nivel de descarga se concentra en horas de entrada y salida (6:30 am, 10:20 am, 11:30 pm, 2:30 pm) siendo un aproximado 0.28 m^3 utilizados por día.

4.2.2 Evaluación del protocolo de limpieza de la Planta

Aunque están colocados avisos del procedimiento correcto de lavado y se impartieron charlas de limpieza a los participantes de los módulos en lo que se refiere a sanitización e higiene, se pudo comprobar que las prácticas correctas del protocolo y se cumplían en un 80% aproximadamente.

Las recomendaciones sobre el protocolo de limpieza se encuentran en el Anexo 3.

En el Cuadro 14 se pueden apreciar los distintos factores que participan en la limpieza y sus condiciones ideales a los cuales trabajan.

Cuadro 14. Comparación entre concentraciones y parámetros utilizados y los niveles óptimos de varios factores de limpieza.

Parámetro	*Nivel encontrado*		*Nivel óptimo*	
	pH	**Temperatura**	**pH**	**Temperatura**
Detergente alcalino	10.17	23.13	7.5 – 10.5	> 28
Detergente ácido	2.73	21.2	< 3.5	< 25
Cloro 200 ppm	4.63	22.4	> 6	20 25
Agua	5.8	24.4	5 - 7	< 25

Fuente: Niveles óptimos Childers (s.f.), adaptado por el autor.

El pH y temperatura de las soluciones presentaron un rango aceptable de trabajo comparado a los niveles óptimos de uso (Childers, (sf)), en cambio se vio deficiencias en lo que se refiere al tiempo de sanitización con cloro cuya concentración encontrada fue 228 ppm el tiempo variaba de pocos segundos a tiempos largos de 30 minutos.

El agua de la planta se encuentra dentro del promedio recomendado de uso, pero debido a sus valores en metales como: hierro, cobre afectan los procesos en diversas formas.

El hierro al acumularse en la tubería y luego usar esta agua en productos altera su conformación final; el cobre al ser un metal que favorece la degradación oxidativa de las grasas disminuye potencialmente la vida de los productos.

4.2.3 Volumen de agua utilizado en 1998

Debido a que no ha habido un importante cambio de manejo dentro de la planta a nivel administrativo, las prácticas de producción pueden ser muy parecidas, por eso se utilizó el volumen de agua utilizado en el año de 1998 que da una idea de la distribución de su uso en el año de 1999 y a la producción del mismo.

La planta en 1999 recibió leche únicamente del Establo Zamorano y debido a la información proporcionada los meses de octubre a diciembre se efectuó un estimado por regresión lineal obteniéndose un $R^2 = 0.66$ con los datos que se pueden ver en la Figura 4.

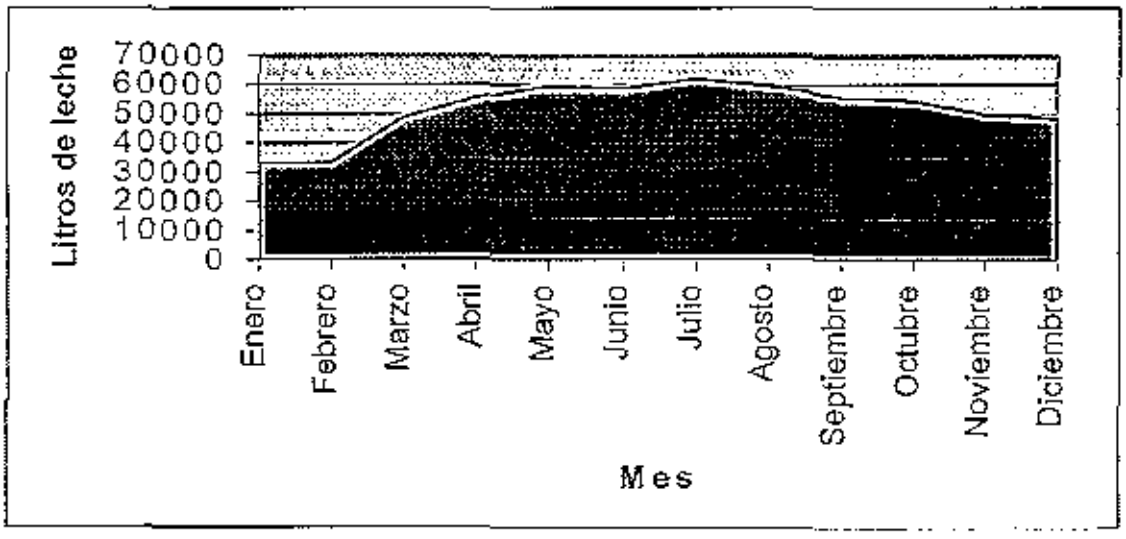


Figura 4. Litros de leche enviados por el Establo Zamorano a la Planta de Lácteos
Fuente: Establo Zamorano, adaptado por el autor

La relación que lleva con el consumo del agua se puede ver que es muy parecida, siendo los picos en la producción y menor volumen al decrecer la producción, esta tendencia se puede confirmar en el volumen de agua utilizado fue obtenida de las lecturas de la oficina de Superintendencia de Zamorano la que se puede observar en la Figura 5.

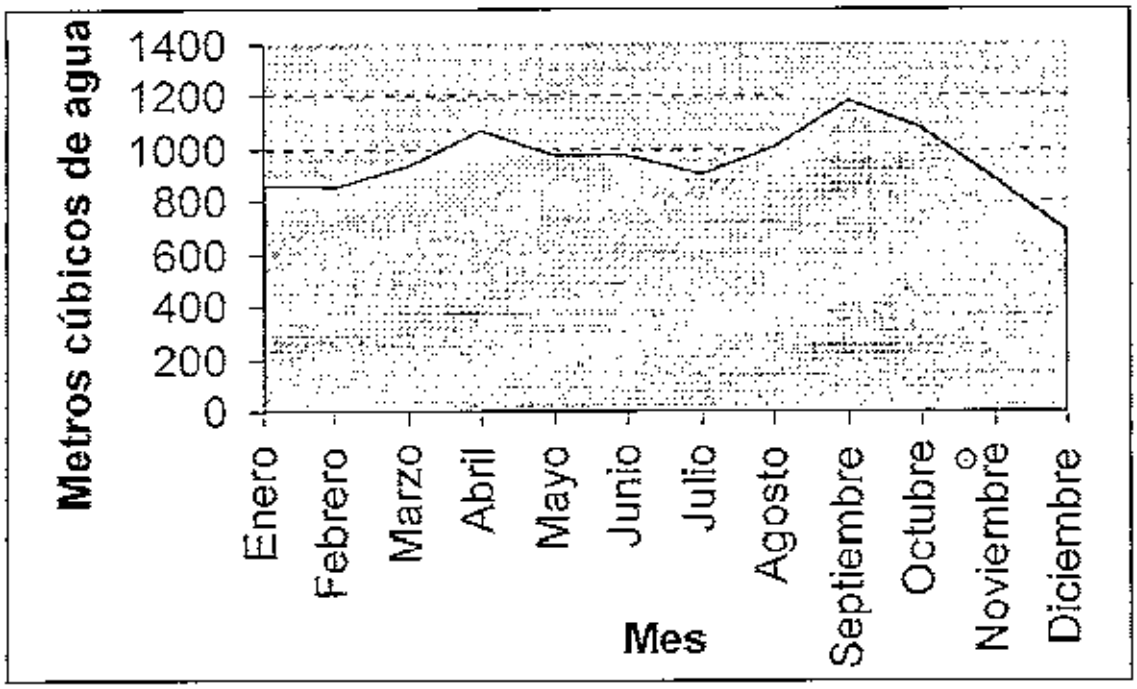


Figura 5. Metros cúbicos de agua utilizada por la Planta de Lácteos en 1998
Fuente: Superintendencia de Zamorano (1999) adaptado por el autor
®Promedio ponderado de meses >1000 m³, para evitar efecto del Mitch (149.9 m³)

4.2.4 Medidas correctivas implementadas y su efecto en el volumen total de agua utilizado

A la par de las charlas que se impartían a cada módulo de estudiantes de tercer año a cargo del instructor de turno se llevaron a cabo varios cambios dentro de la estructura de la planta, para esto se determinó la funcionalidad de cada una de las mangueras existentes y se evaluó la cantidad de detergente / cloro (ppm) que se utilizaba en las labores de limpieza, ver cuadro 15.

Cuadro 15. Promedios de peso de detergente y partes por millón (ppm) de cloro utilizado en labores de limpieza en la Planta de Lácteos Zamorano

Concepto	*Promedio encontrado*	*Optimo a utilizar*
Detergente alcalino Vartel	86 g / 20 l	70 g / 20 l de agua
Detergente alcalino Xedex	76 g / 20 l	72 g / 20 l de agua
Detergente ácido	3.75 cc / 10 cc solución	2 cc / 10 cc solución
Cloro (65%)	228 ppm	200 ppm

Dentro de las medidas correctivas para la disminución del uso de agua en las prácticas de limpieza se colocaron pistolas en las seis mangueras de procesamiento, además, se retiraron tres mangueras no funcionales y fueron reemplazadas por tubería y llaves de paso.

Luego de los cambios realizados se midieron los nuevos caudales con un total de datos hacia arriba y abajo de la fecha de cambio (16 de junio), estos caudales con el uso de pistolas no fue significativa la reducción en el volumen total de la planta en promedio 3.32 m³ a P=0.20 (ver anexo 2).

4.3 DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE LACTEOS ZAMORANO

Para el diseño del sistema se planteó una modificación a un sistema de aireación descrito en Tchobanoglous.y Burton, (1996) y en Pescod, (1992), trabajando ahora con un implusador de seis aspas sumergido en un tanque de aireación y con difusores sumergidos NOPON® de aire.

Este sistema compuesto por dos tanques recibirá la descarga de agua residual del efluente de la Planta de Lácteos Zamorano para pasar a sedimentación de sólidos y luego al proceso de aireación/mezclado para finalizar mediante una válvula de descarga controlada en la línea de aguas residuales de Zootecnia.

Para la construcción de los tanques en forma simple se debe previamente cavar en la tierra en forma de cumplir con los requerimientos de volumen con paredes de ladrillo y revestimiento de cemento con protector de polímeros para evitar fugas de humedad

Para el entendimiento del sistema un esquema básico del sistema se propone en la Figura 6 sin escala específica.

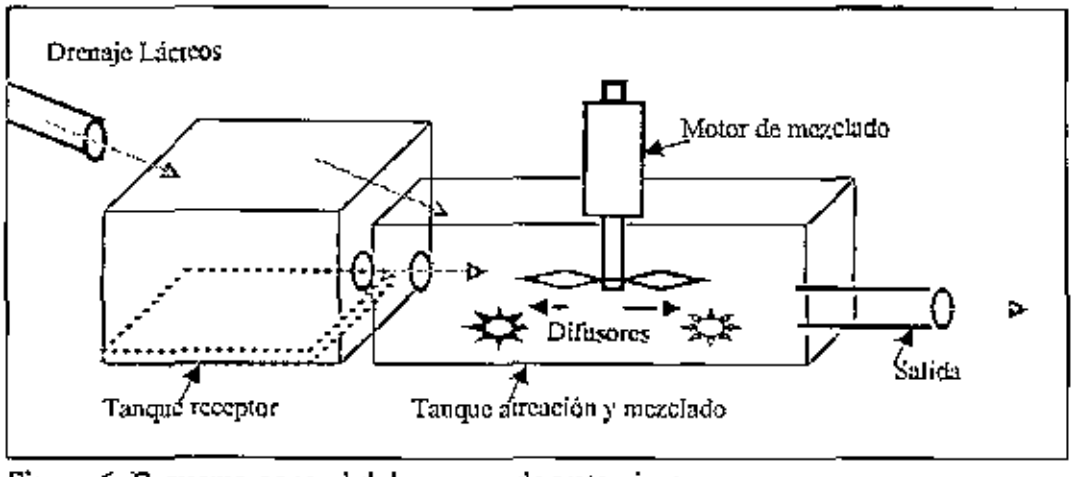


Figura 6. Esquema general del proceso de tratamiento.

4.3.1 Tanque receptor

El Tanque receptor de efluentes debe ser conectado con la línea de salida del drenaje de la Planta de Lácteos y es de forma trapesoidal (Figura 7) con un volumen de 15.47 m³ (según la fórmula 2) con dimensiones que se pueden ver en el cuadro 16.

Las dimensiones del tanque responden a un tiempo de llenado esperado de cuatro horas para luego dar paso al tanque aireador, con dos salidas, una de las cuales es una válvula de 4 pulgadas conectada al final del tanque a una altura de 0.45 m para el desalojo completo del tanque

Cuadro 16. Dimensiones del tanque receptor

Forma		*Volumen*
Triángulo	10% volumen	1.55 m³
Rectángulo	90% volumen	13.92 m³
Triángulo	Largo	0.44 m
	Ancho	2 m
	Profundidad	1.75 m
Rectángulo	Largo	4 m
	Ancho	2 m
	Profundidad	1.75 m

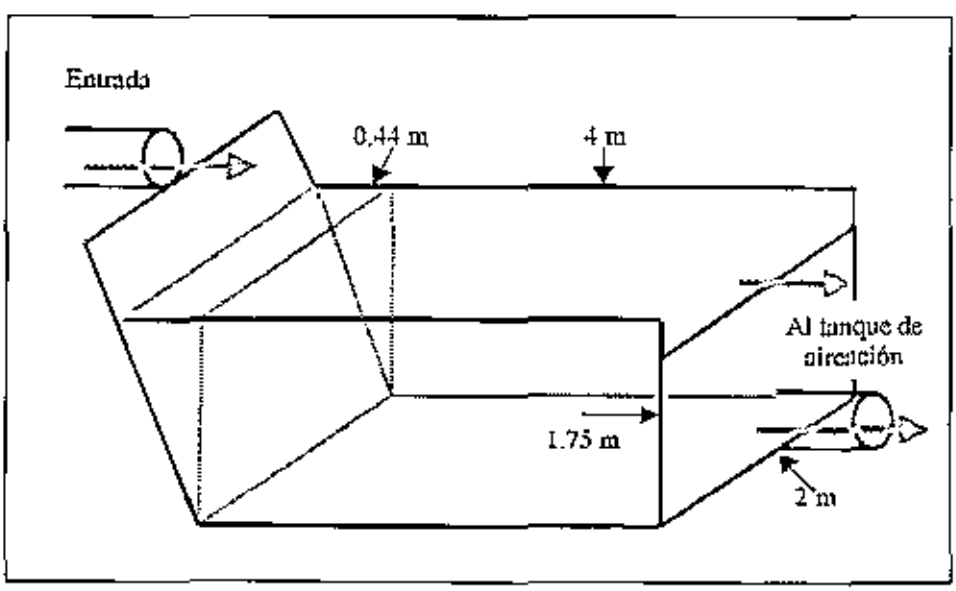


Figura 7. Esquema del tanque receptor.

4.3.2 Recolector de sólidos sedimentables

Este recolector es una canastilla de acero inoxidable de dimensiones ancho y largo iguales al tanque receptor con una altura de 0.39 m lo que resulta en un volumen de 3.1m³, que está incluida en el tanque receptor como la Figura 8.

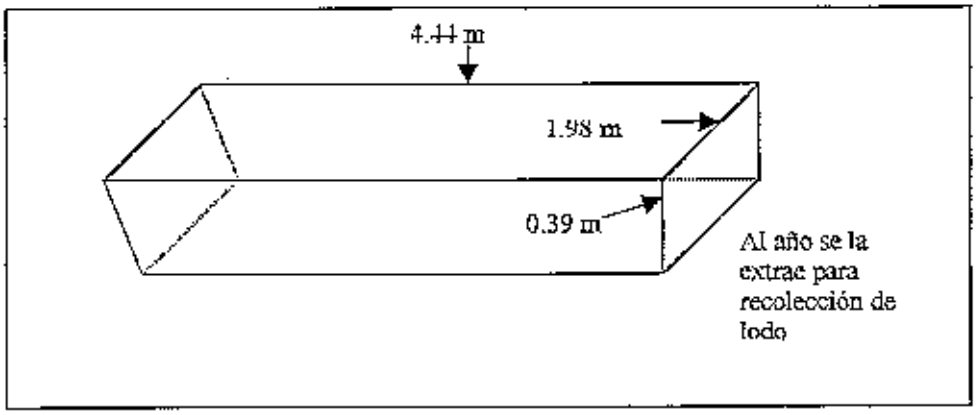


Figura 8. Canastilla de acero inoxidable para recolección de sólidos sedimentables

Esta canastilla tiene la finalidad de recolectar los Sólidos que se puedan precipitar por efecto del tiempo de permanencia en el tanque receptor y está planificado para que cada año se le dé mantenimiento a sus 53.1 kg de capacidad.

Los sólidos obtenidos de esta canasta pueden ser secados e incorporados al suelo en forma de abono orgánico y puede ser parte de una compostera como se describe en Carawan *el al.*, (1979).

4.3.3 Tanque aireador/mezclador

El tanque aireador/mezclador es el componente más importante del sistema ya que en el se incorpora el oxígeno que en forma de DBO es necesitado para que se den las reacciones de degradación de materia orgánica.

Con los datos del anexo 2 se determina un volumen del tanque de 44.55 m³ en base a la descarga diaria con un rango de seguridad igual al coeficiente de variación de la variable (44%).

Su forma es rectangular en donde en su superficie se encuentra un soporte para el motor mezclador y en su base se encuentran dos difusores de aire NOPON® (Figura 9), sus dimensiones son:

Largo = 8 m
Ancho = 2.80 m
Profundidad = 2 m

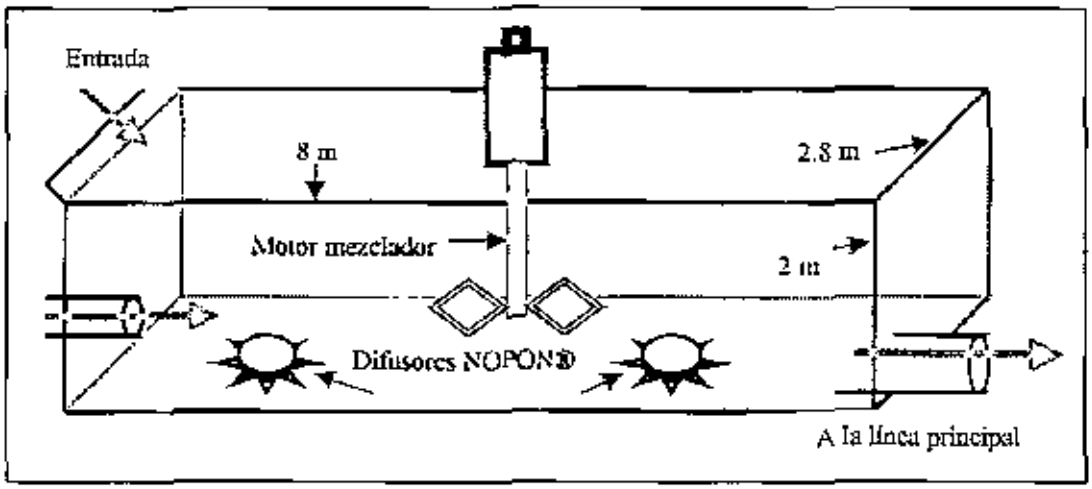


Figura 9. Esquema del tanque aireador/mezclador

Este tanque de aireación al recibir la carga acumulada del día funcionaría por 16 horas (14:30 a 6:30) incorporando 1.12 kg de O_2 por jornada mediante dos difusores de aire NOPON® con una eficiencia de 34% en burbuja grande (>4mm) esto significa tener un gasto energético de 3.3 kg O_2/kW.

La necesidad de oxígeno de 1.12 kg es determinada según la carga horaria de DBO (fórmula 3) y ajustada por la eficiencia que pueden tener los difusores de aire.

El mezclado en el tanque basado en ecuaciones del Gradiente medio de velocidad y Tiempo de detención es de 7.57 segundos cada media hora durante las 16 horas de tratamiento con una frecuencia de 30 minutos.

4.3.4 Potencia de motores necesaria

Las características encontradas del agua residual, en lo que se refiere a temperatura, viscosidad determinan los valores de las variables físicas que intervienen, un resumen en el cuadro 17

Cuadro 17. Resumen de datos necesarios para el cálculo de potencia de motores

Concepto	*Valor*
Viscosidad a 26.16 °C	0.889 N*s/m²
Densidad	1001.5 kg/m³
Número de Reynolds	3041 laminar interface

La potencia a 450 r.p.m. como la velocidad de mezclado, 0.60 m diámetro del rotor de seis paletas se obtiene en base a la ecuación [6] una necesidad de 1.0 HP pero con un rango de seguridad del 20% se tiene un motor comercial de 1.5 HP

4.3.5 Válvula de salida

Una vez que el agua residual ha pasado por el tratamiento de aireación por 16 horas se la elimina por una válvula de 6 pulgadas de apertura manual calculada para descargar en ocho horas a una tasa de 4 m^3/h el agua tratada a la línea principal de Zootecnia Zamorano.

5. CONCLUSIONES

1. La variabilidad del volumen de agua residual de la Planta de Lácteos Zamorano es alta y se debe a la variedad de productos que en ella se elaboran y al proceso de limpieza utilizado

2. Siendo la DBO y DQO variables que diagnostican la contaminación de aguas la Planta de Lácteos Zamorano posee valores que sobrepasan los admitidos por la ley Hondureña.

3. En lo que se refiere a la utilización de agua dentro de la Planta de Lácteos Zamorano es muy ineficiente, aunque se han aplicado medidas correctivas para la disminución del volumen total de agua.

4. Productos con un alto contenido graso, suero y yogur tienen influencia directa en generar picos de DBO dentro del efluente junto con un alto grado de turbidez.

5. Un incremento de la producción no afectaría en el volumen de agua utilizada en la limpieza pero si aumentaría directamente en el consumo de agua de enfriamiento.

6. El manejo de detergentes y sanitizantes muestra un manejo aceptable parar cumplir las normas de higiene aunque no se cuente con dispensadores adecuados.

7. El diseño del sistema de tratamiento de efluentes se muestra como una alternativa técnicamente viable a largo plazo, siendo su factor limitante el volumen de leche que se procesa actualmente.

6. RECOMENDACIONES

1. Implementar un mejor manejo de desechos mediante la capacitación del personal de la Planta de Lácteos Zamorano en lo que se refiere a la higiene y su importancia en la seguridad de alimentos

2. Utilización de dosificadores para detergentes y sanitizantes según las recomendaciones del fabricante para evitar el desperdicio de agua en los procesos de limpieza

3. Colocación de filtros para tratamiento de agua potable para evitar que el bajo pH de ésta corroa el metal y extraiga metales que pueden ser incorporados a los productos lácteos

4. Realizar un control periódico del efluente para registrar variaciones y así diagnosticar el manejo de residuos y la contaminación que esto conlleva

5. Reciclar el agua de enfriamiento en los equipos para así destinarla a operaciones de limpieza mediante su recuperación en los canales de drenaje.

6. Construir de manera piloto el sistema diseñado para corregir los cálculos, revisar el manejo de residuos y implementar mantenimientos a las trampas de sólidos de los drenajes de la Planta Lácteos Zamorano.

7. BIBLIOGRAFIA

ABDUSSALAM, M. 1966. Higiene de la Leche FAO, OMS, Suiza p 558-571

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIORONMENT FEDERATION, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th ed. American Public HealthAssociation Washington, EE.UU. paginación irregular.

BYLUND, G 1996 Manual de Industrias Lacteas Tetra Pak Processing Systems Trad. Antonio Lopez Gomez Iragra S.A. Madrid, España 425p.

CARRAWAN, R; CHAMBERS, J; ZALL, R. 1979. Dairy processing water and wastewater management The North Carolina Agricultural Extension Service, EE.UU. Report AM-18B 175p.

CHILDERS, A.B. s.f. Enviornmental Hygene for Food Production Texas A & M, EE.UU. Food Safety Education Program 31p.

COMITE TECNICO NACIONAL PARA LA CALIDAD DEL AGUA (CTN-CALAGUA-CAPRE). 1997. Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable: Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Público Tegucigalpa, Honduras Decreto N° 058

DORMAN, D. 1999. Understanding the Water System University of Georgia sitio de internet: http://www.ces.uga.edu/pubcd/c819-7w/html#Industry2

FOSTER, E. 1965. Microbiologia de la Leche Trad. Ramón Palazón Editorial Herrero México, México p 454 473

FUENTES, M 1995 Evaluacion de la Calidad de Aguas Residuales de la Agroindustria Pecuaria de Zamorano Tesis Ingeniero Agrónomo Zamorano, Honduras 175p.

HACH, C. C.; KEIN, R jr; GIBBS, C. 1992. Introduccion to Biochemical Oxygen Demand Hach, EE.UU. Technical Information series-Booklet #7 p. 5-8.

HARRIS, B.L; HOFFMAN D.W; MAZAC; F.J. 1999. Reducing Contamination by Improving Milking Center Wastewater Treatement sitio de internet: http://waterhome.tamu.edu/texasyst/milking.html

PESCOD, M.B. 1992. "\Wastewater treatment and use in agriculture". Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Irrigation and Drainage Paper Roma, Italia No.47. 125p.

POTTER, N. 1973. Food Science 4th AVI Publishment New York, EE.UU. 735p.

POTTER, N. 1986. La Ciencia de los Alimentos Traducido por:. Yates, A. Edutex México D.F, México 769p.

REVILLA, A. 1996. Tecnología de la Leche 3era edición revisada, Zamorano Academic Press Zamorano, Honduras 396p.

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, L. 1996. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I Traducido por Montsoriu, J. Metcalf & Eddy, Inc. McGraw-Hill Publications/Interamericana Editores, S. A. de C. V. México D.F, México. 752p.

VANDENBERG, J. 1988. Dairy Technology in the Tropics and Subtropics Pudoc Wageningen, Holanda p 70-73

WINKLER, M.A. 1986. Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho Editorial Limusa México, México p 52-53

8.ANEXOS

Anexo 1. Cuadros de Demanda Biológica de Oxígeno y Cuadro de muestra compuesta

7/5/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.19	25.6	8.45	900	7.75	color gris
7:30	0.49	24.8	9	180	6.65	
8:00	0.85	26.8	88	2000	4.45	yogur
8:30	0.546	25.9	9.06	200	5.15	
9:00	1.14	28.1	8.14	495	6.75	mantequilla
9:30	2.24	22	10.46	2000	5.85	
10:00	1.23	27.2	8.48	22	5.15	
10:30	1.68	27.2	9.25	400	6.15	
11:00	1.95	26.6	8.4	6	4.85	limpieza
11:30	1.36	24.8	9.52	9	5.9	
12:00	2.44	24.4	9.77	400	7	leche especial
12:30	2.39	24.6	9.98	150	8.1	
13:00	3.21	26.5	8.7	2000	7.05	
13:30	1.8	32	7.34	600	7.75	
14:00	4.42	25.7	9.15	120	9.25	
Total	25,936					
Promedio	1.729066667	26.23	13.98	632	6.587	

8/5/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.6025	25.3	8.82	800	10.15	limpieza recep.
7:30	5.3783	27.3	9.02	125	9.65	
8:00	0.8464	25.2	10.62	200	8.4	
8:30	0.9174	25.5	8.68	180	6.15	
9:00	0.7026	26.7	8.96	300	6	
9:30	0.7299	28.9	8.63	180	6.56	
10:00	0.8051	20.7	8.02	500	5.6	
10:30	1.469	27.3	10.42	35	6.3	
Total	11.1482					
Promedio	1.39365	25.86	9.146	290	7.101	

13/5/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.1646	33.5	7.14	17	5.35	
7:30	0.59	24.6	9	18	5.1	
8:00	0.23	28.5	8.08	12	5.55	
8:30	0.26	28.4	8.02	39	5.95	
9:00	0.88	25.3	9.31	180	5.95	
9:30	0.75	25.2	9.51	400	5.85	
10:00	0.661	31.3	7.77	480	10.15	limpieza
10:30	0.6593	27.5	8.74	25	5.45	
11:00	0.84	28.6	8.58	30	4.45	
11:30	2.89	29.1	7.92	125	5.65	
12:00	1.86	29.8	8.49	75	5.2	
12:30	1.7	25.1	8.76	80	5.05	
13:00	2.78	30.4	8.38	65	5.95	
13:30	1.12	30.5	8.55	300	7	
14:00	3.02	26.1	8.71	75	9.5	
14:30	2.44	24	9.64	220	9	
Total	18.1949					
Promedio	1.212993333	27.99	8.538	134	6.322	

4/6/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.472	23.6	10.95	75	5.25	
7:30	0.868	25.6	9.99	60	5.2	
8:00	0.832	24.3	11.28	2000	7.05	queso tesis zamorel
8:30	0.883	25.8	10.85	150	5.35	
9:00	1.079	26.2	11.01	7	4.8	
9:30	1.034	26.1	11.13	90	5.7	
10:00	1.345	25.8	9.36	250	6.3	
10:30	1.282	26.4	10.18	250	6.35	
11:00	2.264	30.7	8.57	310	6.4	helado
11:30	1.64	30	7.34	48	5.3	
12:00	1.438	26	7.8	80	5	
12:30	2.158	25.4	7.59	150	7.03	
13:00	1.954	29	7.93	35	6.85	
13:30	3.141	28.9	8.57	750	9.9	limpieza
Total	20.39					
Promedio	1.456428571	26.7	9.468	304	6.177	

14/6/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.61	26.3	10.7	7	6.05	
7:30	0.73	26.9	10.65	5	4.85	
8:00	0.88	29.2	10.79	1500	5.45	
8:30	0.93	25.1	12.45	400	5.4	
9:00	0.84	26.5	8.02	15	5.05	
9:30	1.16	26.9	8.39	150	4.8	
10:00	1.18	27.4	12.14	150	6.9	grasoso amarillo
10:30	1.5	26.7	12.56	250	6.41	
11:00	1.39	28.5	13.63	63	6.85	
11:30	0.57	28.9	18.23	15	7.2	
12:00	0.53	28.6	18.38	80	7.45	
12:30	0.49	25.9	9.72	7	6.7	
13:00	2.12	25.9	8.98	15	7.35	
13:30	1.89	26.27	8.46	100	6.65	
14:00	1.75	25.9	7.47	2000	5.1	
Total	16.55					
Promedio	1.103333333	27	11.37	317	6.147	

16/7/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.29	23.7	7.51	45	9.1	
7:30	0.32	24.3	7.15	85	7.35	
8:00	0.85	27.8	6.11	300	7.6	detergente xerex
8:30	0.106	23.5	7.16	2000	6.6	
9:00	0.628	24.7	7.19	1500	6.65	
9:30	0.83	27.1	5.95	15	4.3	agua lavado
10:00	1.32	27.2	9.57	63	4.55	
10:30	1.496	27	8.98	35	3.8	yogur cultivo láctico
11:00	0.899	25.4	8.7	150	4.15	
11:30	1.24	29.6	8.16	150	6.3	
12:00	0.83	23.7	9.39	35	4.8	
12:30	0.996	24.6	8.91	2000	6.85	
13:00	0.783	32	7.25	2000	6.4	suero
13:30	1.21	28.2	8.8	150	5.25	lavado quesos
14:00	0.86	24	5.86	150	10.35	limpieza
Total	12.658					
Promedio	0.843866667	26.19	7.779	579	6.27	

17/7/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0	0	0	0	0	
7:30	0.018	23.7	8.7	2000	6.4	lavado recibo
8:00	0.029	24	8.97	2000	4.05	fundición zamorel
8:30	0.029	23.4	8.4	87	4.9	
9:00	0.062	25.2	9.08	2000	6.45	
9:30	0.043	30.9	7.28	35	4.95	
10:00	0.017	26.8	8.45	1500	8.25	
Total	0.198					
Promedio	0.028285714	22	6.983	1089	5	

28/7/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.28	23.9	8.9	250	5.85	
7:30	0	0	0	0	0	
8:00	0.83	38.8	4.49	150	4.25	
8:30	0.82	25.6	8.73	87		
9:00	2.91	26.1	7.74	400		
9:30	0.85	22.6	8.36	150		
10:00	2.16	26.9	7.87	150		
10:30	2.96	25	7.48	150		
11:00	2.42	29.3	7.8	2000		
11:30	1.78	27.5	7.38	250		
12:00	1.5	28	6.98	7		
12:30	2.21	27.1	6.59	150		
13:00	2.6	28.7	8.18	35		
13:30	8.22	25.7	7.54	87		
14:00	1.56	28	7	150		
14:30						
Total	31.2					
Promedio	2.08	25.55	7.003	268	3.367	

5/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.085	23.4	8.88	150	7.4	queso crema
7:30	0.78	24	8.81	150	4.7	queso cabañas
8:00	0.7	24.4	6.47	400	5.1	
8:30	0.85	24.5	6.27	500	7.45	leche especial
9:00	0.79	24.4	7.05	250	4.45	
9:30	1.21	26.7	6.67	200	4.55	
10:00	1.27	23.7	7.78	150	9.5	
10:30	2.03	22.9	7.73	88.5	6.25	
11:00	0.68	28.6	8.28	400	4.4	
11:30	0.625	28.9	8.67	35	6.75	helado
12:00	0.42	26.5	12.34	35	6.35	
12:30	0.47	29	10.1	500	7.45	
13:00	0.56	27.2	10.09	62.5	5.85	
13:30	0.76	24.9	8.51	150	6.65	
14:00	0.83	28.8	6.71	35	5.5	
Total	12.06					
Promedio	0.804	25.73	8.291	207	6.157	

7/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.061	21.8	7.34	35	9.85	
7:30	0.72	17.8	7.72	2000	9.95	limpieza cuarto frío
8:30	0.86	22	8.88	25	6.35	leche
9:00	0.05	21.2	9.4	35	5.42	temp alta
9:30	0.89	26	8.27	150	3.95	
10:00	1.02	22	8.48	150	6.43	
10:30	0.09	28.6	6.66	15	4.72	limpieza
Total	3.691					
Promedio	0.527285714	22.77	8.107	344	6.667	

13/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	0.3513	23.7	8.47	80		
8:00	0.1461	23.3	7.09	70		
8:30	0.5505	24.1	6.82	180		
9:00	1.083	24.7	10.34	450		
9:30	0.8608	25.7	10.59	150		
10:00	1.107	26.1	10.25	120		
10:30	0.605	28.2	10.5	15		
11:00	0.48	26.8	10.46	15		
11:30	0.237	25.5	10.56	15		
12:00	1.32	23.1	10.73	63		
12:30	0.23	24	10.23	63		
13:00	0.473	25.8	8.85	88		
Total	7.4437					
Promedio	0.620308333	25.08	9.573	109	6.1	

14/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00						
7:30	0.1125	23.4	9.22	15		
8:00	0.072	35.6	8.27	1500		
8:30	0.094	26.6	9.42	150		
9:00	0.067	28.4	9.58	15		
9:30	1.27	29.7	11.45	45		
Total	1.6155					
Promedio	0.3231	29.14	9.188	345	8.2	

16/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	OD	NTU	pH	Observaciones
7:00	1.37	23.2	9.41	35		
7:30	1.18	25.2	8.76	2000		
8:00	0.36	30	6.96	1500		fundición zamorel
8:30	0.49	28.2	6.78	1500		
9:00	0.37	26.7	7.32	600		
9:30	0.55	24	7.66	35		
10:00	4.05	28.7	8.73	15		
10:30	0.41	23.9	11.86	40		
11:00	0.68	31.2	11.26	500		
11:30	0.27	27.4	6.55	150		
12:00						
12:30	0.27	28.5	6.82	15		
13:00	0.317	28.7	6.58	15		cvasado zamocriollo
13:30	0.178	28.7	6.51	25		
14:00	0.189	24.7	7.82	35		
14:30						
Total	10.684					
Promedio	0.763142857	27.08	7.93	462	7.9	

17/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	QD	NTU	pH	Observaciones
7:00						
7:30	1.23	24.8	5.95	1500		suero
8:00	0.07	24.3	6.16	750		
8:30	0.047	24.9	6.2	45		
9:00	0.183	27.3	7.18	15		agua en alta temp.
9:30	1.25	25.7	7.99	35		
10:00	0.459	25.8	9	15		
10:30	0.72	25.8	7.42	25		
11:00	1.17	23.7	8.47	15		
11:30	1.22	24	8.03	25		
12:00	0.064	28.4	8.35	15		
12:30	0.72	28.5	8.9	15		
13:00	1.183	28.7	8.79	25		yogur
13:30	1.21	25.3	7.79	400		
14:00	1.271	24.8	7.48	150		
14:30						
Total	10.797					
Promedio	0.771214286	25.86	7.694	216	6.4	

18/8/99

Hora	Caudal (L/s)	Temp	QD	NTU	pH	Observaciones
7:00	2.34	23.5	6.4	25		lavado
7:30	0.72	23.7	8.92	35		uso baño
8:00	0.03	25.2	7.09	15		
8:30	1.27	30.8	5.8	15		
9:00	0.0035	29.6	6.06	25		
9:30	0.822	23.8	7.15	2000		crema
10:00	0.072	23.4	7.4	2000		
10:30	0.085	26.1	6.64	35		
11:00	0.834	25.3	8.06	15		
11:30	1.172	25.3	8.13	15		
12:00	0.085	29.4	5.48	25		
12:30	0.798	30.2	6.8	35		
13:00	0.09	26.1	7.53	75		
13:30	1.03	26.8	8.46	150		
14:00						
14:30						
Total	9.3515					
Promedio	0.667964286	26.36	7.137	319	6.8	

Dia	Caudal L/s	M3/dia	Temp	NTU	pH	DQO	DBO	Solidos T	Densidad
5/5/99			27.7		5.9		143.2		0.9988
6/5/99			27.8		6.1		336.4		1.0052
7/5/99	1.73	49.82	26.2	632	8.6		433.6	2.302	1.0031
8/5/99	1.39	40.03	25.8	290	7.1		136	1.046	1.0006
13/5/99	1.21	34.85	27.9	134	6.3		185.6	0.4726	1.0008
4/6/99	1.46	42.05	26.7	304	6.2		353.6	0.5813	1.0029
14/6/99	1.1	31.68	27	317	8.2		288.8	0.264	1.0085
16/7/99	0.84	24.19	26.2	579	6.3		83.4	2.1108	0.9734
17/7/99	0.03	0.86	22	1089	5		69.8	3.013	1.0056
28/7/99	2.08	59.90	25.5	266	3.4		123.6	2.6213	0.9984
5/8/99	0.804	23.16	25.7	207	6.2	4263.6	151.6	2.052	1.0071
7/8/99	0.53	15.26	22.8	344	6.7	878.4	145.6	1.416	1.0075
13/8/99	0.62	17.86	25.1	109	6.1	291.2	43	1.208	1.003
14/8/99	0.32	9.22	29.1	345	9.2	123.2	69.6	1.078	0.9983
16/8/99	0.76	21.89	27	462	7.9	608.64	108.8	0.518	1.0045
17/8/99	0.77	22.18	25.9	216	6.4	2329.6	80.8	1.468	1.0082
18/8/99	0.67	19.30	26.3	319	6.8	1539.2	150.4	1.293	1.0003

1.0	30.94	26.16	374	6.38	475.36	171.11	1.4296	1.0015
Caudal L/s	M3por jornada	Temperatura	NTU	pH	Muestra DQO	Muestra DBO	Solidos totales	Densidad

2.78
DQO / DBO

Anexo 2. Prueba diferencias de volumen con mangueras de spray

One-Sample Test

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
DIFEREN	-.769	7	.467	-7.38E-02	-.3006	.1531

One-Sample Test

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
VOLUDIF	.880	12	.396	3.3231	-4.9007	11.5468

Anexo 3. Recomendaciones a seguir en el procedimiento de limpieza

1. Los residuos sólidos deben ser removidos del suelo y de los equipos antes de cualquier utilización de agua de limpieza, para evitar una mayor carga en DBO.

2. Se debe reparar las trampas de sólidos de los drenajes y colocar una malla metálica inoxidable (4 huecos por cm^2) para evitar entrada de residuos grandes y controlar la entrada de plagas en la Planta de Lácteos.

3. Se debe utilizar recipientes calibrados para la dosificación de detergentes y sanitizantes para utilizar la dosis recomendada.

4. El agua utilizada en el sistema Limpieza en Sitio puede ser reciclada hacia el piso luego de lavar los tanques de recepción o para la sanitización de todas las tuberías utilizando cloro al 200 ppm, al final de la jornada de trabajo.

5. Los estudiantes y trabajadores deben respetar la norma que la gabacha o uniforme de trabajo únicamente se usa en la planta y que en su exterior se debe usar ropa normal para evitar mayor cantidad de contaminantes externos.

6. Lo que se refiere al detergente utilizado se recomienda cambiar a un detergente biodegradable para disminuir la cantidad de sales minerales en el agua residual para que no afecten el desarrollo de oxidación microbiana de los residuos.

7. Seguir 6 pasos de limpieza básicos:
   - Limpiar sólidos
   - Enjuagar superficies
   - Aplicar detergente alcalino en situación normal o ácido para eliminación de piedra de leche
   - Restregar y enjuagar
   - Aplicar soluciones desinfectantes, evitando sobre dosificación