UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Departamento de Ingeniería Química

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Evaluación de la gestión de las aguas residuales en la ¨UEB Productos Lácteos Mérida

Autor: Leyanis López Cala

Tutores: Dra C. Ana Margarita Contreras Moya

Ing. Mario Sergio Mesa Mirabal

Santa Clara , junio 2020

Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Departament of Chemical Engineering

DIPLOMA THESIS

Title: Evaluation of wastewater management in ¨UEB Productos Lácteos Mérida¨

Author: Leyanis López Cala

Thesis Director: Dra C. Ana Margarita Contreras Moya

Ing. Mario Sergio Mesa Mirabal

Santa Clara, june 2020

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.
Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:
Atribución- No Comercial- Compartir Igual

Para cualquier información contacte con:
Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

´´ (…) la educación es el arma más poderosa que tiene el hombre para crear una ética, para crear una conciencia, para crear un sentido del deber, un sentido de la organización, de la disciplina, de la responsabilidad.´´

Fidel Castro Ruz.

Dedicatoria

A mis padres por su apoyo y dedicación en todo momento, en especial a mi madre por la confianza que siempre depositó en mí.

A mi novio por su amor incondicional, confianza y apoyo en los años más difíciles de mi carrera.

A mis hermanas por ser parte de mi vida y por los consejos que me dan para que no tropiece en mi camino.

A mis sobrinas por ser el regalo más valioso que me ha dado Dios.

Agradecimientos

A mi tutora, la Dra. C. Ana Margarita Contreras Moya, por sus enseñanzas, apoyo y comprensión.

A mi mamá y mi papá. Gracias por su confianza y por estar conmigo en todo momento.

A mi novio, por estar en los buenos y malos momentos apoyándome siempre.

A mis hermanas y sobrinas por toda su dedicación.

A toda mi familia, por el apoyo brindado.

A todos mis compañeros de aula por cada momento que han compartido conmigo durante 5 años.

A todos los trabajadores de la fábrica y en especial al Ing. Mario Sergio Mesa Mirabal por su valiosa colaboración.

A todos los profesores y técnicos del departamento de Ingeniería Química por las enseñanzas brindadas.

En fin, a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a cumplir este sueño.

A todos, ¡Muchas Gracias!

Resumen

Durante la producción de derivados lácteos se generan descargas líquidas, sólidas y gaseosas. Las emisiones líquidas se caracterizan por elevado contenido de aceites, grasas, materia orgánica y sólidos suspendidos que provienen de las aguas de proceso, de enfriamiento, de lavado y pérdidas de materia prima. La UEB Productos Lácteos Mérida cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, pero no funciona adecuadamente y las aguas se están vertiendo sin cumplir con las normas establecidas. En el trabajo se realiza un diagnóstico de dicho sistema de tratamiento con el objetivo de determinar los puntos críticos relacionados con la gestión de las aguas residuales y proponer medidas de mejora. Se identifican problemas relacionados con el estado técnico de los componentes del sistema y la generación de elevados volúmenes de aguas residuales con alta carga orgánica que hace que en la planta no se cumpla con los límites permisibles de vertimiento al cuerpo receptor. Se diseña un sistema de acciones de P+L y para la intensificación del tratamiento que permita una mayor eficiencia de la planta. Se propone la construcción de un humedal subsuperficial horizontal que presenta indicadores dinámicos de rentabilidad satisfactorios y se demuestra la factibilidad ambiental de la propuesta mediante una evaluación con enfoque de ciclo de vida.

Índice

Introducción 1
Capítulo 1: Revisión bibliográfica 5
1.1 Generalidades de la industria láctea 5
1.2 Principales procesos productivos que generan residuos en la fábrica de quesos Mérida 7
1.2.1 Proceso de producción de quesos frescos y semiduros 7
1.2.2 Proceso de producción de queso fundido 9
1.2.3 Proceso de producción de requesón 10
1.2.4 Proceso de producción de yogurt de coágulo 10
1.2.5 Proceso de producción de Nutrigurt 10
1.3 Características y fuentes de aguas residuales 11
1.4 Métodos de tratamiento de aguas residuales 14
1.4.1 Tratamiento biológico 16
1.4.2 Sistemas de tratamiento que se aplican en Cuba 19
1.4.3 Consideraciones para la selección del sistema de tratamiento 20
1.4.4 Ventajas y desventajas de la aplicación de sistemas de tratamiento 21
1.5 Producciones más limpias 21
1.5.1 Prevención de la contaminación 22
1.5.2 Opciones generales de P+L 24
1.6 Análisis de Ciclo de Vida 25
1.6.1 Etapas del ACV 25
1.6.2 Aplicaciones del ACV 28
1.7 Conclusiones Parciales 29
Capítulo 2: Evaluación de la situación actual del sistema de tratamiento de las aguas residuales existente en la UEB Productos Lácteos Mérida. 31
2.1 Metodología para el diagnóstico del sistema de tratamiento 31
2.2 Resultados del diagnóstico y discusión 32
2.2.1 Breve caracterización de la fábrica de Quesos Mérida 32
2.2.2 Resultados de caracterización de las aguas residuales 33
2.2.3 Evaluación del estado técnico del sistema de tratamiento 35
2.2.4 Análisis del proceso productivo 36
2.2.5 Evaluación del impacto ambiental de la etapa de tratamiento de residuales mediante ACV 37

2.3 Conclusiones Parciales 39
Capítulo 3: Propuesta de medidas de producciones más limpias. 41
3.1 Medidas de producciones más limpias a aplicar en ``UEB Productos Lácteos Mérida..... 41
3.2 Dimensionamiento del humedal 42
3.2.1 Análisis económico..... 44
3.3 Análisis del impacto ambiental después de aplicar las medidas..... 45
3.4 Conclusiones parciales..... 46
Conclusiones..... 48
Recomendaciones 49

Introducción

La industria láctea forma parte importante del sector alimentario, ya que la leche y sus derivados constituyen un elemento básico e importante en la alimentación del ser humano, principalmente en sus primeros años de vida. La leche requiere un procesamiento para obtener un alimento estable y apto para un prolongado período de conservación y almacenamiento.

La Unión Europea es la mayor productora de queso en el mundo, seguida por los Estados Unidos de América. El queso es el principal producto lácteo en Europa. Continuamente se incrementa la producción de productos lácteos y se proyecta un incremento de estas producciones en los países en desarrollo (Finnegan, et al., 2018).

Los productos que más se comercializan internacionalmente son leche en polvo (entera y descremada), quesos y mantequilla. En el caso de los quesos, los precios internacionales están estimulando mayor producción y exportación de los mismos. Además, la preocupación de los consumidores por el efecto de las grasas de la leche ha impulsado no sólo el consumo de leche descremada, sino de otros derivados lácteos bajos en calorías (Nofal y Wilkinson, 2002).

Sin embargo, es importante entender las implicaciones ambientales del crecimiento de la producción de queso y estar seguro de que el crecimiento no cause deterioro ambiental (Finnegan, et al., 2018).

Durante la producción de derivados lácteos se generan descargas líquidas, sólidas y gaseosas. Las emisiones líquidas se caracterizan por su contenido de aceites, grasas, materia orgánica expresada en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), así como sólidos suspendidos que provienen de las aguas de proceso, de enfriamiento, de lavado, pérdidas de materia prima, etc. Los residuos sólidos generados son, en la mayoría de los casos, reciclados hacia otros sectores industriales; mientras que los lodos generados en la planta de tratamiento, los cuales contienen mayor carga orgánica, son dispuestos en vertederos o reutilizados como abono. Las emisiones gaseosas, que están constituidas principalmente por material

particulado, se originan en las calderas y por el polvo generado en los procesos de formulación y secado de leche y suero (Torres y Oblitas, 2017).

La consecuencia de la falta de alcantarillado y la ausencia o inadecuado tratamiento de aguas residuales es la contaminación de los cuerpos de agua, incluso los acuíferos de aguas subterráneas en las ciudades de América Latina y las áreas adyacentes. El estado de calidad de agua en los cuerpos de agua de la región es principalmente determinado por el vertimiento de residuales.

En la Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo en Rio de Janeiro en 1992, los gobiernos adoptaron la Declaración conocida como Agenda 21 (Naciones Unidas, 1992). El Capítulo 18 de la Agenda 21 contiene una sección sobre el problema del agua y el desarrollo urbano sustentable. La discusión acentúa la necesidad urgente de mejor gestión del agua para el uso urbano para contribuir a la reducción de pobreza, la mejora de salud y control de la contaminación. La discusión acaba estableciendo, como un objetivo, el manejo ecológicamente racional del recurso de agua, así como estableciendo metas cuantitativas para el suministro de agua, desagüe de aguas contaminadas y manejo de efluentes (Lee, 2000). Por otra parte, en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente UNEP (2012), se plantea que el desafío importante de la humanidad en las próximas décadas será disponer de la energía, tierra, agua y necesidades materiales para todas las personas, mientras mantiene el cambio del clima, pérdida de biodiversidad y amenazas de salud dentro de los límites aceptables.

El Panel Internacional de Recursos (IRP) considera que lograr modelos sustentables de consumo y producción justamente mientras se mantiene la integridad del ambiente natural requiere desunir el crecimiento económico del uso del recurso y la degradación medioambiental, por lo que sus objetivos principales son: contribuir a un mejor entendimiento de cómo separar el crecimiento económico de la degradación medioambiental y proporcionar valoraciones científicas independientes, coherentes y autoritarias de relevancia de la política en el uso sustentable de recursos y sus impactos medioambientales durante el ciclo de vida completo (UNEP, 2011a). En la dirección de agua sustentable, la manera de lograr la separación es a través de la mejora de la productividad de agua, por ejemplo, uso y reuso de agua.

El agua es un recurso esencial para todos los aspectos: para la agricultura, producción de energía, producción industrial y salud humana. El agua dulce representa sólo el 3 % de agua existente en el planeta del cual el 0,3 % está disponible para los humanos (UNWWAP Water, 2009). Para el 2030 se estima que la demanda global de agua será 40 por ciento superior que hoy. Esto implica que una tercera parte de la población del mundo estará viviendo con escaseces de agua significante.

En el futuro, se necesitará una mejor comprensión y cuantificación de uso de agua a lo largo de los ciclos de vida. Muchos enfoques están disponibles, incluyendo el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y valoración de impacto, los que pueden ayudar a articular dónde y cómo pueden mejorarse la productividad y eficacia del agua para facilitar la desunión del crecimiento económico y el agotamiento del recurso agua (EEA, 1999; Stanners et al., 2007).

En esencia, los ecosistemas de agua deben funcionar propiamente y deben hacer el agua limpia y suficientemente disponible para asegurar la producción de alimentos (las cosechas, agricultura y peces), suministro de agua para beber, energía y valores culturales.

Dadas las crecientes preocupaciones de compañías sobre la escasez de agua en la última década, el desarrollo de metodologías de uso del agua dentro del ACV se ha vuelto una prioridad (UNEP, 2011c).

En la actualidad, la UEB Productos Lácteos Mérida cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, pero no funciona adecuadamente y las aguas se están vertiendo sin cumplir con las normas establecidas (NC 27:2012), superando los límites máximos permisibles de descargas líquidas industriales, por lo que se justifica la evaluación de ese sistema y la propuesta de un sistema de medidas que permitan aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento de forma tal que no causen daños al medio ambiente.

La ejecución de este trabajo representa un beneficio ambiental y social para la UEB Productos Lácteos Mérida, así como para los pobladores de la comunidad donde se encuentra ubicada la fábrica, ya que ayudará a reducir el problema de contaminación ambiental hacia los ríos y a que la población circundante pueda vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Problema científico

En la UEB Productos Lácteos Mérida el sistema de tratamiento de residuales que está instalado no cumple con los requisitos técnicos para lograr que los mismos sean vertidos dentro de los límites establecidos por la NC 27:2012.

Hipótesis

Con la aplicación de un sistema de acciones de prevención de la contaminación en el proceso de producción y el mejoramiento del sistema de tratamiento de residuales instalado, se puede lograr una mayor eficiencia en la gestión del agua en la UEB Productos Lácteos Mérida.

Objetivo General

Evaluar el sistema de tratamiento de residuales existente en la UEB Productos Lácteos Mérida y proponer acciones para intensificar su funcionamiento.

Objetivos Específicos

1. Realizar estudio bibliográfico relacionado con el tema.
2. Evaluar la situación actual del tratamiento de las aguas residuales en la UEB Productos Lácteos Mérida.
3. Determinar las posibles causas que ocasionan el deficiente tratamiento de las aguas residuales.
4. Proponer acciones que contribuyan a elevar la eficiencia en el tratamiento de estos residuales.
5. Evaluar la efectividad técnica, económica y ambiental de las acciones propuestas.

Capítulo 1: Revisión bibliográfica

1.1 Generalidades de la industria láctea

La industria lechera es generalmente considerada como la mayor fuente de aguas residuales del procesamiento de alimentos en muchos países. Como el conocimiento de la importancia de normas para el tratamiento de aguas residuales crece, los requerimientos de los procesos han incrementado su rigor. Aunque la industria de la leche normalmente no se asocia con los problemas medioambientales severos, esta debe considerar su impacto medioambiental continuamente, particularmente porque los contaminantes son principalmente de origen orgánico. Para las industrias de la leche con buenos sistemas de manejo de efluentes, el tratamiento no es un problema mayor, pero cuando ocurren accidentes, los resultados pueden ser muy costosos. Todos los pasos en la industria de la leche, incluso la producción, proceso, empaquetamiento, transporte, almacenamiento, distribución, y mercadeo, impactan el ambiente (Russell, 1998; Strydom et al., 1993).

Debido a la naturaleza altamente diversificada de esta industria, varias operaciones y procesos crean residuales de diferente calidad y cantidad que, si no son tratados, podrían conducir a incrementar la disposición y problemas de polución severos. En general, los residuos de la industria del procesamiento de la leche contienen altas concentraciones de material orgánico como proteínas, carbohidratos y lípidos, altas concentraciones de sólidos suspendidos, alta demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), altas concentraciones de nitrógeno, aceite suspendido y/o grasas y grandes variaciones en pH, lo que hace necesario el tratamiento para prevenir o minimizar los problemas medioambientales. Las corrientes de residuales de la producción de leche también se caracterizan por amplias fluctuaciones en flujo, por la discontinuidad en los ciclos de la producción de los diferentes productos. Todos estos aspectos aumentan la complejidad del tratamiento de las aguas residuales **(**Britz, van Schalkwyk and Hung, 2006).

La División de recursos del agua del estado de Carolina del Norte, en el manual de eficiencia del agua (N.C. DWR, 2009) plantea que el procesamiento de productos lácteos a menudo vincula varias operaciones y procesos unitarios.

Éstos generalmente incluyen la recepción y almacenamiento de materias primas, la transformación de materias primas en productos terminados, el embalaje y el almacenamiento de productos terminados, procesos auxiliares (transferencia de calor, limpieza) y otros asociados con los procesos de distribución.

La leche y sus subproductos se procesan según los procedimientos aprobados, muchos equipos se desmantelan y se limpian diariamente. Los sistemas de limpieza automatizados requieren gran cantidad de agua y productos químicos.

Por lo que en la industria láctea se generan grandes cantidades de aguas residuales durante los procesos de producción de todos los productos lácteos. Los principales constituyentes de estas aguas residuales son restos de leche, el suero de la producción de queso y los productos de limpieza.

El uso de agua en la industria láctea depende de la complejidad de la planta y prácticas de manejo del agua. La carga de los residuales depende del control de las pérdidas de materia prima y del producto en la planta. Las pérdidas en las industrias americanas son del orden de 0,5 por ciento en plantas grandes y mayor que 2,5 por ciento en plantas pequeñas. Mejoras en el manejo del agua y residuales constituyen metas importantes para la industria (N.C. DWR, 2009).

Tabla 1. Resumen de cargas de los residuales de Planta de procesamiento de leche y subproductos en América (kg ww/kg leche, rango) (kg ww/kg, promedio).

Productos	Aguas residuales (kg ww/kg leche, rango)	Aguas residuales (kg ww/kg leche, promedio)
Leche	0,10-5,40	3,25
Queso	1,63-5,70	3,14
Helado	0,80-5,60	2,80
Leche condensada	1,00-3,30	2,10
Mantequilla		0,80
Polvo	1,50-5,90	3,70
Requesón	0,80-12,40	6,00
Requesón y leche	0,05-7,20	1,84
Requesón, helado y leche	1,40-3,90	2,52
Productos mezclados	0,80-4,60	2,34

Actualmente, en la producción de leche, la generación de aguas residuales se estima entre 1 y 2 litros por litro de leche producida como promedio. Estas se generan por fugas y derrames de materias primas, en las limpiezas de los equipos de proceso (tanques, pasteurizadores, tinas de cuajo, etc.), en el lavado de superficies (suelos y paredes) y en el vertido de las salmueras agotadas.

Las aguas residuales generadas en la industria láctea presentan una contaminación principalmente de carácter orgánico (DQO y DBO_5 elevadas), con una elevada concentración de grasas y también de nitrógeno y fósforo. Aunque la DBO_5 media puede estar entre 3.000 - 4.000 mg O_2/L, los vertidos muestran una elevada variabilidad, tanto en caudal como en composición. Ésta depende fundamentalmente del proceso que genera las aguas residuales y del producto que se prepara. Así, el suero que se genera en la elaboración de quesos tiene una DBO_5 del orden de 40.000 - 50.000 mg O_2/L y se considera que una granja que procese unos 100 m^3/día de leche para la elaboración de queso, genera la misma contaminación que un núcleo de 55.000 habitantes.
(https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/)

1.2 Principales procesos productivos que generan residuos en la fábrica de quesos Mérida

- Elaboración de quesos frescos y semiduros.
- Elaboración de queso fundido.
- Elaboración de requesón.
- Elaboración de yogurt de coágulo.
- Elaboración de nutrigurt.

1.2.1 Proceso de producción de quesos frescos y semiduros

En la Figura 1 se muestra el proceso de producción de Queso Blanco Primavera y Queso semiduro Venecuba que se describe a continuación.

Una vez clasificada, la leche se somete a un proceso de enfriamiento a través de una cortina de frío para su posterior almacenamiento de 2 a 8 °C de temperatura. Cuando se alcance aproximadamente el volumen total de la cuba se comienza a impulsar la leche fría hasta la sección de precalentamiento donde

alcanza una temperatura de 45 a 50 °C, de ahí pasa a la descremadora – clasificadora la leche que según los cálculos de estandarización debe ser descremada, retornando a la sección de pasterización. El resto de la leche entera pasa directamente del pasteurizador a la placa a una temperatura 74 ± 2 °C, durante 15 segundos, después la misma se enfría hasta la temperatura de coagulación, 32 °C, esto ocurre en otra sección del pasteurizador depositándose esta en la cuba de elaboración y cuando la misma alcance ¼ de su volumen se comienzan añadir los aditivos – cultivos mesófilos de 22 °C, cultivos termófilos de 45 °C y cloruro de calcio y nitrato de potasio en las proporciones establecidas, terminado el llenado de la cuba se adiciona el cuajo microbiano con el objetivo de alcanzar la coagulación en un término de 25 a 30 min, una vez concluida la coagulación se procede al corte de la cuajada con liras (manuales o mecánicas).

Buscando que el grano quede lo más uniforme posible, alcanzando un tamaño de 1,5 cm durante la cocción, la cuajada se elabora mediante vapor hasta que alcance una temperatura de 38 a 40 °C, aumentando la misma 1 °C cada 2 min y esta operación tienen una duración de 15 a 20 min. Continúa el secado del grano y se mantiene la agitación de la cuajada hasta obtener una consistencia firme y elástica. Después de secados los granos, la cuajada formada se deja en reposo por un período de 6 a 10 min hasta su total sedimentación, transcurrido el tiempo de sedimentación se comienza la extracción del suero, se extrae el 30 % del suero respecto al total e inicial de leche y se adiciona la misma cantidad de agua pasteurizada, luego la cuajada es salada, después se agita para facilitar la incorporación de la sal en toda la masa, posteriormente le sigue la operación de moldeado. Previo a la misma, los moldes y paños son lavados con detergente y enjuagados con agua potable, después se desinfectan con cloro a una concentración de 200 mg/L. Los moldes llenos son llevados a la prensa. Terminado el prensado se quitan los paños, se emparejan los bordes recortándolos y se colocan invertidos en los moldes manteniéndolos en reposo.

Los quesos luego de pesados se pasan a la nevera de maduración si es para elaborar quesos semiduros donde permanecen 30 días a una temperatura de 12 - 14 °C, aquí el queso es volteado en la primera semana todos los días y cada 2 días durante la segunda semana, esto se realiza para que la maduración sea uniforme, seguidamente se realiza la operación de lavado para eliminar las

suciedades del queso y se deja libre de hongos que son producidos por la humedad de la nevera, se usa una solución anti-hongos, se enjuagan con agua con cloro y limpia, posteriormente después de aseado en nevera de 2- 8 °C se parafina en una máquina para este fin, después pasa nuevamente a la nevera de mantenimiento donde permanecerá hasta su comercialización.

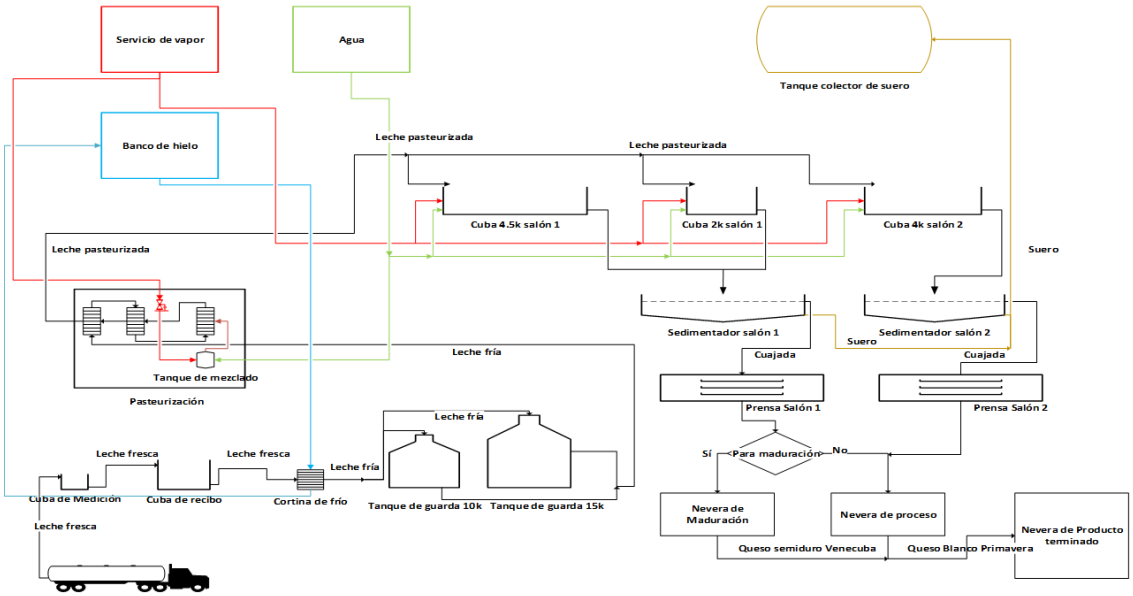


Figura 1. Proceso de producción de Queso Blanco Primavera y Queso semiduro Venecuba

1.2.2 Proceso de producción de queso fundido

Una vez que llegan los quesos a la sección son pesados y almacenados en una nevera para su conservación. Luego se seleccionan los quesos destinados a la producción, se pesan y son transportados al local de preparación del queso donde se elimina el plástico o parafina y la contaminación de la corteza, nuevamente son pesados para determinar exactamente los kilogramos que serán fundidos, se cortan para la preparación de la mezcla y son molidos.

Después se realiza una estandarización con el objetivo de determinar las materias primas que intervienen en el proceso, se vierte el queso molido al tacho de fundición, conjuntamente con las sales fundentes, sal común, sorbato de potasio, mantequilla sin sal, saborizantes, colorantes en el caso que proceda y agua potable según la estandarización. Una vez añadidos los ingredientes se da inicio a la agitación y fundición de 70°C a 90°C. Finalmente si el queso fundido

cumple con las especificaciones de calidad se procede al envasado para su posterior almacenamiento y comercialización.

1.2.3 Proceso de producción de requesón

Primeramente se realiza una cocción del suero para desactivar las enzimas y eliminar los microorganismos patógenos que pudieran estar presentes en el mismo, una vez que este sea libre de microorganismos patógenos, se mezclan los diferentes aditivos alimenticios y se acidifica el suero según la estandarización establecida, en dependencia de la cantidad de suero y la densidad del mismo, se deja la mezcla en reposo durante 30 minutos para permitir la floculación de la caseína, luego se realiza el desuere para separar el suero del requesón por decantación en el tacho agitado. Posteriormente se comenzará el llenado de las bolsas, previamente hervidas, para continuar el desuere durante al menos 12 horas, se le adiciona la sal y se envasa para su posterior almacenamiento y comercialización.

1.2.4 Proceso de producción de yogurt de coágulo

Primeramente se verifica que la leche que llega a la fábrica cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la norma (NC 448: 2006), luego se determinan las cantidades de materias primas que se utilizarán, de acuerdo a la composición de la leche fresca y se mezclará con esta, una vez que exista una mezcla homogénea de leche fresca, leche en polvo y azúcar se procede a la pasteurización de la misma con el propósito de eliminar microorganismos patógenos que pudieran estar presentes. Posteriormente se inocula la mezcla con proporción del 1,5- 2 % y se homogeniza en el propio tacho. Es vertida en cubetas limpias, se deja incubar la mezcla pasteurizada para lograr el pH normado y un coágulo firme, una vez terminada la incubación es almacenado para su conservación y posterior almacenamiento.

1.2.5 Proceso de producción de Nutrigurt

Primeramente se determinará cuantitativamente la cantidad de materias primas que se utilizarán, de acuerdo a la composición del suero y se mezclarán con este, una vez que exista una mezcla homogénea de suero, azúcar, leche fresca, fécula de maíz y sorbato de potasio se procede a la pasteurización de la misma

con el propósito de eliminar microorganismos patógenos que pudieran estar presentes. Posteriormente se inocula la mezcla pasteurizada con el cultivo y se homogeniza en el propio tacho. Es vertida en cubetas limpias. Se deja incubar la mezcla pasteurizada para lograr el pH normado y un coágulo firme, una vez terminada la incubación es almacenado para su conservación y posterior almacenamiento.

1.3 Características y fuentes de aguas residuales

En el sector lácteo, el agua se consume fundamentalmente en:

- Proceso productivo, incluyendo operaciones de limpieza.
- Regeneración de resinas, procedentes de procesos de desmineralización de aguas de pozo, empleadas en algunas instalaciones.
- Refrigeración.
- Usos sanitarios (aseos y duchas del personal).

Toda el agua consumida, exceptuando las pérdidas por evaporación en los circuitos de refrigeración, se vierte, si no se incorpora al producto final. Los consumos de agua son muy variables en función de:

- Número y tipo de productos elaborados.
- Tipo de proceso productivo.
- Existencia de sistemas de recirculación de agua.
- Producción.

Como se expresó de forma general, los principales constituyentes de las aguas residuales de estos procesos son restos de leche, el suero de la producción de queso y los productos de limpieza (suero, detergente, sosa cáustica, ácido fosfórico, cloro, grasas (sólidos de la leche)), como se describe a continuación:

- Suero. El suero obtenido en la producción de quesos es rico en lactosa y proteína, pero pobre en sustancias grasas. El suero de leche, dependiendo del tipo, puede tener una carga orgánica DQO entre 25.000 – 80.000 mg/L y contiene alrededor del 50 % de los nutrientes iniciales de la misma. Por cada kg de queso producido se desechan aproximadamente de nueve a diez litros de suero. Representa del 80 al 90 % del volumen del lácteo transformado por la industria lechera y que

para un tratamiento biológico convencional demanda una elevada cantidad de oxígeno (energía). Se estima que el 90% de la DQO de las aguas residuales de una industria láctea es ocasionada por restos de leche y sólo el 10% a sustancias ajenas a la misma. Por cada 100 toneladas de suero que se aprovecha en un biodigestor se puede obtener una producción de biogás de aproximadamente 2.000 m^3.

- Sosa cáustica. La sosa cáustica o hidróxido de sodio (NaOH) suele ser agresiva, se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. puede utilizarse en forma sólida o como una solución al 50 %. La sosa cáustica, especialmente cuando se usa para el control del pH, la neutralización de ácidos residuales y usos similares, compite con otros álcalis, especialmente con el carbonato de sodio (ceniza de sosa).
- Ácido fosfórico. Entre otras aplicaciones, el ácido fosfórico se emplea como ingrediente de bebidas no alcohólicas como por ejemplo de las gaseosas (aditivo alimentario E-338), como catalizador, en metales inoxidables y para fosfatos que se utilizan como ablandadores de agua, fertilizantes y detergentes. Muy utilizado en laboratorios químicos en la preparación de disoluciones tampón o reguladoras del pH. Aporta fósforo a las aguas residuales de carácter industrial**.**
- Grasas. Las grasas son necesarias en la alimentación para el crecimiento y la salud, ya que cumplen importantes funciones en el organismo, en varios niveles. Las grasas constituyen entre el 3 y el 6 % de la leche. Es el segundo componente mayoritario después de la lactosa. Esta materia grasa se dispone formando emulsión cuyo principal exponente son pequeños glóbulos esféricos emulsionados en el suero lácteo de tamaño comprendido entre 2 - 10 µm. La composición de la grasa láctea es muy compleja. El 99 % de la grasa se encuentra en forma de lípidos y de ellos el 98 % se encuentran en forma de triglicéridos, el 2 % lo constituyen lípidos simples (monoglicéridos y diglicéridos), ésteres de colesterol y lípidos complejos (fosfolípidos y esfingolipidos). El 1 % de la grasa la constituye el colesterol, ácidos grasos libres, vitaminas liposolubles.

El volumen, concentración, y composición del efluente que se obtiene en una planta lechera son dependientes del tipo de producto que se procesa, el

programa de la producción, los métodos que opera, el diseño de la planta del proceso, el grado de gestión de agua que es aplicado y consecuentemente, la cantidad de agua que se conserva. Los residuales de la lechería pueden ser divididos en tres categorías:

1. Aguas de proceso que incluyen el agua usada en los procesos de enfriamiento y calentamiento. Estos efluentes normalmente están libres de los contaminantes y pueden reusarse con un tratamiento mínimo.
2. Aguas residuales de limpieza, principalmente de la limpieza de equipo que ha estado en contacto con leches, productos de leche y limpieza (suero, salmueras), y aguas que son el resultado de los funcionamientos defectuosos de equipo e incluso los problemas operacionales. Esta corriente de agua residual puede contener compuestos provenientes de la leche, queso, suero, crema, yogur, frutas y compuestos estabilizantes.
3. Aguas residuales sanitarias.

Las aguas de limpieza de esta industria también pueden contener una variedad de agentes esterilizantes y detergentes ácidos y alcalinos. Así, el pH de las aguas residuales puede variar significativamente en dependencia de la estrategia de limpieza empleada. Los productos químicos más comúnmente usados son sosa cáustica, ácido nítrico, ácido fosfórico e hipoclorito de sodio; éstos todos tienen un impacto del significativo en el pH del agua residual. Otros aspectos relacionados con la limpieza son la contribución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), la contribución de fósforo resultante del uso de ácido fosfórico y otros detergentes con contenido de fósforo, uso de elevados volúmenes de agua, así como aspectos generales relacionados con el impacto de biodegradabilidad del detergente y toxicidad en un tratamiento de residual específico y en el medio ambiente en general (Tamime y Robinson,1999; Bakka, 1992; Britz, van Schalkwyk and Hung, 2006).

Además, estas aguas se caracterizan por presentar conductividad elevada (especialmente en las empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente del salado del queso).
(https://www.aqualimpia.com/biodigestores/lacteos/)

La presencia de cantidades apreciables de lactosuero en las aguas residuales generadas en la fabricación de quesos, además de incrementar notablemente la carga contaminante, supone la pérdida de un subproducto de alto valor económico. Es recomendable, por tanto, que se evite la incorporación del lactosuero al agua residual y que se destine a la obtención de sustancias aprovechables.

1.4 Métodos de tratamiento de aguas residuales

Los métodos empleados para el tratamiento de aguas residuales pueden diferenciarse en función de:

1. **La Naturaleza del Tratamiento:**

- ✓ **Físicos:** Tienen el objetivo de provocar un cambio físico en las propiedades de los contaminantes. Dentro de este subgrupo se encuentran: sedimentación, filtración, evaporación, flotación, extracción, adsorción (se utilizan habitualmente como sólidos en este proceso el carbón activado y zeolitas), desorción.
- ✓ **Químicos:** Su objetivo es provocar la destrucción química del contaminante o la conversión del mismo en otro producto que sea fácilmente separable. Dentro de este subgrupo se encuentran fundamentalmente: coagulación-floculación, precipitación química, oxidación/reducción química, entre otros.
- ✓ **Térmicos:** Utilizan temperaturas elevadas para descomponer los contaminantes. Las especies metálicas generan cenizas, gases puros y los compuestos orgánicos se descomponen en CO_2, agua y gases halogenados. En de este subgrupo se encuentran: oxidación húmeda, oxidación crítica, incineración.
- ❖ **Biológicos:** Tienen el objetivo de provocar un cambio en las propiedades de los contaminantes a través de mecanismos biológicos y bioquímicos. Pueden ser aeróbicos o anaeróbicos. Dentro de este subgrupo se encuentran: los filtros bacterianos, lodos activados, lagunas de estabilización (aeróbicas, anaeróbicas o facultativas), biodiscos y digestión anaerobia.

2. **El tamaño del contaminante.**

Si se definen los niveles de depuración en función del tamaño de partícula eliminada se mencionan:

- Pretratamiento: Son operaciones físicas o mecánicas con el objetivo de extraer o separar del agua la mayor cantidad posible de las materias transportadas a través de los colectores y que pueden provocar problemas por obstrucción de tuberías, desgaste de equipos, formación de costras, etc.
- Tratamiento Primario: Para la eliminación de las partículas suspendidas. Está constituido por sistemas de eliminación de partículas finas, mediante operaciones físicas o específicos. El grado de tratamiento depende del proceso utilizado y de las características de las aguas residuales.
- Tratamiento Secundario: Consigue la eliminación de las partículas coloidales y disueltas. Está constituido por procesos químicos y biológicos.
- Tratamiento Terciario: La finalidad de estos tratamientos es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios. Estos procesos son de naturaleza biológica o físico química, siendo el proceso unitario más empleado el tratamiento físico-químico. (https://www.ceupe.com/blog/principales-sistemas-de-tratamiento-de-las-aguas-residuales.html).

Actualmente existe una gran variedad de tecnologías de tratamiento de aguas residuales. La legislación medioambiental más severa, así como la elevación de los costos del agua fresca y el tratamiento de efluentes ha aumentado el ímpetu para mejorar el control de los residuales. El nivel de tratamiento normalmente se dicta por las regulaciones medioambientales aplicable al área específica.

Aunque las fábricas de leche más grandes han instalado plantas de tratamiento o disponen sus residuales en alcantarillados municipales, los casos de disposición de residuales en el mar o disposición por medio de la irrigación de la tierra ocurren. Contrariamente, las fábricas de leche más pequeñas disponen sus residuales por la irrigación en tierras. Por consiguiente, la polución de aguas superficiales y subterráneas es una amenaza potencial propuesta por estas prácticas. Por ser la industria de la leche el mayor usuario y generador de agua, es un candidato para el reúso de aguas residuales. Aun cuando el residual purificado no se reúsa inicialmente, la industria será beneficiada por el manejo y tratamiento interno del residual, porque reduciendo el residual en la fuente se puede ayudar a reducir los costos o mejorar el comportamiento de cualquier instalación de tratamiento corriente abajo (Britz, van Schalkwyk and Hung, 2006).

El tratamiento convencional consiste en un proceso biológico aeróbico a través de bacterias que eliminan los componentes orgánicos del material disuelto (DBO). Los sistemas anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales, actúan siguiendo un proceso biológico en el que sin presencia de aire, la planta de tratamiento convierte los restos de DQO, DBO y SSV en biomasa y biogás (fuentes de energía). Esta solución resulta muy eficaz cuando las aguas cuentan con gran cantidad de componentes biodegradables (https://www.domosagua.com/blog/tratamiento-aguas-residuales-industria-lacteos).

1.4.1 Tratamiento biológico

La degradación biológica es una de las opciones más prometedoras para la remoción del material orgánico de las aguas residuales de procesos lácteos. Sin embargo, el lodo formado, sobre todo durante los procesos de biodegradación aeróbica, puede llevar a los problemas de disposición serios y costosos. Esto puede agravarse por la habilidad del lodo de adsorber compuestos orgánicos específicos, incluso metales pesados tóxicos. Sin embargo, los sistemas biológicos tienen la ventaja de realizar transformaciones microbianas de compuestos orgánicos complejos y la posible adsorción de metales pesados por los microorganismos adecuados.

En áreas dónde la tierra está disponible, las lagunas constituyen uno de los métodos de degradación biológica menos caros. Con la excepción de las lagunas aireadas, ningún dispositivo mecánico se usa y el flujo normalmente ocurre por gravedad. Como resultado de su simplicidad, las lagunas son un método favorecido para el tratamiento eficaz de aguas residuales. Sin embargo, la falta de un ambiente controlado provoca largos tiempos de retención. En sitios de climas calurosos el uso de lagunas puede ser la opción de tratamiento de aguas residuales más adecuada y barata. Sin embargo, existe el potencial para la polución de aguas superficiales y subterráneas, malos olores, e insectos que puede resultar una molestia (Britz, van Schalkwyk and Hung, 2006).

Aunque las lagunas son simples de operar, son los más complejos de todos los sistemas de degradación biológica diseñados (Thirumurthi, 1991). En estos sistemas ocurren metabolismos aeróbicos y anaeróbicos, además de la

fotosíntesis y sedimentación. Aunque la mayoría del carbono orgánico se convierte en biomasa microbiana, alguno se pierde como CO_2 o CH_4. El tiempo de retención hidráulico en las lagunas facultativas puede variar en dependencia de las condiciones climáticas.

Ferrer et al. (2012) plantean que en la actualidad la aplicación de las lagunas se encuentra en franca regresión, debido a los bajos rendimientos que se alcanzan y a la variabilidad temporal en la calidad de los efluentes tratados, debido a la elevada presencia, en estos efluentes, de biomasa algal. No obstante, sí se emplean con éxito los sistemas integrados de lagunas y éstos en combinación con otros tratamientos. Además, la biomasa algal producida, que hasta hace poco era un subproducto indeseable, comienza a ser considerada como un sustrato con valor energético (Chisti, 2007; Pedescoll, 2010).

Actualmente, los métodos no convencionales de tratamiento constituyen alternativas muy atractivas. Los sistemas de humedales se destacan por su aplicación extendida, estos se diseñan para tratar agua residual pasando a través de los rizomas de plantas en un lecho poco profundo de tierra o arena gruesa. Las plantas introducen oxígeno y cuando el residual percola a través del lecho, las comunidades microbianas aeróbicas se establecen entre las raíces y degradan los contaminantes. El nitrógeno y fósforo son directamente removidos por las plantas. Sin embargo, las plantas no remueven el amoníaco satisfactoriamente y las altas concentraciones de amoníaco que es tóxico, pueden constituir un factor limitante. La precipitación de cantidades grandes de hierro, manganeso y calcio dentro de las plantas también afectará el crecimiento del rizoma. Estudios en el Reino Unido han mostrado el potencial enorme de los humedales, y en combinación con otros sistemas, proporciona efluentes de alta calidad a costo razonable (Robinson et al., 1992).

Los humedales artificiales son sistemas de depuración en los que se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en zonas húmedas naturales. La depuración de las aguas residuales tiene lugar al hacerlas circular a través de estas zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar, de forma simultánea, procesos físicos, químicos y biológicos. Los humedales artificiales se clasifican en dos tipologías, en función del modelo de

circulación del agua: superficial o subterránea. En los humedales artificiales de flujo superficial (Surface Flow Wetlands, SFW), el agua a tratar circula por encima del sustrato, mientras que en los humedales artificiales de flujo subsuperficial (Subsurface Flow Wetlands, SSFW), lo hace de forma subterránea, a través de los espacios intersticiales del lecho filtrante. Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los humedales artificiales de flujo subsuperficial se clasifican en horizontales y verticales. En la actualidad, los humedales artificiales se aplican para el tratamiento de las aguas residuales, tanto urbanas, como industriales (Ferrer et al., 2012).

Estudios de Puigagut et al. (2007) muestran que las cargas orgánicas aplicadas a humedales de flujo horizontal oscilan entre 0,8 y 23 g $DBO_5.m^{-2}.d^{-1}$, y en el caso de los de flujo vertical entre 22,8 y 29,8 g $DBO_5.m^{-2}.d^{-1}$; mientras la eliminación de DBO_5 oscila entre el 80 y el 95% para ambas modalidades. La eliminación de nutrientes no fue muy elevada para ambos tipos de humedales, presentando valores medios de eliminación de 52%, 40%, y 43% para N-orgánico, N-amoniacal y P-total, respectivamente. Los humedales artificiales de flujo superficial se emplean, básicamente, como tratamiento de afino, por ejemplo, para ser alimentados con los efluentes de estaciones depuradoras municipales o de otras plantas de tratamiento.

Las plantas emergentes toleran bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en algunos casos, facilitando el paso del oxígeno desde las partes aéreas hasta la zona radicular. La microfauna aerobia, que coloniza las raíces y los rizomas, es responsable de la degradación de los contaminantes de las aguas. Previo a su ingreso a los sistemas con plantas en flotación, las aguas a tratar se someten a etapas de desbaste y tratamientos primarios, para reducir la presencia de sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes.

Lo anterior justifica la combinación de dos o más tecnologías, o de algunas de sus etapas, con el objetivo de aprovechar los puntos fuertes de una tecnología para solventar las deficiencias y carencias de otra.

La combinación de tecnologías, además de permitir el vertido conforme de las aguas depuradas, también puede perseguir otros fines, como: simplificar y abaratar la gestión de los fangos, el vertido de los efluentes depurados al terreno

cuando no existe cauce próximo, desinfectar y almacenar los efluentes depurados, homogeneizar la calidad del vertido final, aprovechar infraestructuras existentes (reciclado de instalaciones obsoletas), y eliminar nutrientes. Entre las combinaciones de tecnologías más frecuentes destacan: el uso de sistemas de lagunas o lagunas de maduración como tratamiento de desinfección, la aplicación de humedales artificiales de flujo superficial como tratamiento terciario, el empleo de humedales artificiales de flujo vertical en sustitución de la etapa de decantación secundaria, entre otros (Ferrer et al., 2012).

El interés en los sistemas naturales está basado en la conservación de los recursos asociados con estos sistemas, contrario al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos. Los humedales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes, asociada con material particulado, aunque la remoción biológica es el camino más importante para la remoción de contaminantes en los mismos. Por otra parte, el proceso químico de remoción más importante es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes.

Los humedales construidos tienen ventajas respecto a otros sistemas de tratamiento, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los humedales de cultivo acuático, pueden ser una alternativa de costo efectivo, proporcionan el hábitat para la vida silvestre y son estéticamente agradables a la vista.

En los humedales artificiales de agua superficial libre, la profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo y la presencia de tallos de planta y residuos regulan el flujo del agua (Llagas y Gómez, 2006).

1.4.2 Sistemas de tratamiento que se aplican en Cuba

Las lagunas de estabilización constituyen una de las variantes de tratamiento biológico más difundido en Cuba para el tratamiento de aguas residuales con contenido de materia orgánica biodegradable. Los requerimientos de grandes áreas y la producción de efluentes con niveles relativamente altos de sólidos suspendidos (algas) y nutrientes, constituyen sus principales desventajas. En una laguna de estabilización tienen lugar importantes reacciones fisicoquímicas

y bioquímicas que permiten la mineralización de la materia orgánica. Los procesos que tienen lugar en las lagunas dependen del tipo de las mismas y de distintos factores, entre los que se destacan por su importancia, la luz, la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, la cantidad de nutrientes y los elementos tóxicos presentes en el influente, la salinidad y los fenómenos atmosféricos que pueden afectar a la laguna (Oña, 2013).

1.4.3 Consideraciones para la selección del sistema de tratamiento

Todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales son únicos para cada efluente. Antes de seleccionar una estrategia de tratamiento, se debe realizar un análisis de caracterización del residual que requiere un estudio del proceso para evitar una selección incorrecta o un sobrediseño del sistema de tratamiento que resulta costoso e innecesario. Las estrategias de tratamiento necesitan ser basadas en el estado de las regulaciones locales.

Es importante considerar que la industria de la leche es un gran consumidor de agua y generador de aguas residuales, por lo que es un candidato potencial para el reuso. El agua residual purificada puede utilizarse en los sistemas de enfriamiento y calentamiento, la limpieza y otros usos.

Aun cuando el residual purificado no se reúse inicialmente, la industria de la leche será beneficiada por el manejo y tratamiento interno del residual, porque reduciendo el residual en la fuente se puede ayudar a reducir los costos o mejorar el comportamiento de cualquier instalación de tratamiento corriente abajo. Esto evidencia la necesidad de la gestión eficiente de los residuales lecheros. Para seleccionar el método del tratamiento, además se requiere una evaluación económica y ambiental de los diferentes métodos.

Por lo que el análisis a realizar debe incluir la caracterización del residual (determinación de composición del agua residual, concentraciones, volúmenes generados), y susceptibilidad del tratamiento, así como el impacto medioambiental de la solución a ser adoptada. Todas las opciones son caras, pero un análisis económico adecuado puede indicar por ejemplo que los costos de mantenimiento ligeramente más altos pueden elevar los costos de operación.

Lo que es apropiado para un sitio puede ser impropio para otro. Los procesos más útiles son aquéllos que pueden operarse con un mínimo de vigilancia y tengan estructura barata. La variabilidad en cantidad y calidad de los residuales de la industria de la leche también deben ser incluidas en el plan y los procedimientos operacionales.

En la literatura aparece que la mayoría de los métodos biológicos son más adecuados por la efectividad y costo de la remoción de compuestos orgánicos, los métodos aeróbicos como los más fácil controlar, pero los métodos anaerobios tienen más bajos requisitos de energía y las más baja producción de lodo. Por tanto, la combinación de diferentes tipos de procesos resulta una opción beneficiosa (Britz, van Schalkwyk and Hung, 2006).

1.4.4 Ventajas y desventajas de la aplicación de sistemas de tratamiento

Ventajas:

- El beneficio más importante es el ahorro económico para la empresa debido a la disminución de los costos de operación. El agua residual que recibe tratamiento puede ser reutilizada para diferentes usos: lavado de equipos y superficies, agricultura, ganadería y otros como el regadío de zonas verdes: jardines, parques o campos deportivos.
- Mediante los sistemas anaerobios, las aguas residuales pueden convertirse en una fuente de combustible (biogás) que puede usarse para producir energía eléctrica.
- Minimiza el impacto medioambiental ya que las aguas tratadas pueden verterse sin riesgo alto.
- El proceso de tratamiento previene la aparición de enfermedades.

(https://www.domosagua.com/blog/tratamiento-aguas-residuales-industria-lacteos).

Desventajas:

- Molestias en las cercanías inmediatas (olor, ruido).
- Ocupación de terreno.

1.5 Producciones más limpias

1.5.1 Prevención de la contaminación

La reducción de niveles de contaminación de aguas residuales puede lograrse más eficientemente por el control del uso del agua y el derroche de productos en el proceso de las plantas de leche. Un principio importante es prevenir derroche de producto en el sitio. Los subproductos sólidos deben coleccionarse en las áreas de producción para darle una utilización y no enviarse a los residuales.

Deben realizarse cambios en el proceso de manufactura, que reduzcan la generación de residuales. También es importante controlar el mantenimiento regular del equipamiento evitando goteos y derramamientos, así como permitir el tiempo adecuado para agotar el producto de tanques y otros recipientes antes de enjuagarlos con agua (Britz, van Schalkwyk and Hung, 2006).

Según Clift (2001), un mayor desarrollo, reduciendo la contaminación y al mismo tiempo, reduciendo el consumo del recursos ha sido la concepción de evitar la contaminación en lugar del tratamiento. Este concepto ha conducido al de Prevención de la Contaminación, que se define como: reducción en la fuente y otras prácticas que reducen o eliminan la creación de contaminantes a través de:

- Aumento de la eficacia en el uso de materias primas, energía, agua, u otros recursos; o
- Protección de recursos naturales por conservación.

La prevención de la contaminación debe incluir el reciclaje y re-uso de materiales que de otra forma se dispondrían como residuo. Internacionalmente, el movimiento equivalente a este concepto es la Producción más Limpia (P+L), definida por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) como "un enfoque conceptual y procedimental para la producción que demanda que todas las fases del ciclo de vida de un producto o de un proceso deben dirigirse con el objetivo de prevención o minimización, a corto o largo plazo, de los riesgos a la salud humana y al ambiente."

Se distinguen tres niveles para producir un producto aplicando P+L:

1. Minimizar la producción de residuos, efluentes y consumo de energía dentro del proceso (reducción de residuos).

2. Modificar la tecnología para usar los mismos materiales pero más eficazmente y con menos energía (cambio de tecnologías).
3. Rediseñar el proceso y el cambio de materias primas.

En la Guía de Producción más Limpia para el procesamiento de caña de azúcar del Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH) se plantea que la P+L es la continua aplicación de una estrategia ambiental preventiva, integrada a los procesos, productos y servicios, con el fin de mejorar la eco-eficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente (CNP+LH, 2009; PNUMA/IMA, 1999). En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) desarrolló una metodología de P+L basada en la evaluación de los procesos e identificación de las oportunidades para usar mejor los materiales, minimizar la generación de los residuos y emisiones, utilizar racionalmente la energía y el agua, disminuir los costos de operación de las plantas industriales, mejorar el control de procesos e incrementar la rentabilidad de las empresas, aplicando el concepto de las 3 R's (Reducción, Reutilización y Reciclaje) (ONUDI, 1999).

Esta metodología permite al sector productivo ser más rentable y competitivo a través del ahorro generado por el uso eficiente de materias primas y por la reducción de la contaminación en la fuente de sus procesos, productos o servicios; con lo que además se evitan sanciones económicas por parte de las autoridades ambientales y se promueven nuevos beneficios al ofrecer al mercado productos fabricados bajo tecnologías limpias (Centro Ecuatoriano de Producción más Limpia, 2007).

Con la implementación de P+L se busca pasar de un proceso ineficiente de control de la contaminación "al final del tubo", a un proceso eficiente de prevención de la contaminación desde su punto de origen, a través de la conservación y ahorro de materias primas, insumos, agua y energía a lo largo del proceso industrial. Se previene la contaminación al sustituir las materias primas que contengan una alta carga contaminante, y al crear los soportes administrativos que permitan manejar integralmente los residuos.

El proceso de reducción de la contaminación se realiza en cuatro niveles de acción, dentro de los cuales se encuentran los niveles preventivos (la reducción y el reciclaje/reutilización) y los de control (tratamiento y disposición final).

1.5.2 Opciones generales de P+L

En el proceso de evaluación de la empresa, después de identificar las fuentes de residuos, de emisiones y de desperdicio de materias primas y energía, se inicia la búsqueda de medidas correctivas. Los elementos básicos a considerar se presentan a continuación:

- Cambios en las materias primas: Permite reducir la generación y formación de residuos peligrosos, originados por la presencia de impurezas en las materias primas inadecuadamente seleccionadas. Así, se elimina la necesidad de aplicar un tratamiento al “final del tubo”.
- Cambios en las tecnologías: Modificaciones en el proceso o en los equipos, para lograr el uso eficiente de materias primas y energía, así como reducir la generación de residuos y emisiones.
- Generar buenas prácticas operativas: Optimización de procedimientos operativos y administrativos para reducir o eliminar, residuos, emisiones, uso ineficiente de insumos y tiempos de operación.
- Reutilización y reciclaje en planta: Recuperación de materias útiles, reduciendo así los gastos innecesarios.

De la evaluación del estado de la empresa y de las opciones generales de P+L que se apliquen, se pueden obtener los siguientes resultados:

- Localización de las principales entradas: consumo de agua, energía, materia prima e insumos.
- Identificación de las principales fuentes de residuos y las cantidades generadas.
- Identificación de procesos que generan una cantidad considerable de residuos.
- Establecimiento de puntos críticos.
- Identificación de fortalezas desde el enfoque de procesos, y desde un análisis económico y ambiental (CONAM, 2003; ONUDI, 1999).

Entre los beneficios de la aplicación de P+L se destaca la mejora de la relación de las organizaciones con la Autoridad Ambiental y contribuye al cumplimiento de las regulaciones vigentes; decrece la necesidad de equipos de tratamiento de la contaminación, al generarse menores volúmenes de residuales a tratar y disponer, se producen mejoras en la calidad de vida de los residentes en áreas aledañas a las instalaciones productivas y ventajas económicas por la utilización de residuos o subproductos de los procesos (http://www.dairypc.org/ 2008).

1.6 Análisis de Ciclo de Vida

Según la Organización Internacional para Estandarización (ISO), un Análisis de Ciclo de Vida medioambiental (ACV) estudia los aspectos medioambientales y potenciales impactos de un producto, proceso o servicio a lo largo de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima a través de la producción, uso y disposición. La importancia del ACV en la P+L es que proporciona un enfoque estructurado para definir y evaluar la carga medioambiental total asociada con proporcionar un servicio.

El ACV evita el riesgo de aparentemente mejorar el proceso para prevenir la contaminación, pero transferirlo realmente a algún otro punto de la cadena de suministro de material o energía.

El ACV puede usarse para la valoración de P+L o como complementario a otras herramientas como la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), entre otras aplicaciones (Clift, 2001).

1.6.1 Etapas del ACV

El ACV es una herramienta estandarizada por ISO (ISO 14040 e ISO 14044) que evalúa la actuación medioambiental de productos y servicios a lo largo de su ciclo de vida (ISO, 2006a,b). Evalúa los impactos medioambientales cuantificando todas las entradas y salidas y evalúa la contribución de estas entradas y salidas a las categorías de impacto, como el cambio climático, ecotoxicidad y agotamiento de ozono, etc.

Según ISO, el ACV se estructura en cuatro fases:

La primera fase, definición de objetivos y alcance, define el propósito y alcance del estudio de ACV, expresando el nivel de detalle que se requerirá. Declara la unidad funcional y describe los requisitos de los datos.

La segunda fase, análisis del inventario, es donde se reúnen todos el datos y se relacionan a la unidad funcional del estudio. El resultado es un Inventario de Ciclo de Vida (ICV). También pueden realizarse otros procedimientos, como la asignación en casos dónde hay salidas múltiples y evaluación de los datos (por ejemplo el análisis de sensibilidad). En el caso de valoraciones de aguas, balances de entradas-salidas, basados en los usos del agua se realizan durante la fase de análisis de inventario.

La tercera fase, evaluación de impacto, evalúa el ICV con respecto a los impactos medioambientales. Los resultados del ICV se asignan a las categorías de impacto mediante el proceso de clasificación. Se usan factores de caracterización para transformar los resultados del ICV en unidades comunes, que son agregadas para obtener un solo número para cada categoría de impacto. La caracterización aporta el perfil ambiental del sistema en estudio.

La cuarta fase (final), interpretación, evalúa e interpreta los resultados de las fases anteriores. Pueden evaluarse los resultados a través de análisis de sensibilidad, de incertidumbre y otros. En la fase final se informan las conclusiones y recomendaciones.

Mediante ACV se pueden analizar impactos relacionados con la contaminación del agua. Los aspectos cuantitativos de uso del recurso agua no habían sido bien tratados en las metodologías de ACV hasta años recientes (Koehler, 2008), pero en la actualidad existen métodos que lo permiten. Mila I Canals et al. (2009) y Pfister et al. (2009) sugieren que los impactos relacionados con el agua pueden analizarse por el consumo del recurso agua, como la pérdida de agua del sistema de agua dulce.

Las emisiones al agua se evalúan individualmente dentro de categorías de impacto como la eco-toxicidad y eutrofización o combinadas como impactos en la calidad del ecosistema. Bayart et al. (2010) identifican algunos impactos adicionales del uso degradativo.

Para evitar el doble conteo, esquemas de contabilidad de agua aplicados en un contexto de ACV deben responder sólo al consumo de agua, ya que la contaminación de agua dulce es cubierta por otras categorías de impacto. Hay métodos específicos desarrollados para describir los impactos en el campo de eutrofización, la acidificación y eco-toxicidad que usan diferentes modelos para las relaciones de causa-efecto e índices (Goedkoop et al., 2009; Struijs et al., 2011; Itsubo et al., 2008).

El ACV evalúa las consecuencias del consumo de agua (o uso) en la salud humana, ecosistemas, y recursos. Es un proceso objetivo para identificar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El análisis incluye el ciclo de vida completo del producto, proceso o actividad, abarcando la extracción y procesado de las materias primas; fabricación, transporte y distribución; uso, re-utilización, mantenimiento; reciclaje y disposición final que ha recibido un importante impulso en los últimos años (Consoli et al., 1993; Hospido, 2005).

Chen (2017) plantea que según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), sólo aproximadamente 9000 a 14000 km^3 de agua dulce está económicamente disponible para el uso humano cada año (FAO 2010). Se espera que la población del mundo crezca en 2 mil millones para el 2030. Proporcionar el agua adecuada para todas estas personas realmente es una preocupación mayor, sobre todo cuando las necesidades humanas básicas son afectadas, como el consumo humano de agua directo, agua para los usos domésticos, agua para la producción de alimentos y procesamiento, y agua para la fabricación de bienes. La escasez de agua tiene consecuencias en la sociedad a todos los niveles. Desde el punto de vista medioambiental, la escasez de agua disminuye el flujo de los ríos, lo cual rebota en alguna fase en el suministro de agua para las necesidades humanas. Desde el punto de vista económico, las pérdidas atribuidas a sequedades o períodos largos de escasez de agua en regiones áridas se convierten muy importantes para sectores como la producción industrial, hidroeléctricas, agricultura, y rendimiento del ganado (World Bank 2010).

Los recursos convencionales de aguas superficiales y subterráneas tienen falta de calidad (contaminación y salinización de depósitos naturales) y cantidad

(sobreexplotación de recursos de agua dulce naturales); además, la extracción y tratamiento de recursos de agua fresca están poniéndose tecnológicamente muy complejos y caros. Dado las limitaciones para los recursos de agua convencionales, el uso de recursos no convencionales o demanda de gestión está recibiendo atención creciente.

La creciente escasez de agua acoplada con el incremento del costo agua dulce y su tratamiento ha incitado a la industria a pensar en conservación de agua, reuso, y reciclaje. Mediante el ACV en los sistemas de aguas residuales industriales y municipales, se realizan estudios con un enfoque en los efectos a corto y largo plazo y los beneficios de reusar y reciclar las aguas en la economía, energía, salud pública, ambiente, y ecología de agua (Das 2005, 2015).

1.6.2 Aplicaciones del ACV

En la literatura se muestran múltiples aplicaciones del ACV a distintos sectores, entre los que se pueden destacar los realizados por Hospido et al. (2007) para la comparación de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Algunos de los sectores más avanzados en la aplicación de ACV son: la construcción y la industria alimenticia, entre ellas la industria azucarera en nuestro país con trabajos donde se demuestra la ventaja del aprovechamiento de subproductos del proceso y otras medidas para disminuir el impacto ambiental (Pulkkinen et al., 2011; Stern et al., 2005; Contreras et al., 2017; Contreras et al., 2009; Contreras et al., 2013; Pérez et al., 2013).

Sin embargo, el ACV también presenta los desafíos, primero, la disponibilidad limitada de datos puede obligar a hacer simplificaciones que pueden llevar a pérdidas de exactitud. Las opciones metodológicas y suposiciones como la delimitación de límites del sistema, unidades funcionales, y técnicas de asignación, puede ser subjetivo y puede afectar los resultados. Estas complicaciones requieren un análisis de sensibilidad completo.

Finnegan, et al. (2018) analiza los resultados de 16 publicaciones que evalúan el impacto ambiental de la producción de diferentes tipos de queso. Los datos utilizados en los diferentes estudios son de múltiples fuentes (mediciones directas, bases de datos o de estudios previamente realizados en procesos similares que están en la literatura). En los resultados se destacan los elevados

consumos de agua, que de forma general, en los estudios analizados varía entre 1- 60 L por kg de queso; pero existen grandes diferencias entre los valores reportados por diferentes autores y de una región a otra; por lo que resulta importante realizar una evaluación para cada estudio y valorar estrategias para reducir el consumo de agua. Las fuentes de agua varían en los diferentes estudios (subterráneas, superficiales, de abastecimiento público y en algunos casos agua reciclada). La generación de aguas residuales también muestra elevadas fluctuaciones (0,6- 50 L por litro de leche procesada). En la mayoría de los estudios se ofrece poca información sobre tipos de aguas residuales y sistemas de tratamiento; esto puede deberse a la falta de información o a que cuando se han evaluado anteriormente, los impactos han resultado insignificantes, comparados con los de la producción y procesamiento de la leche. Sin embargo, esta información es vital, ya que no solo el volumen, sino también la composición de los residuales lácteos varían ampliamente. Para la producción de queso, en un estudio se reporta una DQO de 3000 mg/L, mientras en otro es de 365000 mg/L. por lo que lo más adecuado es usar datos del sitio específico. En la mayoría de los estudios se destaca el impacto por eutrofización del agua dulce con valores aproximados a los de los tratamientos de residuales municipales. La mayoría de los estudios son de la cuna a la puerta, omitiendo el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, se ha evaluado que el potencial de eutrofización es altamente dependiente de las estrategias de tratamiento empleadas y esto tiende a ser omitido en los reportes de ACV realizados.

1.7 Conclusiones Parciales

1. La industria láctea es considerada una de las mayores fuentes de residuales en muchos países, caracterizados por amplias fluctuaciones en flujo y pH, elevadas concentraciones de demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO_5), sólidos suspendidos, nitrógeno, grasas y aceites y productos de procesos asociados como la limpieza; lo cual incrementa la complejidad de los tratamientos para prevenir o minimizar los problemas ambientales.
2. Actualmente existe una amplia variedad de tecnologías que permiten el tratamiento de los residuales de la industria láctea, no obstante, la estricta legislación ambiental vigente, la escasez de agua fresca y los costos de los sistemas de tratamiento incrementan la necesidad de mejorar el control de la

generación de los residuales y una minuciosa selección de los métodos de tratamiento a aplicar.

3. Debido a que la industria láctea es una de las mayores consumidoras y generadoras de agua, es una fuerte candidata para implementar estrategias de reuso de agua.
4. Los métodos bilógicos son los más apropiados para el tratamiento de los residuales lácteos, debido al carácter orgánico de los contaminantes, pero generalmente, un simple proceso de tratamiento no es capaz de cumplir con los requerimientos de las descargas, por lo que se necesita seleccionar una combinación de procesos para tratar cada residual específico.
5. Aunque las lagunas son simples en operación presentan mecanismos de degradación complejos, ocupan extensas áreas, presentan elevados tiempos de retención e inestabilidad en dependencia de las condiciones ambientales.
6. Los sistemas de humedales han logrado una amplia aplicación y en combinación con otros sistemas biológicos producen efluentes de alta calidad a costos razonables.
7. La prevención de la contaminación reduce la contaminación y el consumo de recursos, incluyendo el reciclaje y reuso de materiales mediante estrategias de P+L y ambos están estrechamente ligadas al enfoque de Ciclo de Vida.

Capítulo 2: Evaluación de la situación actual del sistema de tratamiento de las aguas residuales existente en la UEB Productos Lácteos Mérida.

En este capítulo se realiza un diagnóstico del comportamiento de la gestión actual de las aguas residuales en la UEB Productos Lácteos Mérida.

2.1 Metodología para el diagnóstico del sistema de tratamiento

La metodología se basa en realizar un análisis de la gestión general de las aguas residuales, a partir de los resultados, establecer el nivel de contaminación ocasionado por los mismos, mediante un ACV simplificado, para seleccionar las medidas a implementar para elevar la eficiencia en el tratamiento de los residuales y por tanto, mejorar el desempeño ambiental de la empresa.

El análisis se realiza a partir de los datos de caracterización de las aguas residuales disponibles en la fábrica, análisis de los procesos productivos de elaboración de quesos frescos, utilizando los diagramas de bloques y de flujo, así como los balances de masa realizados, para la identificación de los puntos críticos relacionados a la generación de residuales y análisis del sistema de tratamiento de residuales para la formulación de propuestas para la prevención, manejo y control de los mismos.

Para la realización del diagnóstico se utilizan técnicas de investigación como observaciones, análisis de documentos, entrevistas a empleados de la entidad y vecinos del área como se describe:

- Revisión de los informes emitidos por el Instituto de Recursos Hidráulicos Provincial referente a la caracterización de los residuales líquidos generados y en diferentes puntos del sistema de tratamiento.
    - La caracterización de las aguas se realiza empleando los métodos standard para análisis de agua y aguas residuales por especialistas de los laboratorios de Recursos Hidráulicos.

- Análisis del estado técnico del sistema de tratamiento, verificando aspectos como:
  - Funcionamiento de las trampas de grasas.
  - Funcionamiento del sistema de rejillas.
  - Características de los residuales que llegan a las unidades de tratamiento.
  - Funcionamiento de las lagunas.

- Determinación del consumo de agua y generación de residuales en la industria mediante el análisis del proceso productivo, definiéndose los principales puntos donde se generan residuos.

2.2 Resultados del diagnóstico y discusión

2.2.1 Breve caracterización de la fábrica de Quesos Mérida

La fábrica de Quesos Mérida es un establecimiento de la Empresa de Productos Lácteos Río Zaza, perteneciente al Grupo Empresarial de la Industria Alimenticia, se encuentra situada en localidad a la cual debe su nombre, Mérida, línea norte, Yaguajay, provincia de Sancti Spíritus.

La fábrica fue fundada en 1946. Sus producciones iniciales fueron queso blanco, el que se comercializó con el nombre de San Felipe, en honor al padre del propietario y la mantequilla Siboney.

En 1958 se moderniza la tecnología, se introdujeron máquinas tales como: clarificadora, pasteurizador, homogenizador, calderas de vapor y se diversificó la producción, iniciándose la elaboración de tres tipos de quesos semiduros: Patagrás, Gruyere y Cheddar. Con el proceso revolucionario, en 1966 se nacionaliza la fábrica y se comienza a fabricar el queso Mérida.

En 1996 se realiza una inversión de envergadura en la fábrica que permitió diversificar la producción a gran escala por la instalación de un tacho con capacidad de 300 Kg para la producción de queso fundido. Posteriormente en 1998 se inaugura una planta de helados. En este período se comienza además a elaborar el queso semiduro “Iguará, con la característica específica de sustituir

parte de la grasa animal (grasas saturadas) por grasa vegetal, menos perjudicial a la salud humana. También se introduce en la línea la producción de lactogel, como vía para aprovechar el suero de los quesos para el consumo humano.

En el año 2007 se inicia la construcción de un laboratorio con requerimientos para la competencia y la remodelación total de la edificación, se instala una nueva tecnología china, conformada básicamente por un pasterizador y una descremadora-clarificadora. Además, se remodela un área climatizada con una moderna máquina para el empaque al vacío de los quesos. Finalmente en el año 2009 se instala un novedoso sistema de refrigeración que cubre el funcionamiento de las cuatro neveras anteriores de la industria, lo que mejoró considerablemente las condiciones de almacenamiento de las producciones.

Los productos que ahí se producen son comercializados en el mercado nacional y en el campo del turismo. Se obtienen productos como quesos, requesón, mantequilla, yogurt, entre otras, asociados a productos químicos y residuales que tienen un gran impacto ambiental.

La producción de quesos de la fábrica es de dos toneladas y media de queso producción de requesón y nutrigurt y la otra parte es destinada para el consumo animal.

El sistema de tratamiento de residuales se encuentra dentro del área de la Planta Procesadora. Actualmente todos los residuales generados por la Planta Procesadora Quesos Mérida, van a parar a una cañada cercana al lugar.

El área del sistema de tratamiento presenta una topografía relativamente llana. Predomina un clima de tipo tropical con una marcada diferenciación entre los períodos seco y húmedo.

2.2.2 Resultados de caracterización de las aguas residuales

Los resultados de caracterización de las aguas residuales emitidos por el Instituto de Recursos Hidráulicos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de caracterización.

N° de muestra	pH(u)	CE (µS/cm) 25 °C	DBO_5 20°C mg/L	DQO mg/L	SS ml/L	CT NMP/100 ml	CTT NMP/100 ml
510	4,15	29400	11220	33600	6	$>1,6x10^5$	$>1,6x10^5$
511	6,49	4463	775	2320	4	$9,2x10^4$	$5,4\ x10^4$
512	7,22	4927	480	1440	0	$4,3x10^4$	$3,5\ x10^4$
LMP	6-9	3500	60	120	5		

Identificación de muestras

n° de muestra	Identificación
510	UEB Mérida entrada laguna 1
511	Salida laguna 1
512	Salida laguna 2

El análisis de los resultados emitidos por el Instituto de Recursos Hidráulicos muestra que los residuales de la UEB Mérida son altamente contaminantes.

Presentan elevados valores de Conductividad Eléctrica y carga orgánica, en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), los cuales a la salida de la laguna 2, están muy por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la NC 27: 2012, para un cuerpo receptor tipo C, lo que indica claramente que el residual generado posee alta carga orgánica. De forma similar se comportan los valores de coliformes totales y termotolerantes.

Estos resultados indican que dichos residuales no presentan condiciones para ser vertidos en el cuerpo receptor. Además, se evidencia que el sistema de tratamiento no funciona adecuadamente y por tanto se requiere implementar medidas que reviertan esta situación.

2.2.3 Evaluación del estado técnico del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento instalado en la Planta procesadora de quesos se muestra en la figura 2.

Como se puede observar, los residuales colectados en la planta son conducidos a un tanque de maduración, pasando previamente por una cámara de rejas y una trampa de grasas. Posteriormente pasan a un sistema de dos lagunas (anaerobia y facultativa), para finalmente ser dispuestos en un cuerpo receptor, que según su uso, se clasifica como clase C.

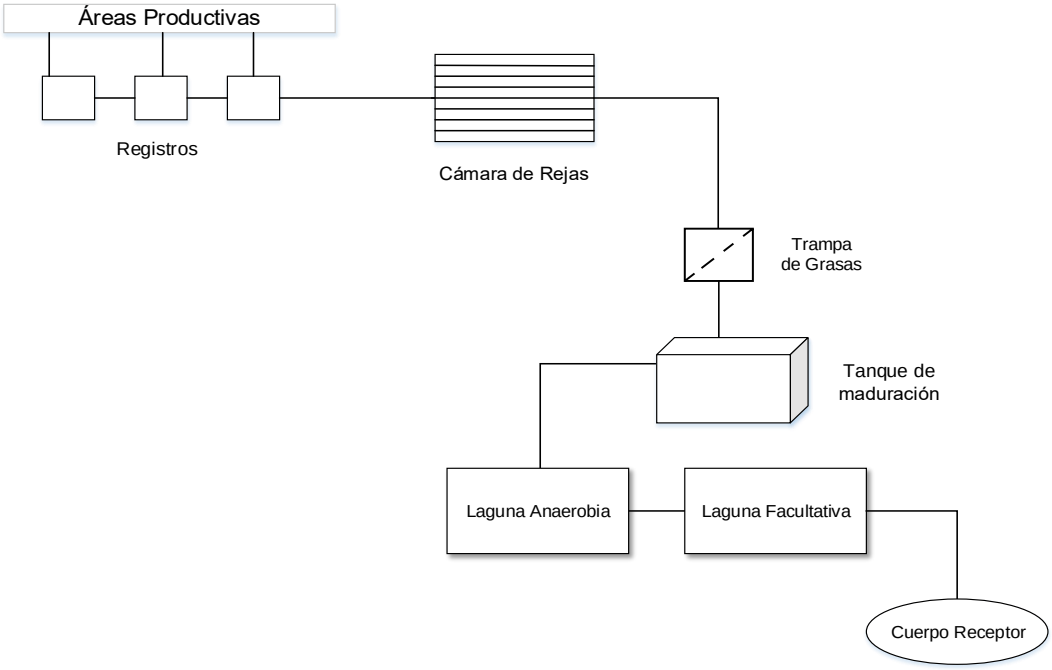


Figura 2. Sistema de tratamiento de residuales de la fábrica de quesos Mérida

De la observación realizada se pudo verificar que la cámara de rejas y trampa de grasas se encuentran obstruidas y por las entrevistas a empleados de la entidad se pudo conocer, que las mismas no reciben la limpieza sistemática que requieren.

De forma similar, se observa que la primera laguna presenta una capa de grasa en su superficie. Los empleados refieren que en muchos años de trabajo en la planta, no han visto que se le realizara limpieza a las mismas. Los vecinos del

área se quejan de la presencia de mosquitos y malos olores en los alrededores del sistema.

2.2.4 Análisis del proceso productivo

En la figura 3 se muestra el diagrama de las etapas generales de la producción de quesos frescos y semiduros con las principales entradas y salidas relacionadas con la gestión de aguas residuales.

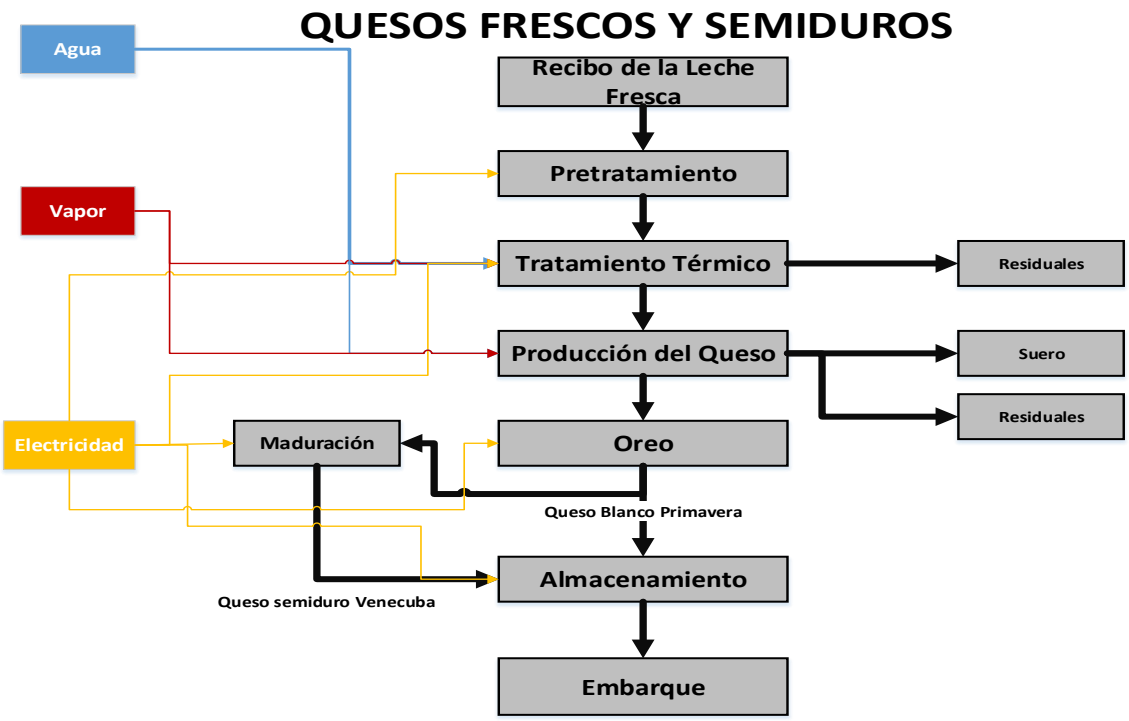


Figura 3. Diagrama del proceso de producción de quesos frescos y semiduros

Como se observa, las corrientes principales de aguas residuales se obtienen en las etapas de tratamiento térmico y de producción.

El consumo de agua en la UEB Productos Lácteos Mérida, es de 100 m^3/día. Esta se utiliza para la elaboración de los alimentos (de 4000 – 4500 L/día), para la preparación de las soluciones de limpieza (300L para la solución de sosa al 2%, 300L para la solución de ácido fosfórico al 1,5% y de 200-300L para la solución de detergente al 2,5%). El resto se utiliza en los sistemas de enfriamiento y la limpieza de equipos y locales de la planta.

Como resultado del balance de agua en la planta se determinó que aproximadamente 93 m^3/d de agua son enviados al sistema de tratamiento de residuales. Las aguas provenientes del proceso productivo están compuestas fundamentalmente por suero y agua de enjuague de leche, trozos de queso, productos químicos de limpieza como detergentes, ácido fosfórico y sosa cáustica y a estas se unen los albañales procedentes de la cocina - comedor y los baños.

Se observó que la situación del proceso se agrava por las indisciplinas tecnológicas que conllevan a un consumo excesivo de agua, lo cual tributa a los elevados volúmenes de aguas residuales y al nivel de contaminación de los mismos, lo que unido al mal estado de los componentes del sistema de tratamiento, provoca la situación de vertimiento de residuales que no cumplen con la NC 27:2012.

2.2.5 Evaluación del impacto ambiental de la etapa de tratamiento de residuales mediante ACV

Se realiza un ACV simplificado, dada la poca disponibilidad de datos y la amplia información de la literatura consultada, sobre estudios de ACV de la producción de quesos. Como se explica en el Capítulo 1, los estudios realizados muestran que los principales impactos de este proceso están en las etapas de producción y procesamiento de la leche, omitiendo la etapa de tratamiento de residuales. Sin embargo, resulta de gran importancia evaluar el potencial contaminante de los residuales, lo cual está muy relacionado con las estrategias de tratamiento empleadas y facilita la valoración de P+L.

El análisis se realizó siguiendo las etapas del ACV establecidas en la norma ISO 14040 y que se muestran en la figura 4.

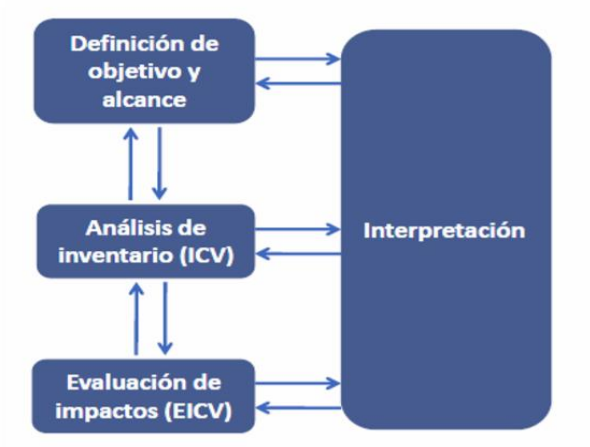


Figura 4. Etapas del ACV

Definición de objetivos y alcance:

El objetivo del estudio es determinar el impacto ambiental generado por el sistema de tratamiento de residuales líquidos de la planta de quesos Mérida y a partir de los resultados obtenidos proponer mejoras para reducir el mismo.

La función del sistema es reducir la carga contaminante de los residuales generados en la planta.

La unidad funcional considerada es la cantidad de residuales generados en un día, que son alimentados al sistema de tratamiento.

Límites del sistema: Se incluyen las entradas al sistema de tratamiento instalado y las salidas al cuerpo receptor.

Para realizar la evaluación de los impactos ambientales se utilizó el software SimaPro, mediante el método ReCiPe, que es el recomendado para el sector alimentario (Heinonen et al., 2016).

Análisis de inventario

Se incluyen los datos correspondientes a cantidad de agua residual y los componentes presentes en la misma, de acuerdo a los resultados de caracterización, información obtenida en la fábrica y la base de datos Ecoinvent.

Para los productos químicos utilizados en la limpieza se hacen aproximaciones según Canellada, (2017).

Evaluación de impacto.

A partir de los datos de inventario se realiza la evaluación de impacto por el método ReCiPe. La figura 4 muestra los resultados de caracterización.

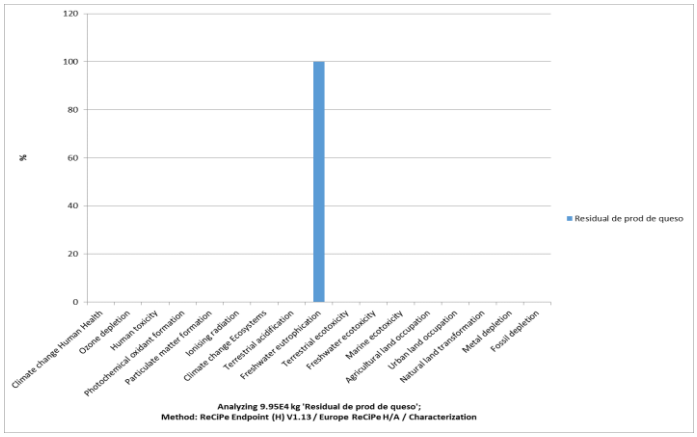


Figura 4. Resultados de caracterización

Interpretación

Como se puede observar el impacto fundamental que se produce es a la categoría de eutrofización del agua dulce, debido a la alta carga orgánica que presentan esos residuales y los contenidos de nitrógeno y fósforo.

Estos resultados, enfatizan la necesidad de implementar medidas para disminuir el impacto que producen estas aguas en el cuerpo receptor

2.3 Conclusiones Parciales

1. Los residuales líquidos generados en la planta de queso Mérida producen un elevado impacto ambiental por eutrofización del agua dulce, debido a la alta carga orgánica que presentan esos residuales y los contenidos de nitrógeno y fósforo.
2. La alta carga del residual generado en la planta se debe fundamentalmente a:
   - ✓ Mal estado de los componentes de la planta de tratamiento de residuales líquidos.

- ✓ Consumo excesivo de agua y elevado nivel de contaminación, por indisciplinas tecnológicas

3. Es necesario tomar medidas para lograr mejorar las prácticas operacionales e intensificar el sistema de tratamiento instalado.

Capítulo 3: Propuesta de medidas de producciones más limpias.

En la ``UEB Productos Lácteos Mérida´´ se pueden aplicar una serie de medidas que responden al concepto de producciones más limpias, mejorando el entorno de trabajo, la calidad del proceso productivo, aumentando las ganancias y lograr un buen desempeño ambiental dentro de la empresa de una manera sencilla.

3.1 Medidas de producciones más limpias a aplicar en ``UEB Productos Lácteos Mérida

Las medidas que se pueden aplicar, de forma general se agrupan en:

- Buenas Prácticas operacionales dirigidas a reducir los volúmenes y carga contaminante de las aguas residuales, que implica:
  - Mantener una adecuada disciplina tecnológica.
  - Ahorro de agua en las actividades de limpieza y otras.
  - Realizar mantenimiento preventivo para evitar salideros, fuga de producto en las aguas residuales.
  - Prevención de derrames y pérdidas de materiales durante el almacenamiento, transporte y dosificación.
- Control operacional del procesos mediante:
  - Registro y control de consumo de materias primas, agua y energía.
  - Registro y control de productos por proceso.
  - Programación de la producción y lavado de equipos.
  - Utilización de químicos aprobados para la limpieza y desinfección.
- Cambios tecnológicos:
  - Recolección y reutilización de las aguas empleadas en el enfriamiento de la leche, tanto en el pasteurizador como en la cuba de quesos.
  - Instalación de calentadores solares para calentar el agua de limpieza, así se reducen el empleo de ácidos y sosa para remover la grasa, además

de mejorar la higiene y ahorrar portadores energéticos pues actualmente se emplea el pasteurizador para calentar el agua.

- Optimizar el empleo del vapor y del agua en las cubas de queso, pues su forma no favorece la correcta distribución de dichos fluidos en las chaquetas, provocando que se gaste más energía de la necesaria para lograr cocinar la cuajada.
- Aprovechamiento económico de los residuales. Analizar si una vez intensificado el sistema de tratamiento, el efluente puede ser utilizado para fertirriego.

Medidas para la intensificación del sistema de tratamiento:

- Realizar la limpieza y mantenimiento planificado de las cámaras de rejas y trampas de grasa.
- Realizar el dragado de las lagunas.
- Reparación de los taludes de las lagunas.
- Construir un humedal subsuperficial horizontal como tratamiento terciario para garantizar la calidad del efluente tratado.

3.2 Dimensionamiento del humedal

El área superficial del humedal, necesaria para lograr la remoción de los contaminantes, se calcula de acuerdo a las ecuaciones cinéticas obtenidas por Pérez et al., (2014) (Ecuación 3.1).

Ecuación cinética de primer orden considerando la eliminación de la DBO_5.

$$A_s = L * W = \frac{Q \ln(Co/Ce)}{K_T yn} \qquad (3.1)$$

Donde:

Flujo (Q): 100 m^3/d

Sustrato: grava

n: Porosidad 0,35

y: Profundidad 0,4 m

As: Área superficial

Co: Concentración de DBO_5 afluente: 90 mg/L

Ce: Concentración de DBO_5 efluente 50 mg/L

K 3,64 d^{-1}; para DBO_5, reportado por Pérez et al., (2014)

En la tabla 3 se muestra el área superficial y tiempo de retención calculados.

Tabla 3. Área y tiempo de retención calculados

Área (m^2)	t (h)
115	4

Se propone un 25% de sobrediseño, teniendo en cuenta que se emplearon constantes obtenidas para un humedal subsuperficial vertical, proponiéndose finalmente un área de 144 m^2 para el humedal. Se propone construir tres humedales de 24 m de largo y 2 m de ancho (Figura 5)

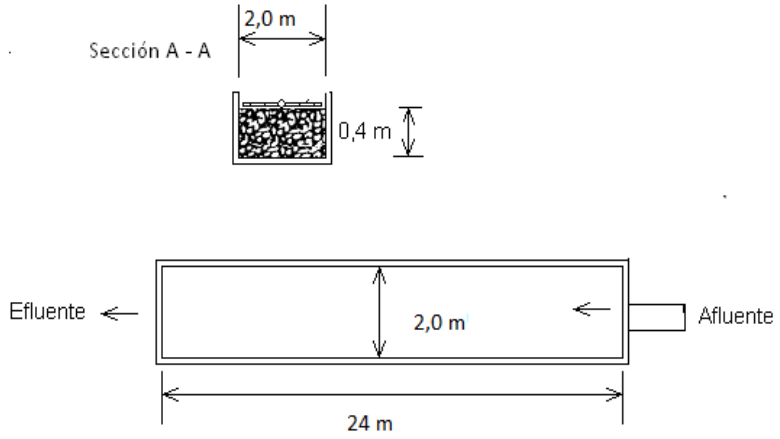


Figura 5. Esquema del humedal

En la tabla 4 se presenta un resumen de los principales parámetros de diseño de los humedales.

Tabla 4. Parámetros de diseño de los humedales

Parámetro de diseño	
Medio poroso	grava
Profundidad	0,4 m
Largo	24 m
Ancho	2 m
Área superficial	48 m^2
Flujo	100 m^3/d
Tiempo de retención hidráulico	4 h

3.2.1 Análisis económico

Se realiza el análisis económico solo para el humedal que constituye la inversión de mayor magnitud.

Costos de inversión: Se estimaron según el manual de la Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, 2000) y los precios del PRECONS para los materiales de construcción.

Tabla 5. Costos de inversión

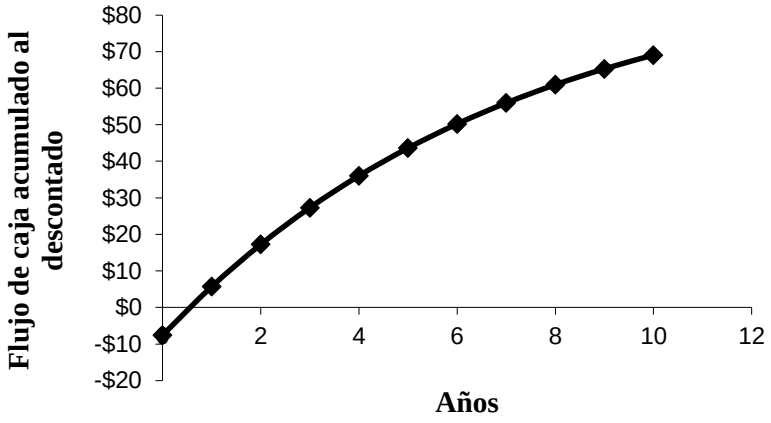
Elemento	Cantidad	Costo unitario ($)	Costo ($)
Movimiento de tierra.	144 m^2	2,5	365
Recubrimiento.	144 m^2	2,1	299
Medio Grava/Suelo	144 m^2	10,9	1574
Estructura de entrada y descarga.	144 m^2	1,3	184
Costos de ingeniería.	144 m^2	0,7	100
Total			**2523**

Costos de Operación:

- Análisis de laboratorio: $1 886 (frecuencia anual de análisis de 5 muestras).
- Mantenimiento: $102 al año.
- Mano de obra: 1 obrero con un salario mensual de 275 pesos.

Ingresos: se consideran las externalidades: daños evitados a la salud de las personas y a la fauna acuática.

Análisis de los indicadores dinámicos de rentabilidad



VAN	$60 032,70
TIR	202%

Figura 6. Flujo de caja acumulado

Se obtienen valores del VAN de $60 032,70 y un tiempo de recuperación de la inversión menor de un año.

3.3 Análisis del impacto ambiental después de aplicar las medidas

Se evalúa el impacto ambiental de las aguas residuales en las mismas condiciones que en el capítulo 2, pero ahora considerando los efectos de aplicación de las medidas para intensificar el tratamiento. Es decir, la trampa de grasas funcionando con una eficiencia de remoción del 20 % de la DQO, la laguna de oxidación anaeróbica con 80 % de remoción de la DBO_5 y la laguna facultativa con 90 % de remoción de DBO_5. Además, con la construcción del humedal se puede remover

la materia orgánica hasta niveles inferiores a los establecidos por la norma de vertimiento. El perfil ambiental de esta evaluación se compara con el anterior y se obtienen los resultados que se muestran en la figura 7.

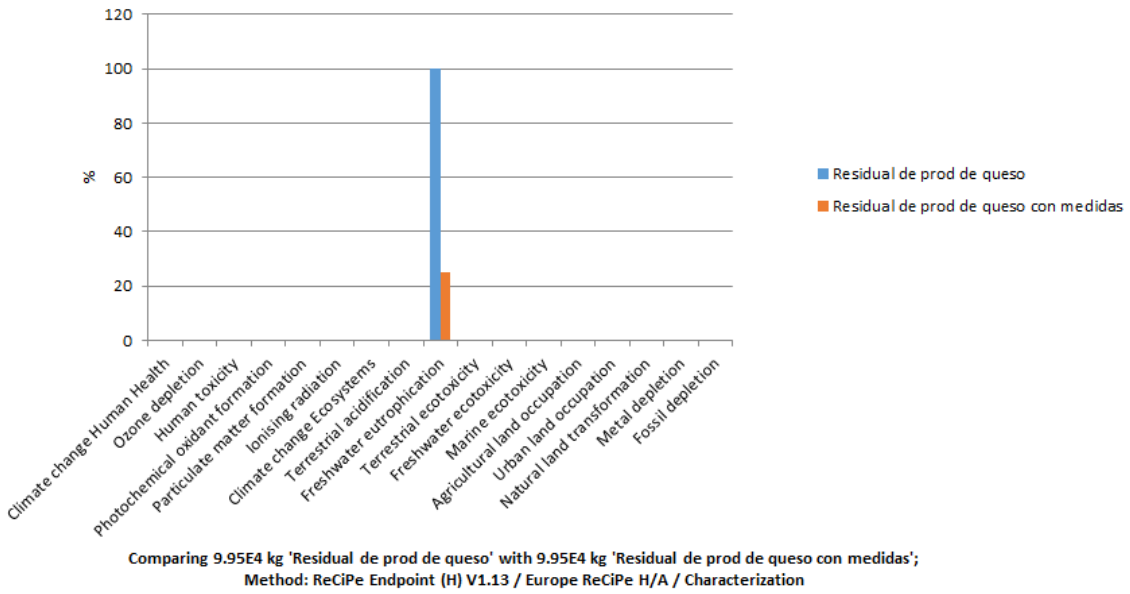


Figura 7. Comparación de impacto ambiental antes y después de las medidas

Como se observa, el impacto ambiental en la categoría de impacto de eutrofización del agua dulce, disminuye aproximadamente en un 75 % por las consideraciones de mejora del sistema de tratamiento.

3.4 Conclusiones parciales

1. Se ha identificado un gran número de medidas relacionadas con buenas prácticas operacionales, control operacional, y cambios tecnológicos que pueden reducir los volúmenes y carga orgánica de residuales que se generan en la planta de quesos Mérida.
2. El sistema de tratamiento se puede intensificar mediante actividades de mantenimiento en el sistema existente y la construcción de un humedal subsuperficial horizontal que presenta valores satisfactorios de los indicadores dinámicos de rentabilidad.

3. La aplicación de las medidas de mejoras del sistema de tratamiento, permiten reducir el impacto ambiental de dichos residuales, con una disminución de aproximadamente el 75 % en la categoría de impacto de eutrofización del agua dulce.

Conclusiones

1. La industria láctea y dentro de esta, la producción de quesos es considerada una de las mayores consumidoras de agua y generadoras de residuales en muchos países, caracterizados estos últimos por amplias fluctuaciones en flujo y concentración de contaminantes.
2. La combinación de métodos biológicos de tratamientos unidos a estrategias de prevención de la contaminación son alternativas atractivas para la gestión de las aguas residuales en la industria láctea.
3. Los sistemas de humedales han logrado una amplia aplicación y en combinación con otros sistemas biológicos producen efluentes de alta calidad a costos razonables.
4. Los residuales líquidos generados en la planta de queso Mérida producen un elevado impacto ambiental por eutrofización del agua dulce, debido a la alta carga orgánica que provoca el mal estado de los componentes de la planta de tratamiento de residuales líquidos, el consumo excesivo de agua y elevado nivel de contaminación, por indisciplinas tecnológicas.
5. La aplicación de medidas de P+L y la intensificación del sistema de tratamiento existente son las vías para lograr un vertimiento de dichos residuales cumpliendo con las regulaciones ambientales.
6. La inversión para la construcción de un humedal subsuperficial horizontal muestra indicadores de rentabilidad favorables, con una recuperación de la misma en menos de un año.

Recomendaciones

1. Profundizar los estudios relacionados con la construcción del humedal.
2. Proponer a la dirección de la UEB Productos Lácteos Mérida, la implementación de las medidas propuestas

Bibliografía

1. Bakka, R.L. Wastewater issues associated with cleaning and sanitizing chemicals. Dairy Food Environ. Sanit. 1992, 12 (5), 274–276. [11].
2. Bayart J.B., Bulle c., Deschênes L., Margni M., Pfister s., Vince F. and Koehler a., 2010. A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. The International Journal of Life cycle Assessment 15 (5):439-453. DOI:10.1007/s11367-010-0172-7.
3. Britz, T.J., van Schalkwyk C. and Hung, Y. 2006. Treatment of Dairy Processing Wastewaters. Food industries waste treatment. Taylor & Francis Group, LLC, 2006, pp. 1.
4. Canellada, F. 2017. Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono de una quesería tradicional asturiana. Trabajo de Maestría. Universidad de Oviedo.
5. Casey, J. W., & Holden, N. M. 2006. Quantification of GHG emissions from sucker-beef production in Ireland. Agricultural Systems, 90 (1-3), 79-98.
6. Cederberg, C., & Mattsson, B. (2000). Life cycle assessment of milk production -- a comparison of conventional and organic farming. Journal of Cleaner Production, 8(1), 49-60.
7. Centro Ecuatoriano de Producción más Limpia. 2007. Marco conceptual de Producción más Limpia. Ecuador.
8. Chen, D.H. 2017. Green chemistry and chemical engineering. Sustainable water management and technologies sustainable water management. Volume I. Edited by Daniel H. Chen. CRC Press Taylor & Francis Group. © 2017 by Taylor & Francis Group, LLC.
9. Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25, 294-306. Consorci Costa Brava. 2008. http://www.ccbgi.org/análisis_completes/terciari_empuriabrava_PNAE_2008.pdf.
10. Clift, R. 2001. Clean Technology and Industrial Ecology. Pollution: Causes, Effects and Control. Fourth Edition. Edited by Roy M. Harrison The

University of Birmingham, UK. Fourth Edition © 2001 The Royal Society of Chemistry. ISBN 0-85404-621-6. pp 411.

11. CNP+LH (Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras), 2009. Guía de Producción más Limpia para el procesamiento de caña de azúcar. Edición AGA & Asociados – Consultores en comunicación. República de Honduras, 2009.
12. CONAM. (2003). Guía de implementación de P+L. Lima, Perú: CONAM; CET, Centro de Eficiencia Tecnológica; Limpia, Centro Nacional de Producción más Limpia.
13. Consoli F., Allen D., Boustead I., fava J., Franklin W., Jensen A.A, Oude de N., Parrish R., Perriman R., Postlethwaite D., Quay B., Séguin J., Vigon B. (1993). Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice. Pensacola, Florida (USA): Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
14. Contreras Moya, A. M.; Rosa Domínguez, E.; Pérez Gil, M.; Van Langenhove, H.; Dewulf, J. (2009) Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. Journal of Cleaner Production, Vol 17 / pp 772–779.
15. Contreras, A.M.; Rosa, E.; Gallardo, I. 2017. Environmental impact evaluation of the industry of panela, by life cycle analysis. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB). 2, (1), 2017; pp 545- 5529.
16. Contreras, A.M; Rosa, E; Van Langenhove, H.; Santos, R.; Pérez, M.; Casas, Y; Dewulf, J. 2013. Exergetic analysis in cane sugar production in combination with Life Cycle Assessment. Journal of Cleaner Production. Vol. 59, pp 43-50.
17. Das, T.K. (2005). Fundamentals of life cycle assessment, Chapter 3, 35–86, in Toward Zero Discharge: Innovative Methodology and Technologies for Process Pollution Prevention, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
18. Das, T.K. (2015). Industrial Water Usage and Wastewater Treatment/Reuse, Chapter 11.12, in Chen (Ed.): Water Sustainability:

Global Issues and Technology/Management Advancements, Taylor & Francis/CRC Press.

19. De Boer, I. J. M. (2003). Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. Livestock Production Science, 80 (1-2), 69-77.
20. EEA, 1999. Environmental indicators, typology and review, European environment agency technical report 25.
21. EPA 2000. Guidelines for Preparing Economic Analyses. United States.
22. European Water Pollution Control Association (EWPCA). European Design and Operations Guidelines for Reed-Bed Treatment Systems, Report to EC/EWPCA Treatment Group, P.F. Cooper, Ed.; August 1990.
23. FAO, 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment. © FAO 2010. http://www.foodsec.org/docs/GAUL_DISCLAIMER.pdf.
24. FAO. 2010. The wealth of waste: The economics of wastewater use in agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Water Reports, Rome, 2010, http:// www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf.
25. Ferrer, Y., Ortega, E., Salas, J.J. 2012. Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas. Ingeniería Civil 168/2012.
26. Finnegan, W., Yan, M., Holden, N.M. et al. 2018. A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production. Int J Life Cycle Assess (2018) 23: 1773. https://doi.org/10.1007/s11367-017-1407-7.
27. Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M.a.J., Struijs, J., De Schryver, A. and Van Zelm, R. 2009. ReciPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation factors, first edition.
28. Haas, G., Wetterich, F., & Kopke, U. (2001). Comparing intensive, extensive and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. Agriculture Ecosystems & Environment, 83(1-2), 43-53.

29. Hospido, A. 2005. Life cycle assessment as a tool of analyzing the environmental performance of key food sectors in Galicia (Spain): milk and canned tuna. Doctoral thesis, Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela.
30. Hospido, A., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2007. A Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants for Big Centres of Population in Galicia (Spain. Int J LCA13 (1) 57–64. http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3080
31. http://www.dairypc.org/ 2008.
32. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=37456
33. http://www.unfpa.org/ swp/2009/en/pdf/en_sowP09.pdf.
34. https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea
35. https://www.aqualimpia.com/biodigestores/lacteos
36. https://www.ceupe.com/blog/principales-sistemas- de-tratamiento-de-las-aguas-residuales.html
37. https://www.domosagua.com/blog/tratamiento-aguas-residuales-industria-lacteos.
38. ISO, 2006a. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework - ISO 14040. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
39. ISO, 2006b. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines - ISO 14044. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
40. Koehler, A., 2008. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources; the International Journal of Life Cycle Assessment; Volume 13, Number 6, 451-455, DOI: 10.1007/s11367-008-0028-6.
41. Lee, T.R. (2000) Urban water management for better urban life in Latin America. Urban Water 2 (2000) 71-78.

42. Llagas, W.A. y Gómez, E. 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 15, Nº 17, 85-96 (2006) UNMS MISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico).
43. Mila I Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Anton, A. and Clift, R., 2009. Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I-inventory modelling and characterization factors for the main impact pathways. International Journal of Life Cycle Assessment 14 (1):28-42
44. N.C. DWR, 2009. (State of North Carolina, Division of Water Resources). Dairy Processing. Water Efficiency Manual for Commercial, Industrial and Institutional Facilities. May 2009. Chapter 5, Page 96.
45. Oña, V. 2013. Gestión y tratamiento de las aguas en la UEB Central Azucarero Héctor Rodríguez". Tesis en opción al grado de master en Ingeniería en Saneamiento Ambiental. UCLV. 2013.
46. ONUDI. (1999). Manual de Producción más Limpia. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
47. Pedescoll, A. 2010. Clogging in horizontal subsurface flow constructed wetlands. Mesures, design factors y prevention strategies. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Proyecto ALL-GAS: Industrial scale demonstration of sustainable algae cultures for biofuel production. http://www.biofatproject.eu/resources/pdf/FUEL_36-41_AlgaeBiofuel.pdf
48. Pérez, M. M. 2014. Evaluación del Comportamiento de Humedales Subsuperficiales de Flujo Vertical en la Purificación de Aguas Residuales Domésticas. Doctor, Universidad Cental Marta Abreu de Las Villas.
49. Pérez, M.; Contreras, A.M., Rosa, E. 2013. Life cycle assessment of the cogeneration processes in the Cuban sugar industry. Journal of Cleaner Production, Vol. 41, February 2013, pp. 222- 231.
50. Pfister, S., Koehler, A. and Hellweg, S., 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. Environmental Science and Technology 43: 4098–4104.

51. PNUMA/IMA.1999. Producción más Limpia. Obtenido de http://www.pnuma.org/industria/ publicaciones.php.
52. Puigagut, J., Villaseñor, J., Salas, J.J., Bécares, E., García, J. 2007. Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: a comparative study. Ecological Engineering 30(4), 312-319.
53. Pulkkinen, H., Krogerus, K., Katajajuuri, J.-M., Saarinen, M., Hartikainen, H., Silvenius, F., Yrjänäinen, H., 2011. Developing LCA methodology guide for the food industry.
54. Robinson, H.D.; Barr, M.J.; Formby, B.W.; Formby, B.W.; Moag, A. The treatment of landfill leachates using reed bed systems. IWEM Annual Training Day, October 1992.
55. Russell, P. Effluent and waste water treatment. Milk Ind. Int. 1998, 100 (10), 36–39. 2.
56. Sotelo, P.X. (2019) Análisis de Ciclo de Vida de una biorrefinería HMZS-SEBQ. Diplomado en Gestión de Ciclo de Vida. 2019 CADIS ACADEMIA
57. Steffen, Robertson, Kirsten Inc. Water and Wastewater Management in the Dairy Industry, WRC Project No. 145 TT38/89. Water Research Commission: Pretoria, South Africa, 1989.
58. Stern, S., Sonesson, U., Gunnarsson, S., Öborn, I., Kumm, K.I., Nybrant, T., 2005. Sustainable Development of Food Production: A Case Study on Scenarios for Pig Production. Ambio 402–407.
59. Strydom, J.P.; Mostert, J.F.; Britz, T.J. Effluent production and disposal in the South African dairy industry–a postal survey. Water SA 1993, 19 (3), 253–258.
60. Suppen, N., 2005. Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. 2005, Edo. de México. www.lcamexico.com.
61. Tetrapak. TetraPak Dairy Processing Handbook; TetraPak Printers: London, UK, 1995.

62. Thirumurthi, D. Biodegradation in waste stabilization ponds (facultative lagoons). In Biological Degradation of Wastes; Martin, A.M., Ed. Elsevier Applied Sci.; New York, 1991; 231–235.
63. Thomassen, M. A., van Calker, K. J., Smits, M. C. J., Iepema, G. L., & de Boer, I. J. M. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Agricultural Systems, 96 (1-3), 95-107.
64. Torres, E. y Oblitas, J. 2017. Generación de un programa de reducción de residuos para la evaluación del impacto ambiental del proceso de queso fresco utilizando análisis de ciclo de vida e inteligencia artificial. Revista Caxamarca. Volumen 16, N° 1, 2017. Perú.
65. UNEP (United Nations Environment Programme) (2012). Measuring water use in a green economy, A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel. Copyright © United Nations Environment Programme, 2012.
66. UNEP, 2009. Guidelines for social life cycle assessment of products, United Nations Environment Programme, Nairobi.
67. UNEP, 2011 c. Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency. Copyright © United Nations Environment Programme and Korea International Cooperation Agency (KOICA), 2011.
68. UNEP, 2011a. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth — A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, United Nations Environment Programme, Nairobi.
69. UNEP, 2011b. Towards a green economy — Pathways to sustainable development and poverty eradication, United Nations Environment Programme, Nairobi.
70. UNFPA, 2009. State of world population 2009; United Nations Population Fund.
71. UNWWAP, 2009. The United Nations World Water Development Report 3, United Nations World Water Assessment Programme.

72. World Bank. 2010. Development and climate change. Advance Overview of the 2010 World Development Report. World Bank, **http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010 /Resources/5287678-1226014527953/WDR10-Full-Text.pdf**