



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**Estimación de índices de consumo energético en la
industria láctea: análisis comparativo a nivel
internacional**

TESINA

Que para obtener el título de

Especialista en Ahorro y

Uso Eficiente de la Energía

PRESENTA

Adrián Morales Ríos

DIRECTORA DE TESINA

M.I. Verónica Flores García



Ciudad Universitaria, CDMX, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A Jehová mi Dios, quien me ha salvado, por amarme, por obsequiarme la vida, por ser mi fortaleza y por darme la oportunidad de hacer las cosas de diferente manera.

Agradecimientos

A Jehová mi Dios, que me ha colmado de bendiciones. Por no pagarme conforme a mis iniquidades, por permitirme concluir otro logro en mi vida y, sobre todo, por haber cruzado mi camino con personas maravillosas que han sido mi soporte y compañía.

A mi esposa, que sin su amor y su cuidado no habría podido concluir este proyecto. Por su profunda empatía y su amor por las letras, que de gran apoyo me ha sido.

A mis padres, que siempre procuran darme lo mejor de ellos, por su amor incondicional y su apoyo en todo momento.

A esta universidad, por abrirme las puertas a nuevos conocimientos, a todos mis profesores, por su experiencia y su guía, en especial a mi tutora, por su paciencia, su ayuda y su dedicación, pero, sobre todo, por su ejemplo de vida.

Contenido

Introducción	6
I. Antecedentes	8
II. La industria láctea en el mundo.....	10
a) Producción lechera.....	10
b) Consumos de energía y agua y producción de efluentes	11
III. La industria láctea en México	16
a) Historia y contexto	16
b) Producción, consumos y contaminación.....	17
c) Usos de la energía en el sector lácteo.....	21
d) Procesos térmicos de la leche en México	23
e) Análisis de consumo energético en la pasteurización.....	28
IV. Análisis comparativo entre la industria láctea internacional y la mexicana	32
a) Producción	32
b) Consumo de energía eléctrica.....	34
c) Consumo de energía térmica	36
d) Consumo de agua	37
e) Contaminantes	38
f) Normatividad y condiciones de operación	40
Conclusiones	45
Recomendaciones	47
Bibliografía	49

Introducción

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura¹ (FAO, 2019), la industria láctea representa una gran oportunidad de mejora en la calidad de vida para productores de países en vías de desarrollo, debido al alto potencial productivo, reflejo de la creciente demanda de productos lácteos a nivel mundial.

Por esta razón, es indispensable contar con procesos más eficientes y con un mejor control de desechos, pues la falta de estos ha ocasionado serios problemas medioambientales, aunados al alto consumo de energía y agua que representa este sector industrial. En este sentido, la pertinencia de este estudio radica en la necesidad de conocer las áreas de oportunidad que tiene México en cuanto a la información del sector lácteo.

Es por lo que, el presente trabajo tiene como principal objetivo identificar la información disponible acerca del sector lechero mexicano, con la finalidad de conocer los procesos y sus consumos energéticos.

Como objetivos secundarios, se pretende conocer los procesos para la pasteurización de la leche; asimismo, identificar las condiciones de operación que establece la normatividad; y, por último, calcular el consumo energético que tiene cada uno de estos procedimientos en condiciones hipotéticas ideales. Ya que, la existencia de esta información permitiría tener estimaciones precisas a nivel nacional que pudieran impulsar estudios y políticas que contribuyan a una mejor eficiencia energética y un mejor tratamiento de residuos y, por consiguiente, un menor costo para los productores, un mejor precio para consumidores y un cuidado ambiental adecuado.

En esta tesina, en primer lugar, se aborda el panorama internacional de la producción lechera, cuál ha sido su comportamiento en las últimas décadas y el pronóstico para los siguientes años.

¹ En adelante se citará como FAO, por sus siglas en inglés.

Asimismo, se observan los consumos de energía, agua y la producción de efluentes para diferentes países, destacando los consumos típicos de una planta de leche y las variaciones que se tienen por tipo de proceso.

En el siguiente capítulo, se describe el contexto histórico mexicano de la producción y consumo de la industria láctea, así como la importancia económica que tiene para el país. También se muestran las cifras de consumo energético para el sector agropecuario, donde se acentúa la falta de información desglosada por sector industrial.

Para concluir este capítulo, se describen los procesos de elaboración de leche tratada térmicamente que se utilizan en México; y se estiman los consumos energéticos para el tratamiento de la leche bajo condiciones hipotéticas ideales.

En el último apartado, se lleva a cabo el análisis comparativo entre la industria láctea internacional y la mexicana, observando la producción, consumos y generación de contaminantes de diferentes países, así como la normatividad y condiciones de operación que aplican a nivel mundial.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones resultado de este trabajo.

I. Antecedentes

La industria láctea es de suma importancia a nivel mundial, pues representa la producción de leche y otros derivados, productos básicos de consumo en prácticamente todos los países. Asimismo, de acuerdo con datos de la FAO (2019), “en el mundo más de 150 millones de familias se dedican a la producción de leche”, lo que significa un aporte sustancial a la economía de los países, sobre todo de aquellos en vías de desarrollo.

Al tener como objetivo el consumo humano, se busca que la producción de leche y derivados se apegue a normas de salud, dando al consumidor la seguridad de estar adquiriendo un producto libre de impurezas, agentes patógenos y biológicos. Además, es necesario contar con prácticas que permitan operar bajo condiciones óptimas y de un uso eficiente de la energía.

De acuerdo con la FAO (2004), la leche puede contener microorganismos nocivos para la salud como la salmonella, *escherichia coli* y *staphylococcus*, los cuales son eliminados con tratamiento térmico. Asimismo, deben de controlarse la cantidad de metales como el arsénico, el plomo y el mercurio.

A nivel internacional, asociaciones como la Federación Internacional de la Leche (FIL), la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido, a través de acuerdos entre los países miembro, normas que rigen las condiciones de operación y los estándares de calidad para el sector lechero. Estas directrices fueron sentadas como referencia para que gobierno, industria, comerciantes y consumidores cuenten con estándares y definiciones precisas que protejan la salud e impulsen al sector hacia un comercio más eficiente.

En México, existen dos normas que establecen los estándares para el tratamiento de la leche, la NOM-243-SSA1-2010 y la NOM-155-SCFI-2012. Ambas cuentan con definiciones propias del sector y con las condiciones de operación, especificaciones, métodos y pruebas que deben realizarse para satisfacer las necesidades sanitarias.

Con respecto al consumo energético, existen diversos estudios internacionales desarrollados por organizaciones como la Corporación Financiera Internacional (IFC por sus siglas en inglés), Carbon Trust, la FAO, por nombrar algunas, que muestran la relevancia de contar con información precisa acerca de los consumos térmicos y eléctricos de plantas muestra en el sector lechero.

Esta información les ha permitido realizar avances sustanciales en cuanto a la producción y tratamiento de la leche, traducido en un crecimiento económico y social. Asimismo, ha sido fundamental para crear canales de comunicación que han impulsado desarrollos tecnológicos y mejores prácticas, lo que ha generado una competencia más sana en favor de una industria láctea mejor desarrollada y con mayores beneficios tanto para empresas como para consumidores.

En nuestro país existen estudios generados principalmente por el gobierno y por la industria privada como *Análisis del sector lácteo en México*, *Boletín de Leche* y *El Libro Blanco de la leche y los productos lácteos*. Estos se han enfocado en denotar la producción de leche y la importancia económica que representa para México. Sin embargo, aún no se ha indagado en el consumo energético de los procesos, en el consumo de agua ni en el tratamiento de efluentes.

Por otro lado, acercamientos del ámbito académico como *El sector lechero y quesero en México de 1990 a 2009: Entre lo global y local*; y *Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC* (Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico, por sus siglas en inglés) han tratado de caracterizar al sector lechero, pero el gran reto al que se han enfrentado es la falta de información confiable y asequible. La información pública no presenta un desglose adecuado para su análisis y los datos del sector privado no se encuentran disponibles. Esto representa una desventaja competitiva para México, pues no permite un crecimiento del sector en términos energéticos, así como el impulso de mejores prácticas en beneficio de industria y consumidores.

II. La industria láctea en el mundo

a) Producción lechera

La leche es uno de los productos agrícolas más producidos a nivel mundial. Para el año 2013, la venta de este alimento supuso ganancias que ascendieron a 328 mil millones de dólares, ocupando el tercer lugar en peso de producción, siendo el más importante económicamente hablando (FAO, 2019b).

Prácticamente, en todos los países se produce y consume leche, lo cual la posiciona como uno de los cinco principales productos agrícolas tanto en volumen como en valor. De acuerdo con datos de la FAO (2013), 81% de la producción de leche se obtiene de vacas, 15% de búfala y el restante 4% se obtiene de oveja, cabra y camella.

En las últimas 3 décadas, la producción de leche ha crecido monumentalmente pasando de alrededor de 530 millones de toneladas en 1988 a 843 millones de toneladas en 2018, lo que representa un aumento del 59% (FAO, 2019a). Para el año 2019 se tuvo una producción mundial de 852 millones de toneladas, es decir, 1.4% más que en el año anterior (OECD, 2021).

Si contamos la producción de leche de todas las fuentes animales, la India se posiciona como el principal productor con el 22% de la producción global, seguido por Estados Unidos, China, Pakistán y Brasil (FAO, 2019a). No obstante, Estados Unidos se posiciona como el primer lugar en producción de leche de bovino seguido por la India y Brasil (FAO, 2019c).

Los países que presentan mayor excedente en cuanto a producción de leche son: Nueva Zelanda, Estados Unidos, Alemania, Francia, Australia e Irlanda; mientras que los que presentan un mayor déficit son: China, Italia, Rusia, México, Argelia e Indonesia (FAO, 2020).

Se espera que a finales de esta década la producción mundial de leche alcance un valor de 1,020 millones de toneladas con un crecimiento anual cercano al 1.7% (OECD-FAO, 2021).

A pesar de que el continente asiático es el principal impulsor del desarrollo lechero internacional, se prevé que, con planes de optimización, salud animal, eficiencia en energía y mejor genética, la producción lechera crezca en África y otras regiones (OECD-FAO, 2021).

b) Consumos de energía y agua y producción de efluentes

En este apartado se realiza una descripción y análisis de los resultados más relevantes sobre consumos de agua y energía a nivel internacional, encontrados en la literatura. Es importante mencionar que estos rubros son de gran importancia, ya que representan el principal foco de atención para que la industria láctea nacional pueda tener un mayor despunte debido a los ahorros que supondrían, permitiendo una mayor producción o una misma producción a menor costo.

La Unión Europea es la que ha dedicado mayores esfuerzos al estudio y caracterización de los gastos energéticos de plantas muestra para diferentes países miembros, así como al análisis del consumo de agua. En el estudio Energy use within dairy farming, publicado por DeLaval (2020), se pueden observar los requerimientos eléctricos para satisfacer las necesidades de una planta típica. La Tabla 1 muestra los valores reportados para diferentes procesos y componentes eléctricos.

Tabla 1. Consumo de energía eléctrica en una planta típica de leche.

Componente	Potencia eléctrica demandada	Tiempo de operación	Consumo energético**
Bomba de vacío	2-4 kW/unidad	3-24 horas	41 kWh (147.6 MJ) / día
Ventilación	4-25 kW	0-24 horas	174 kWh (626.4 MJ) / día
Refrigeración	4-16 kW	Uso intermitente*	40 kWh (144 MJ) / día
Calentamiento	2-16 kW	Uso intermitente*	36 kWh (129.6 MJ) / día
Limpieza	2-16 kW	1-2 horas	14 kWh (50.4 MJ) / día
Bombeo	Menor a 1 kW	3-24 horas	13 kWh (46.8 MJ) / día

		Total	318 kWh (1,144.8 MJ) / día
--	--	--------------	-----------------------------------

* Para el uso intermitente se consideraron 4 horas de operación.

** Para el cálculo del consumo energético se consideraron los promedios de la potencia eléctrica y el tiempo de operación, tomando en cuenta solo una unidad de bomba de vacío.

Fuente: DeLaval. Energy use within dairy farming, 2020.

Por su parte, la FAO también publicó Energy Requirements in Milk Processing (2017) en el que identifica el consumo de energía eléctrica y térmica para diferentes empresas, tomando en cuenta la tecnología aplicada y el tipo de proceso utilizado. Como resultado de este estudio, se publicó la información mostrada en la Tabla 2, la cual nos permite observar que la energía consumida en un proceso continuo, es decir, leche embotellada, es mayor con respecto al proceso estacionario, es decir, la producción de leche en contenedores. No obstante, este último proceso tiene algunas limitantes, como una menor producción y un requerimiento mayor de personal.

Tabla 2. Consumo de energía eléctrica y térmica en el procesamiento de leche.

Producto final		Energía para calentamiento (MJ/T de producto)	Energía eléctrica (MJ/T de producto)
Leche embotellada	Pasteurizada	600	200
	Esterilizada	720	250
Leche en contenedores	Pasteurizada	250	180
	Ultra alta temperatura	360	325

Fuente: FAO. Energy Requirements in Milk Processing, 2017.

Mientras que la Corporación Financiera Internacional (IFC por sus siglas en inglés), en el año 2007, publicó *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de productos lácteos*, en donde comparan el consumo de energía y agua, así como la producción de efluentes (estudio no reportado normalmente) de lecheras suecas, danesas, finlandesas, noruegas y de otras centrales europeas. En las Tablas 3, 4 y 5, podemos ver los resultados de este estudio.

Tabla 3. Consumo de agua por leche procesada para diferentes países de Europa.

Producto	Unidad	Lecheras suecas	Lecheras danesas	Lecheras finlandesas	Lecheras noruegas	Valor de referencia*
Leche comercial	L de agua/L de leche procesada	0.9-2.8	0.6-0.97	1.2-2.9	4.1	1.0-1.5

* Con base en el Consejo Nórdico de Ministros.

Fuente: IFC. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de productos lácteos, 2017.

Tabla 4. Consumo de energía por leche procesada para diferentes países de Europa.

Producto	Unidad	Lecheras europeas*	Lecheras suecas	Lecheras danesas	Lecheras finlandesas	Lecheras noruegas	Valor de referencia**
Leche comercial	MJ / T de leche procesada	313.23 - 3,863.22	382.84 - 1,183.33	243.63 - 313.23	556.86 - 974.51	1,566.17	348.04 - 696.08

* Referidas a la Asociación Lechera Europea.

** Con base en el Consejo Nórdico de Ministros.

Fuente: IFC. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de productos lácteos, 2017.

Los efluentes dentro de la industria láctea se componen principalmente de 2 sustancias: leche que se pudo derramar durante el proceso y lodos, como resultado de los procesos de filtración, clarificación, desnatado y normalización. Los lodos están compuestos principalmente por partículas de suciedad, gérmenes, bacterias, nutrientes, sustancias de tipo proteico, residuos de origen vegetal, animal y materia orgánica. Estos residuos no son recuperables por lo que, de no tener un tratamiento correcto, suelen terminar en el drenaje sanitario, lo que perjudica no solo las instalaciones, sino que contamina los depósitos y vertederos locales, lo que a su vez se traduce en un serio problema medioambiental.

Tabla 5. Producción de efluentes por leche procesada para diferentes países de Europa.

Producto	Unidad	Lecheras suecas	Lecheras danesas	Lecheras finlandesas	Lecheras noruegas	Valor de referencia*
Leche comercial	L de residuo/L de leche procesada	0.8-2.5	0.83-0.94	1.2-2.4	2.6	0.9-1.4

* Con base en el Consejo Nórdico de Ministros.

Fuente: IFC. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de productos lácteos, 2017.

Los valores recomendados de efluentes resultan de la aplicación de las normas y mejores prácticas para la industria. Estas cifras se pueden alcanzar con técnicas de prevención y control de agentes contaminantes, así como de tratamiento adecuado.

Otro estudio denominado *Cleaner Production Assessment in Dairy Processing* realizado por la consultora danesa COWI, determina la relación de consumo de agua por producto procesado y el consumo de energía para la producción de leche. En las Tablas 6 y 7 se muestra dicha información.

Tabla 6. Consumo de energía para la producción de leche.

Producto	Consumo de electricidad (MJ/T de producto)	Consumo de combustible (GJ/T de producto)
Leche comercial	200	460

Fuente: COWI. Cleaner Production Assessment in Dairy Processing, 2000.

Tabla 7. Consumo de agua en la industria láctea por área de uso.

Área de uso	Consumo (L de agua/L de producto)	Porcentaje del total (%)
Vestuario	0.01-1.45	2%
Uso del personal	0.02-0.44	2%
Calderas	0.03-0.78	2%
Almacenamiento en frío	0.03-0.78	2%
Área de recepción	0.11-0.92	3%
Sala de llenado	0.11-0.41	3%
Lavado	0.18-0.75	4%
Torre de enfriamiento	0.20-1.80	5%
Limpieza	0.32-1.76	8%
Sala de quesos	0.06-20.89	13%
Servicios públicos	0.56-4.39	16%
Incorporación en productos	1.52-9.44	40%
Total	2.21-9.44	100%

Fuente: COWI. Cleaner Production Assessment in Dairy Processing, 2000.

Ahora bien, en un estudio publicado por el Ministerio de Agricultura en asociación con el Ministerio de Energía de Chile, se mostró que el consumo de energía eléctrica para una planta tipo de ese país era de 0.136 kWh por litro de leche producida.

Si comparamos con los datos reportados en Europa, podemos ver que se reportan 200 MJ por tonelada de producto, lo que equivale a 0.057 kWh/L de leche comercial producida, es decir, los consumos de energía reportados son mayores para Sudamérica. Esto se puede deber a que en estos países no se cuenta con la infraestructura y tecnología que tienen las empresas lecheras de gran escala.

III. La industria láctea en México

a) Historia y contexto

Para México, la producción de leche ha jugado un papel importante a lo largo de su historia pues los lácteos son considerados como unos de los productos básicos para el consumo de los hogares, así como una fuente de ingresos significativos para las familias dedicadas al sector pecuario.

En el país, prácticamente la totalidad de la leche comercializada proviene de bovinos. La producción es sumamente versátil refiriéndonos a las tecnologías aplicadas, los diferentes climas y las costumbres de las poblaciones dedicadas a este giro comercial.

Para el año 2012, a nivel nacional se consumieron en promedio 94 litros de leche por persona (Secretaría de Energía, 2012). Estas cifras se han mantenido prácticamente constantes a lo largo del tiempo, siendo la época de finales de los 80's la que presentó una producción mínima debido al aumento en importaciones y a la baja explotación del hato ganadero.

Con la puesta en marcha del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), México se volvió dependiente de las importaciones de lácteos, lo que debilitó la industria nacional. No obstante, en la década de los 90's, el Gobierno de la República impulsa al sector ganadero con algunos subsidios y apoyos agrícolas, lo que permitió la repoblación de cabezas productivas y el comienzo de un impulso en producción de leche.

La industria lechera del país también se ha enfrentado a otros aspectos que han supuesto un aumento relativamente bajo en el consumo de leche con respecto al de otros países. La aparición de leches de origen vegetal y el consumo cada vez mayor de bebidas carbonatadas han menguado el crecimiento de la industria láctea, ya que México se posiciona como el mayor consumidor de refrescos en todo el mundo (SIAP, 2019).

Asimismo, otro aspecto a considerar es que los mayores consumidores de leche son las personas menores de edad. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2000, 18% de la población tenía 14 años o menos, mientras que para 2018 esta población solo representaba el 13%.

Estos hechos han obligado a las empresas productoras a desarrollar diversos productos que atiendan las necesidades de todos los sectores poblacionales, como los son la leche deslactosada, yogures y quesos.

Aun con los contratiempos a los que se ha tenido que enfrentar la industria láctea del país, se mantiene en constante crecimiento. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022), en 2019 la producción de leche fue de 12,275,865 miles de litros a nivel nacional. La cantidad de leche pasteurizada, es decir, que ya fue procesada térmicamente, fue de 2,351,154 miles de litros; mientras que la de leche ultrapasteurizada fue de 1,315,641 miles de litros, para un total de 3,666,795 miles de litros. Esto significa que cerca del 30% de la producción se utiliza para la elaboración de leche líquida.

De acuerdo con datos del INEGI (2019), el sector lechero es el tercero más importante de la industria alimentaria de México y el cuarto en cuanto al aporte al PIB de este sector. En 2019 representó el 10% del PIB de la industria alimentaria con más de 67,500 millones de pesos corrientes. Además, la importancia del sector no solo recae en la producción de leche, en el año 2018 se contrataron en promedio 4,193 personas por mes para la producción de leche condensada, evaporada y en polvo; 16,249 personas, promedio mensual, para la producción de derivados y fermentos lácteos; 22,924 en la elaboración y envasado de leche de bovino, para un total de 43,366 personas en promedio mensual.

b) Producción, consumos y contaminación

La producción de leche en México ha crecido lentamente en comparación con otras industrias. Sin embargo, nos posicionamos como el decimotercer país en cuanto a producción de leche de bovino a nivel mundial, lo que representa cerca del 2% (INEGI, 2019).

En México, la producción de leche representa una de las grandes actividades para la economía del país. Dentro de los diversos productos que produce la industria pecuaria (huevo, carne, miel, lana, leche, etc.), la leche de bovino representa el 3er lugar en importancia, solo después de la carne de bovino y la carne de ave; lo que significó un valor de producción poco menor a 74 mil millones de pesos en el año 2018 (INEGI, 2019).

La variación en la producción histórica de leche en México ha sido relativamente baja con respecto al crecimiento poblacional. Las cifras reportadas por el SIAP indican que de 2004 a 2019, la producción nacional de leche aumentó en más de 2,400 millones de litros, como se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Producción nacional histórica de leche de bovino.

Producción nacional de leche (miles de litros)		
Año	Valor	Variación (%)
2004	9,864,300	-
2005	9,868,301	0.04
2006	10,088,551	2.23
2007	10,345,982	2.55
2008	10,589,481	2.35
2009	10,549,038	-0.38
2010	10,676,691	1.21
2011	10,724,289	0.45
2012	10,880,870	1.46
2013	10,965,632	0.78
2014	11,129,622	1.50
2015	11,394,663	2.38
2016	11,608,400	1.88
2017	11,767,556	1.37
2018	12,005,692	2.02
2019	12,275,865	2.25
2020	12,563,700	2.34
2021	12,851,659	2.29

Fuente: Elaboración propia con información de: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera, 2022.

Ahora bien, si hablamos de la producción que se tiene por entidad federativa, Jalisco se muestra como el productor por excelencia. A este se suman los estados de

Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato. Para 2019, Jalisco representó una producción del 20.7% nacional, mientras que Guanajuato (en quinto lugar) representó poco más del 7% (véase la Tabla 9).

Tabla 9. Producción nacional de leche de bovino en 2019, por entidad federativa.

Producción de leche en 2019 (miles de litros)		
Entidad federativa	Valor	Porcentaje del total (%)
Aguascalientes	421,018	3.4
Baja California	191,667	1.6
Baja California Sur	33,670	0.3
Campeche	42,837	0.3
Coahuila	1,394,913	11.4
Colima	41,343	0.3
Chiapas	443,024	3.6
Chihuahua	1,160,432	9.5
Ciudad de México	12,402	0.1
Durango	1,242,953	10.1
Guanajuato	859,944	7.0
Guerrero	87,190	0.7
Hidalgo	416,520	3.4
Jalisco	2,541,915	20.7
México	444,714	3.6
Michoacán	356,653	2.9
Morelos	20,926	0.2
Nayarit	38,184	0.3
Nuevo León	22,957	0.2
Oaxaca	147,833	1.2
Puebla	446,822	3.6
Querétaro	399,236	3.3
Quintana Roo	4,663	0.0
San Luis Potosí	150,302	1.2
Sinaloa	97,332	0.8
Sonora	113,429	0.9
Tabasco	104,554	0.9
Tamaulipas	19,649	0.2
Tlaxcala	83,179	0.7
Veracruz	747,350	6.1
Yucatán	2,723	0.0
Zacatecas	185,531	1.5
Total	12,275,865	

Fuente: Elaboración propia con información de: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera, 2020.

Ahora bien, solo un porcentaje de la producción de leche es utilizado para venta al público como leche, pues también se utiliza en procesos de elaboración de otros productos como queso, fórmulas, helado, crema, etc. Para el año 2019, la producción de leche pasteurizada y ultrapasteurizada fue mayor a 3,600 millones de litros, dividiéndose como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Producción nacional de leche líquida en 2019.

Producción nacional de leche líquida en 2019 (miles de litros)	
Tipo	Valor
Pasteurizada	2,351,154
Entera pasteurizada	671,599
Entera pasteurizada y homogeneizada	1,049,467
Descremada pasteurizada y homogeneizada	23,390
De sabor	120,866
Rehidratada	485,832
Ultrapasteurizada	1,315,641
Entera ultrapasteurizada	123,938
Descremada ultrapasteurizada	1,191,703
Total, Pasteurizada y Ultrapasteurizada	3,666,795

Fuente: Elaboración propia con información de: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera, 2020.

En cuanto al consumo de energía, en el país no existe un análisis puntual que muestre los requerimientos térmicos y eléctricos para cada uno de los procesos utilizados en el tratamiento de la leche. Asimismo, la generación de efluentes tampoco ha sido caracterizada, es decir, se desconoce cuál es la afectación que se tiene por la producción de lácteos, principalmente en la contaminación de los mantos acuíferos.

Esto representa una gran desventaja con respecto a otros países, pues de tenerse dicha información, se podrían crear planes de ahorro y uso eficiente de la energía, así como de un control adecuado de los contaminantes. De la misma manera, al tenerse el estimado de energía consumida en los procesos, esta información se podría correlacionar con la producción de leche y derivados para conocer cuál es el consumo real de energía, lo que nos permitiría conocer la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que representa la industria láctea en nuestro país.

Con respecto a la información sobre los efluentes producidos por este sector industrial, observamos que no existe una entidad gubernamental que tenga la responsabilidad de capturar y dar tratamiento a los datos. En el caso del consumo energético, se tienen reportes oficiales que muestran de manera general, es decir, sin desglose, lo consumido por todo el sector agropecuario. Esta información se muestra más a detalle en la siguiente sección.

c) Usos de la energía en el sector lácteo

El sector lechero es un gran consumidor de energía térmica y eléctrica por unidad de producto. Esto se debe principalmente a los tratamientos que requiere la leche para hacerla apta para el consumo humano.

En México, el Balance Nacional de Energía, realizado por la Secretaría de Energía (SENER, 2019), muestra los rubros de consumo final de energía: residencial, comercial y público, industrial, transporte y agropecuario, siendo el sector transporte el de mayor consumo.

La industria láctea es contemplada en dos de estos rubros, el industrial y el agropecuario. En el segundo de ellos se toma en cuenta la energía utilizada por los vehículos para el transporte y la energía para la crianza y mantenimiento del ganado. Esta energía no es representativa con respecto a la consumida en los procesos térmicos. En la Tabla 11 podemos observar el total de energía consumida por el sector agropecuario, así como la subdivisión por tipo de energético.

Tabla 11. Consumo de energía en el sector agropecuario.

Consumo de energía en el sector agropecuario (PJ)			
Rubro	2018	2019	Variación (%)
Petrolíferos	144.706	144.628	-0.1
Gas licuado	4.758	3.529	-25.8
Querosenos	0.000	0.000	0.0
Diésel	139.948	141.099	0.8
Electricidad	44.560	47.267	6.1
Total	189.266	191.894	1.4

Fuente: Elaboración propia con información de SENER. Balance de Energía, 2019.

La energía consumida por el sector industrial es 10 veces mayor a la del sector agropecuario (véase Tabla 12). En el año 2018, el sector industrial alcanzó un consumo que representó el 32% del total a nivel nacional. A pesar de que la industria láctea es importante, no figura como una de las más relevantes en el país donde despuntan los sectores del hierro y del acero, cementos, cerveza, refrescos, automóviles, fertilizantes, entre otros.

Tabla 12. Consumo de energía en el sector industrial.

Consumo de energía en el sector industrial (PJ)			
Rubro	2018	2019	Variación (%)
Energía solar	0.670	0.737	10.0
Bagazo de caña	55.716	36.357	-34.7
Carbón	186.931	121.689	-34.9
Coque	180.149	173.799	-3.5
Coque de carbón	47.426	57.032	20.3
Coque de petróleo	132.723	116.767	-12.0
Petrolíferos	113.090	104.715	-7.4
Gas licuado	45.895	29.293	-36.2
Gasolinas y naftas	1.178	1.292	9.7
Querosenos	0.000	0.000	0.0
Diésel	57.308	60.553	5.7
Combustóleo	8.709	13.577	55.9
Gas seco	538.004	506.360	-5.9
Electricidad	606.209	614.153	1.3
Total	1,680.770	1,589.454	-5.4

Fuente: Elaboración propia con información de SENER. Balance de Energía, 2019.

De este consumo cerca del 50% lo representan las principales industrias, dejando el restante a todos los demás sectores productores, en donde se ubica la industria láctea. Como se puede observar en la Tabla 12, más de un tercio de la energía consumida es en forma de electricidad.

De acuerdo con los estudios Requirements in Milk Processing (FAO, 2017) y Carbon Trust. Industrial Energy Efficiency Accelerator, los avances tecnológicos han permitido que el sector lácteo tenga como alternativa el uso de energía eléctrica en procesos meramente térmicos como la pasteurización, por lo que la matriz de consumo podría variar en los años subsecuentes si se impulsan estos cambios.

Es importante señalar que las cifras del consumo energético en la industria no representan fielmente el comportamiento real de la industria láctea, ya que, como se ha mencionado en párrafos anteriores, la poca desagregación de la información no nos permite conocer el consumo energético para los sectores industriales menos relevantes, sino que se reportan como un conjunto, por lo que son necesarios estudios que desagreguen el consumo de energía para cada uno de los procesos o, en su defecto, del sector lechero en su totalidad y de esta manera poder realizar estimaciones más precisas del comportamiento nacional y su tendencia para los siguientes años.

Ahora bien, la mayor cantidad de energía consumida en el sector lácteo se lleva a cabo durante el proceso de pasteurización. Este proceso se realiza mediante el uso de energía térmica que se obtiene generalmente del vapor, aunque puede utilizarse otro fluido, como el agua. En el siguiente subtema se mostrará más a detalle el consumo de energía térmica en un proceso estándar en México.

d) Procesos térmicos de la leche en México

El tratamiento de la leche cruda requiere de varios procesos que consumen energía eléctrica y térmica. En la Figura 1 se muestran las operaciones típicas de una planta de tratamiento para obtener leche envasada. En esta se pueden observar los procesos que requieren de energía eléctrica y los que necesitan energía térmica.

Es importante mencionar que, pese a que en esta figura podemos observar que los procesos que requieren de energía eléctrica son superiores a los que requieren de energía térmica, el consumo térmico supera en gran medida los requerimientos energéticos de la planta, tal como se observa en la Tabla 2 (FAO, 2017).

Aunado a esto, aunque estrictamente no es parte del proceso, la limpieza del área de trabajo y los equipos utilizados se realiza generalmente mediante el uso de vapor, lo que supone otro consumo de energía térmica.

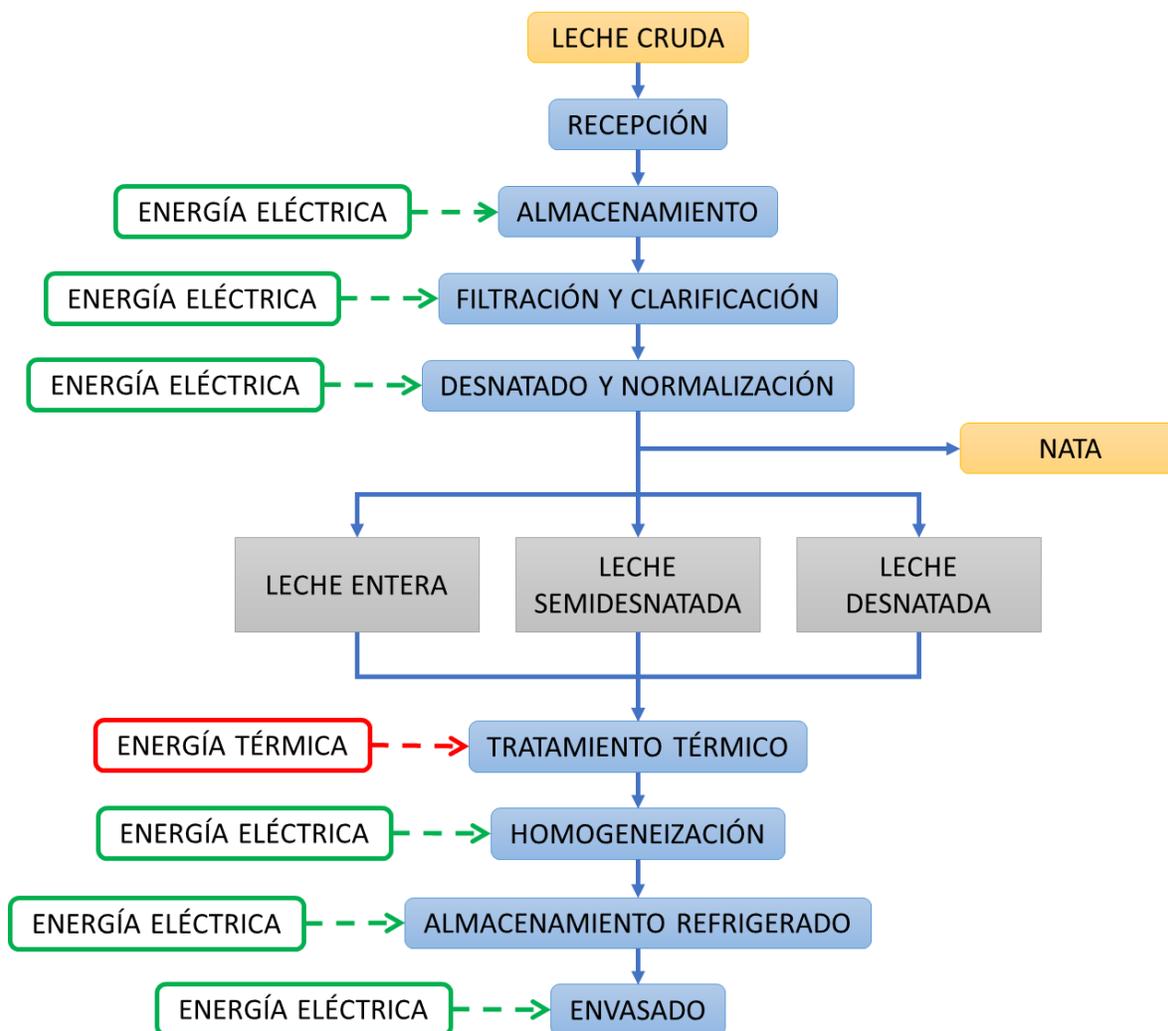


Figura 1. Consumo de energía eléctrica y térmica en el proceso de elaboración de leche tratada térmicamente.

Fuente: Elaboración propia con información del Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. Prevención de la Contaminación en la Industria Láctea, 2002.

Cabe señalar que, en el caso de México, no se cuenta con información específica de los consumos de energía eléctrica en cada uno de los procesos. Con respecto a la energía térmica requerida para la pasteurización, esta se puede obtener teóricamente a partir de las especificaciones que debe cumplir la leche de acuerdo con la normatividad aplicable en cada país.

Ahora bien, existen dos métodos comerciales para la pasteurización de la leche: por lotes y de flujo continuo. En países altamente industrializados el proceso de flujo continuo es el más utilizado, en México ambos métodos son utilizados debido a lo heterogéneo del sector lechero y a la elaboración de pequeños productores².

El proceso por lotes consiste en calentar la leche a una temperatura de 63 °C durante un periodo de 30 minutos. La leche se calienta en tanques de doble pared (en la industria generalmente rondan entre los 1000 y 1500 litros de capacidad). En el contenedor se deposita la leche mientras que entre las paredes pasa el flujo de calentamiento, el cual puede ser vapor o agua caliente. Para hacer más homogéneo el proceso, se requiere de un agitador (Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Pasteurizadores de leche. Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento).

Una vez que la leche alcanza la temperatura deseada, esta se mantiene por el tiempo establecido. Posteriormente, la leche es enfriada mediante uso de agua helada o en procesos menos habituales, dejándola reposar a temperatura ambiente. La Figura 2 muestra los tanques utilizados normalmente para este tipo de procedimiento.

² El proceso de pasteurización continua es el más utilizado a nivel internacional porque supone una mejora en cuanto al aprovechamiento de recursos, tiempo y energía, no obstante, al ser un proceso que requiere de una mayor instrumentación, su costo de inversión es más alto respecto al proceso de pasteurización por lotes. Es por lo que, en países en vías de desarrollo, como es el caso de México, los pequeños productores optan por el proceso de pasteurización por lotes, pues implica una menor inversión. En el caso particular de México, la industria láctea se desarrolla a diferentes escalas, teniendo desde grandes productores como la paraestatal Liconsa, hasta pequeños productores que abastecen la industria local, por lo que no podemos indicar uno de los dos procesos como el más utilizado.

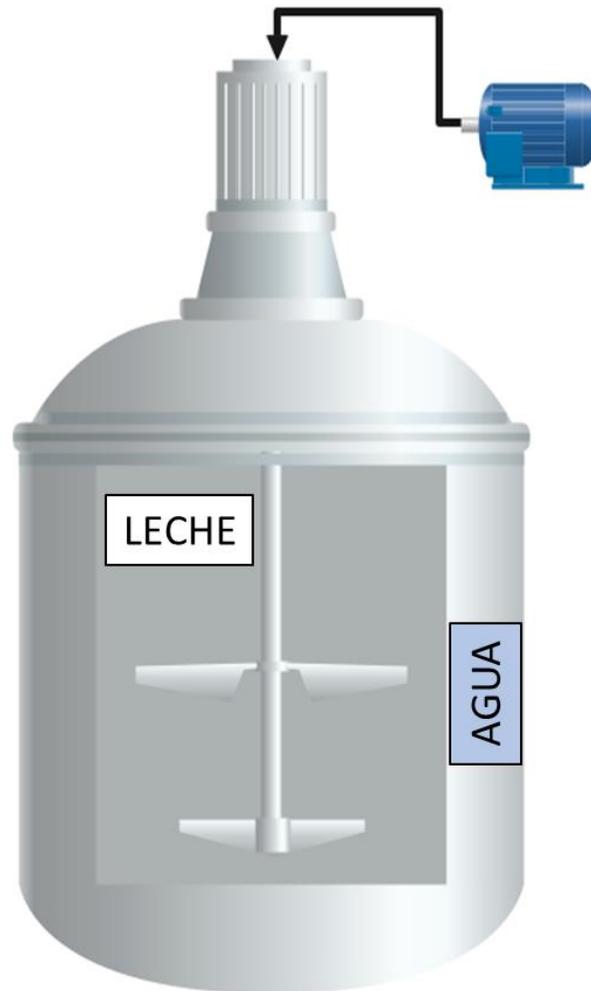


Figura 2. Tanque para la pasteurización por lotes de leche.

Fuente: Elaboración propia con información de Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Pasteurizadores de leche. Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento.

En la pasteurización continua, el equipo utilizado es más sofisticado pues se requieren intercambiadores de calor de placas. La leche es suministrada a la temperatura de operación (la cual oscila entre 4 y 8 °C), calentándose por regeneración, o también llamado precalentamiento, utilizando la leche ya pasteurizada para, de esta manera, conseguir ahorros de energía en el proceso, pues normalmente se alcanza una temperatura aproximada de 58°C.

Posteriormente, esta ingresa al intercambiador de calor donde se alcanza la temperatura de 72 °C. El fluido de calentamiento utilizado en esta sección es agua.

Es importante mencionar que este proceso requiere de filtros para eliminar cualquier impureza que pudiera contener la leche.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, la leche pasa a una sección de retención de la temperatura donde, por medio de un tubo externo o un retenedor, se mantiene durante el tiempo estimado, que para este caso son 15 segundos.

Por último, la leche contenida en el retenedor se dirige a la zona de regeneración donde cede su calor a la leche cruda que entra al sistema. En este proceso se enfría hasta alcanzar aproximadamente los 18 °C, pasando posteriormente a la zona de enfriamiento donde alcanza la temperatura deseada para su tratamiento o almacenamiento. La Figura 3 muestra el proceso de pasteurización continua de la leche.

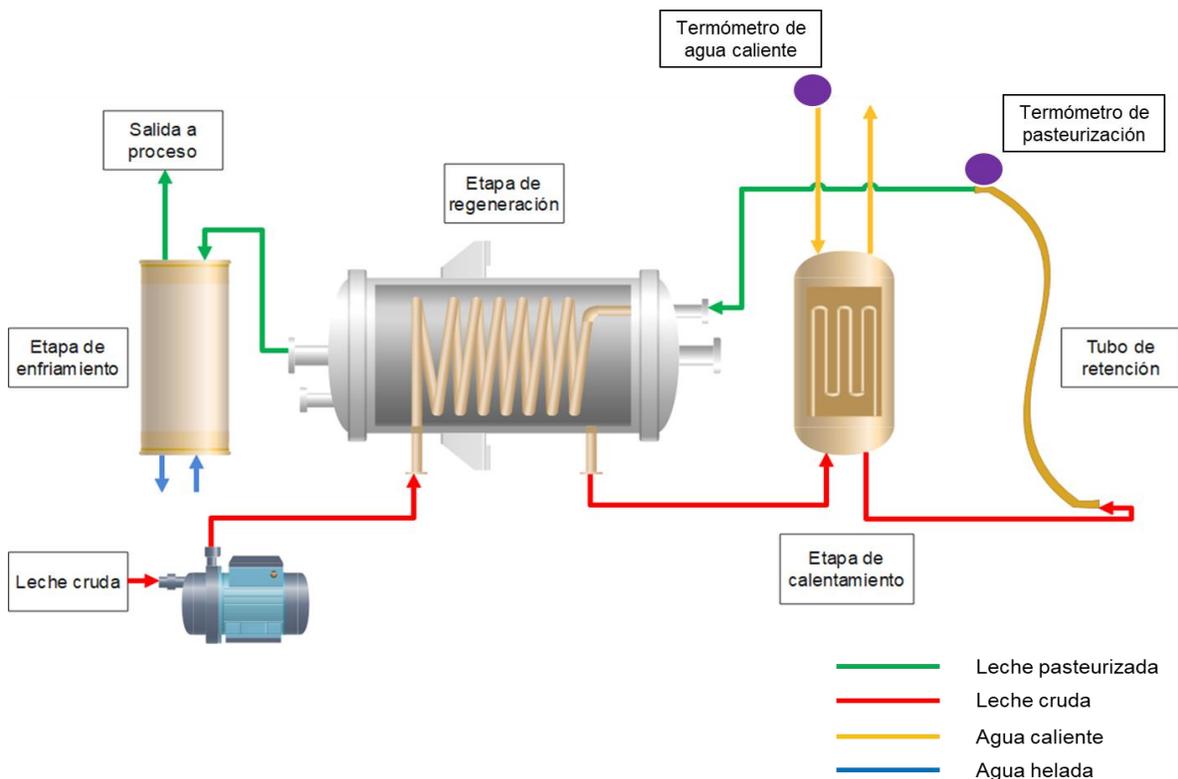


Figura 3. Esquema de la pasteurización continua de la leche.

Fuente: Elaboración propia con información de Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Pasteurizadores de leche. Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento.

e) Análisis de consumo energético en la pasteurización

Una vez identificados los procesos de pasteurización de la leche y cómo es que estos funcionan, podemos proceder al cálculo de los perfiles térmicos, considerando las condiciones de operación que establece la normatividad. Primeramente, definimos la ecuación que se utiliza en el análisis de intercambio de calor.

$$Q = m * Cp * (T_2 - T_1) \text{_____} (1)$$

$$m = \rho * V \text{_____} (2)$$

$$\therefore Q = \rho * V * Cp * (T_2 - T_1) \text{_____} (3)$$

Donde:

- $Q = \text{Calor intercambiado}$
- $\rho = \text{Densidad de la leche}$
- $V = \text{Volumen que ocupa}$
- $Cp = \text{Calor específico de la leche}$
- $T_2 = \text{Temperatura de salida}$
- $T_1 = \text{Temperatura de entrada}$

Para poder solucionar la Ecuación 3, es indispensable conocer las propiedades de la leche, ya que serán necesarias para el desarrollo de las subsecuentes fórmulas.

Densidad

La densidad media de la leche a 15 °C es de 1,032 kg/m³. Esta varía con respecto a la temperatura de operación y con respecto a la composición de la leche. Si se conoce esta composición, la densidad se puede calcular a partir de la siguiente ecuación, la cual se obtiene a partir de prácticas de laboratorio (Modelado en Ingeniería, 2017) y basándose en ecuaciones anteriores como la de Richmond y Queensville (Nasanovsky, Garijo, Kimmich, 2017).

$$\rho_{leche} = \frac{100}{\frac{\%MG}{0.913} + \frac{\%L}{1.63} + \frac{\%P}{1.35} + \frac{\%C}{5.5} + \%Agua} \text{_____} (4)$$

Donde:

- $\rho_{leche} = \text{Densidad de la leche}$
- $MG = \text{Materia grasa}$
- $L = \text{Lactosa}$
- $P = \text{Proteína}$
- $C = \text{Cenizas}$

Si no se cuenta con esta información, se puede utilizar la siguiente fórmula, la cual se basa en las condiciones estándar de la leche (Nasanovsky, Garijo, Kimmich, 2017).

$$\rho_{leche} = 1,035.705 - 0.33462 * T \text{ _____} \quad (5)$$

Calor específico

El calor específico de la leche varía con respecto al contenido de grasa, no obstante, se ha considerado un valor medio de 3,893.72 J/kg K (0.93 cal/g °C) para la leche entera, 3,977.46 J/kg K (0.95 cal/g °C) para la leche desnatada y para la nata con un 40% de materia grasa de 2,847.02 J/kg K (0.68 cal/g °C).

Es importante mencionar que estos valores se consideran constantes en el rango de temperaturas utilizadas para el proceso de pasteurización. Ahora que contamos con la información necesaria procedemos al cálculo para cada uno de los procesos analizados (como se citó en Guerrero y Rodríguez, 2010).

Pasteurización por lotes

Para la pasteurización por lotes se consideran las siguientes condiciones de operación:

- Volumen de control de 1L, el cual podrá escalarse al volumen deseado.
- La temperatura de entrada al proceso se considera ambiente por lo que, para este caso, se utilizará el valor de 25 °C, el cual podrá variarse dependiendo de la región.

- La temperatura para alcanzar la pasteurización se establece en 63 °C durante un periodo de 30 minutos.

Tomando en cuenta estas consideraciones, para procesar un litro de leche el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$Q = \rho * V * Cp * (T_2 - T_1) \text{ _____ (6)}$$

Ahora bien, sustituyendo la Ecuación (5) en la (6), tenemos que:

$$Q = (1,035.705 - 0.33462 * T) * V * Cp * (T_2 - T_1) \text{ _____ (7)}$$

Por último, operando los valores antes mencionados, llegamos al siguiente resultado:

$$Q = (1035.705 - 0.33462 * (4 \text{ °C})) \frac{\text{g}}{\text{L}} * 1\text{L} * 0.93 \frac{\text{cal}}{\text{g °C}} * (63 \text{ °C} - 4 \text{ °C})$$

$$Q = 56,755.7 \text{ cal}$$

$$Q = 237.5 \text{ kJ}$$

Pasteurización continua

Para la pasteurización continua se consideran las siguientes condiciones de operación:

- Volumen de control de 1L, el cual podrá escalarse al volumen deseado.
- La temperatura de entrada al proceso se considera de 58 °C, tomando en cuenta el proceso industrial establecido generalmente.
- La temperatura para alcanzar la pasteurización se establece en 72 °C, durante un periodo de 15 segundos.

Tomando en cuenta estas consideraciones, para procesar un litro de leche el cálculo se realiza utilizando la Ecuación (7):

$$Q = (1,035.705 - 0.33462 * T) * V * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q = (1,035.705 - 0.33462 * (58 \text{ }^\circ\text{C})) \frac{\text{g}}{\text{L}} * 1\text{L} * 0.93 \frac{\text{cal}}{\text{g }^\circ\text{C}} * (72 \text{ }^\circ\text{C} - 58 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q = 13,232.2 \text{ cal}$$

$$Q = 55.4 \text{ kJ}$$

De esta manera, podemos observar que en el proceso de pasteurización por lotes se tiene un consumo mayor de energía; esto debido a que en el proceso de pasteurización continua el diseño del equipo nos permite precalentar la leche, lo que al final requiere un consumo menor de energía, aunado al menor tiempo dentro del sistema. Por estas razones, el proceso de pasteurización por lotes no es el más utilizado a nivel industrial. Sin embargo, cabe destacar que este proceso es utilizado por pequeños productores debido a que se pueden tratar grandes cantidades de leche a un costo relativamente bajo de equipamiento, lo que les supone una menor inversión.

Una vez que conocemos las condiciones de operación y los consumos de energía que se tienen a nivel nacional e internacional, es necesario llevar a cabo una comparación de los indicadores para poder comprender de mejor manera las áreas de oportunidad que tiene México, el siguiente capítulo detalla esta comparación.

IV. Análisis comparativo entre la industria láctea internacional y la mexicana

a) Producción

La producción de leche en el mundo ha incrementado considerablemente. En las últimas tres décadas aumentó su obtención en más del 59%, pasando de 530 millones de toneladas en 1988 a 843 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2019a). La Tabla 13 muestra la evolución de la producción de leche que han tenido los principales países alrededor del mundo.

Tabla 13. Producción mundial de leche.

Producción mundial de leche (millones de toneladas)											
País	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
India	20.8	25.6	31.56	44.02	53.68	65.37	79.66	95.62	121.85	155.69	187.96
Estados Unidos	53.07	52.34	58.24	64.93	67.01	70.46	75.95	80.28	87.52	94.64	98.72
Pakistán	7.45	8.19	9.01	10.86	14.72	19.01	25.57	29.44	35.49	41.59	45.79
China	1.96	2.37	2.93	4.76	7.04	9.46	12.37	32.02	41.16	36.28	35.6
Brasil	7.42	10.05	12.06	12.57	15.08	17.13	20.53	25.53	30.96	34.86	34.11
Alemania	28.18	28.75	32.1	33.63	31.34	28.63	28.35	28.48	29.65	32.71	33.09
Rusia	0	0	0	0	0	39.31	32.28	31.15	31.84	30.79	30.61
Francia	22.85	24.72	27.89	28.4	26.81	26.09	25.74	25.71	24.21	25.93	26.52
Nueva Zelanda	5.99	6.1	6.7	7.88	7.51	9.29	12.24	14.64	17.01	21.94	21.39
Reino Unido	12.97	13.93	15.97	16.02	15.25	14.84	14.49	14.47	14.07	15.32	15.31
Polonia	14.96	16.38	16.49	16.44	15.84	11.64	11.89	11.95	12.3	13.25	14.18
México	4.11	6.24	7.23	7.47	6.27	7.54	9.44	10.03	10.89	11.61	12.23
Países Bajos	8.24	10.22	11.79	12.53	11.23	11.29	11.16	10.85	11.81	13.55	10.89
Argentina	4.19	5.65	5.31	5.64	6.28	8.77	10.12	9.91	10.63	12.06	10.53
Australia	7.76	6.7	5.57	6.23	6.46	8.46	10.85	10.13	9.02	9.49	9.29
Irlanda	3.08	3.59	4.72	5.83	5.4	5.35	5.16	5.38	5.33	6.59	7.81
Canadá	8.31	7.75	7.41	7.48	7.98	7.92	8.16	7.81	8.24	8.14	7.37
Dinamarca	4.48	4.92	5.12	5.1	4.74	4.68	4.72	4.58	4.91	5.36	5.69
Romania	3.12	3.81	4.34	4.32	3.81	5.02	4.62	5.55	4.62	4.68	4.44
Suiza	3.2	3.4	3.68	3.87	3.88	3.88	3.85	3.89	4.11	4.07	3.94
Sudáfrica	2.91	2.5	2.5	2.2	2.48	2.62	2.31	3.04	3.12	3.54	3.75
Suecia	2.93	3.17	3.47	3.67	3.51	3.3	3.35	3.21	2.9	2.93	2.76
Finlandia	3.31	3.16	3.28	3.08	2.82	2.47	2.45	2.43	2.34	2.44	2.4
Mundial	391.95	424.73	465.82	512.98	542.47	540	579.51	649.76	723.55	801.69	843.04

Fuente: Elaboración propia con información de National Dairy Development Board. World Dairy Production, 2019.

Se puede observar claramente que la India es el mayor productor de leche, pues ha triplicado su producción en menos de 30 años. Para el año 2018 aportó más del 22% de la producción mundial, mientras que México se posicionó en decimosegundo lugar con poco menos del 1.5% del total.

Para el año 2018, más del 80% de la producción mundial de leche se obtuvo de vaca, mientras que el restante se obtuvo de búfalas y otros tipos de ganado como ovejas y camellas. Si consideramos solo la producción de leche de vaca, México se posiciona en decimotercer lugar como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Producción mundial de leche de vaca.

Producción mundial de leche de vaca (miles de toneladas)	
País	2018
Estados Unidos	98,690
India	89,834
Brasil	33,840
Alemania	33,065
China	31,165
Rusia	30,346
Francia	25,541
Nueva Zelanda	21,392
Turquía	20,037
Paquistán	16,722
Reino Unido	15,311
Polonia	14,171
México	12,006
Total	716,148

Fuente: Elaboración propia con información de National Dairy Development Board. World Dairy Production, 2019.

En lo que respecta a México, a pesar de que la producción de leche es de gran relevancia para la economía nacional, históricamente se ha presentado un déficit entre la leche producida y la consumida en el país, siendo México el mayor importador de leche en polvo en todo el mundo (FAO, 2019).

Para el 2019, las importaciones de productos lácteos ascendieron a 2,110 millones de dólares, mientras que las exportaciones tan solo tuvieron un saldo mayor a los 216 millones de dólares, lo que representó una inclinación negativa en la balanza de más de 1,894 millones de dólares (SIAP, 2019). Este déficit se debe a varias cuestiones como la cantidad de ganado con la que cuenta el país; el territorio dedicado a su alimentación y el rendimiento por vaca lechera.

En 2019, México contaba con alrededor de 6.5 millones de cabezas de ganado dedicadas a la producción de leche, muy por debajo de la India que contaba con más de 60.6 millones (SIAP, 2019). Otro de los puntos que dificultan que México pueda contrarrestar la deficiencia en producción de leche es el rendimiento que se tiene por vaca lechera (*Apud.* Dávalos Flores José Luis, 2020).

Estados Unidos, a pesar de no contar con un gran hato ganadero, presenta un excelente rendimiento de alrededor de 10.63 Ton de producción de leche por vaca anualmente, muy por encima de las 1.94 Ton por vaca para el caso de México (SIAP, 2019).

De acuerdo con la FAO, la producción de leche seguirá en aumento. Se estima que para 2030 la producción mundial sea de 1,020 millones de toneladas con un crecimiento de 1.7% cada año (OECD-FAO, 2021), lo que representa un incremento más acelerado que los demás productos agrícolas. Este incremento se deberá principalmente a la optimización de los sistemas de producción; a las mejores prácticas de salud animal; mejoras en la eficiencia alimentaria y nuevos desarrollos en genética.

b) Consumo de energía eléctrica

Como se puede observar en la Figura 1, la mayoría de los procesos utilizados para el tratamiento de la leche cruda requiere de energía eléctrica para su funcionamiento. Desde la recepción y el almacenamiento hasta el envasado, los requerimientos de electricidad se presentan en toda la cadena productiva.

Desde las primeras etapas se requiere de una gran cantidad de energía eléctrica, pues es necesario bombear la leche colectada y mantenerla en condiciones óptimas. En los subsecuentes procesos, la energía eléctrica es utilizada en equipos de filtrado y centrifugación, donde se separan las partículas de mayor peso.

Una vez que la leche pasa al intercambiador de calor, es necesaria energía eléctrica para bombear los flujos que entran al sistema y los que salen para su posterior tratamiento. De la misma manera, los equipos de homogeneización requieren de electricidad para funcionar.

Por último, para las etapas de almacenamiento final y envasado, también se utilizan cantidades considerables de energía, pues es necesario el uso de refrigeradores y de equipos para llenar los envases. Durante toda la cadena productiva es precisa la electricidad como apoyo para la limpieza de equipos, vehículos e instalaciones.

Países de la Unión Europea han dedicado tiempo y recursos a caracterizar los requerimientos de electricidad en la industria láctea. Estudios revelan que una planta tipo en Europa puede consumir alrededor de 318 kWh/día, para alimentar los equipos antes descritos (DeLaval, 2020).

Asimismo, se han generado estudios que muestran que el consumo de electricidad para plantas productoras de leche embotellada es de al menos 200 MJ de energía por tonelada de leche pasteurizada (COWI, 2000). Este segundo análisis nos es más útil a la hora de realizar comparaciones, pues nos permite analizar el comportamiento de una planta sin importar su nivel de producción. Es importante mencionar que estos valores pueden variar dependiendo, sobre todo, de la actualización tecnológica de cada empresa; ya que, con sistemas más novedosos, generalmente el consumo energético será mayor, aunque la mano de obra requerida es menor.

México no cuenta con estudios o reportes que reflejen la cantidad de energía eléctrica consumida en los procesos de tratamiento de la leche, por lo que no se puede llevar a cabo una comparación con los valores internacionales reportados.

c) Consumo de energía térmica

El proceso que más consume energía térmica durante el tratamiento de la leche es cuando esta se somete a calentamiento para eliminar los microorganismos dañinos para la salud. A pesar de que durante el proceso de limpieza puede consumirse energía térmica en forma de vapor, las cantidades son mínimas comparadas con el tratamiento térmico, por lo cual suelen no registrarse.

El proceso requerido por normatividad para el tratamiento de la leche cruda es la pasteurización. Para esta operación se requiere que la leche se someta a una temperatura de 72 °C durante un periodo de 15 segundos (DOF, 2010). Existen otros tratamientos que se le pueden dar a la leche dependiendo del producto que se desee obtener.

Dentro de estos se encuentra la pasteurización a altas temperaturas y tiempos cortos o HTST (High Temperature, Short Time) donde se pueden alcanzar temperaturas de 96 °C por tiempos de 0.05 segundos. También se tiene la ultrapasteurización donde se requieren 138 °C durante 2 segundos de exposición. Otro tratamiento es el de la leche aséptica o UHT (Ultra High Temperature), la cual requiere de temperaturas que oscilan entre los 135 y 150 °C por tiempos de 4 a 15 segundos, dependiendo el grado que se desee alcanzar. Por último, se tiene a la leche esterilizada la cual necesita una temperatura mayor a los 115 °C por un tiempo de 20 minutos.

Al igual que con el consumo eléctrico, estudios desarrollados por países europeos (1. FAO, 2017. 2. COWI, 2000) han identificado el consumo de energía térmica que se requiere para una planta tipo. De acuerdo con estos datos, una empresa lechera requiere de alrededor de 0.46 GJ de combustible por tonelada de producto obtenido.

Asimismo, se ha determinado el consumo que requieren las plantas dependiendo del tipo de leche que se esté procesando, reportándose valores para leche pasteurizada y esterilizada. En México no se cuenta con información oficial que muestre la cantidad de energía térmica utilizada para la producción de leche comercial y embotellada.

d) Consumo de agua

El consumo de agua es otro de los aspectos de interés en esta tesina, ya que las cantidades requeridas del vital líquido son considerables con respecto a otras industrias del sector agropecuario.

Desde las primeras etapas, se emplean grandes cantidades de agua, la cual es utilizada para la limpieza de los vehículos utilizados para el transporte de la leche y de los tanques de almacenamiento, mismos que deben cumplir con estándares de sanidad, pues se trata de un producto para consumo humano.

Una vez en el sistema, los requerimientos de agua aumentan dependiendo del equipo utilizado para el tratamiento térmico. Existen sistemas de calentamiento directo e indirecto, en ambos casos, el fluido mayormente empleado es al agua, ya sea como vapor o como agua caliente. A pesar de que en estos equipos se utiliza una recirculación, es inevitable la pérdida de cantidades importantes de agua durante el periodo de intercambio de calor con el ambiente.

Los equipos de homogeneización pueden encontrarse antes o después del tratamiento térmico. Su función es la de reducir el tamaño de los glóbulos grasos de la leche. En esta etapa también se requiere agua, aunque en cantidades menores con respecto a los demás procesos.

Por último, se utilizan cantidades mínimas de agua en la sección de envasado, esto se debe principalmente a que se puede derramar leche durante el proceso. En resumen, el mayor consumo de agua durante el proceso de tratamiento de la leche se debe a la limpieza que se necesita a lo largo de toda la cadena productiva.

Estudios realizados en Europa (IFC, 2017) nos permiten ver que los requerimientos de agua varían dependiendo del país, sin embargo, en todos los casos podemos observar que el consumo es considerable.

El estudio *Cleaner Production Assessment in Dairy Processing*, desarrollado por COWI en el año 2000, toma en cuenta las áreas en las que es utilizada el agua, determinando que la incorporación en productos y la limpieza son los procesos que representan el mayor consumo. No obstante, si se consideran otros usos, como los

servicios públicos y el uso del personal, la cantidad requerida incrementa sustancialmente (Tabla 7).

El Consejo Nórdico de Ministros plantea un valor de referencia en cuanto al consumo de agua para una planta tipo. Este valor contempla las cantidades de agua utilizadas para el proceso y la limpieza, es decir, los servicios necesarios para obtener la leche comercial.

Países como Noruega se encuentran muy por encima de este valor de referencia, mientras que las plantas danesas son las que presentan un menor consumo de agua, lo que refleja mejores prácticas y un uso más responsable. En lo que respecta a México, no se cuenta con la información puntual del agua consumida por el sector lechero.

e) Contaminantes

Existen varios aspectos medioambientales a considerar durante el proceso de tratamiento térmico de la leche cruda. En la Figura 4 se muestran las principales repercusiones que conllevan los procesos.

Desde la recepción de la leche cruda se pueden tener desperdicios, esto se debe a que en las operaciones de vaciado y llenado de los depósitos puede haber derrames que van directo a los sistemas de evacuación. Asimismo, posterior a la toma de muestras para el análisis de la leche, los residuos son desechados.

En la etapa de filtración y clarificación se tienen dos contaminantes principales: los filtros utilizados para la separación de las partículas de mayor tamaño y los lodos, resultado de la separación de partículas orgánicas e inorgánicas mediante centrifugación. En plantas donde no se tiene un tratamiento adecuado, estos lodos son vertidos en el torrente de efluentes de la planta. Este mismo proceso se lleva a cabo en la etapa de desnatado y normalización, donde, con el uso de centrífugas, se termina por limpiar la leche de partículas de suciedad y componentes sanguíneos y otras impurezas.

Durante el tratamiento térmico y la homogeneización se pueden tener condensados como resultado de las pérdidas de vapor en el proceso. Estos flujos se pueden considerar como contaminantes si se integran a la corriente de efluentes.

Por último, en la etapa de almacenamiento y envasado los posibles contaminantes se refieren a 3 aspectos: los envases desechados por algún desperfecto; la gran cantidad de energía eléctrica consumida en el proceso (lo cual se traduce en una mayor producción de GEI); y los posibles derrames de leche.

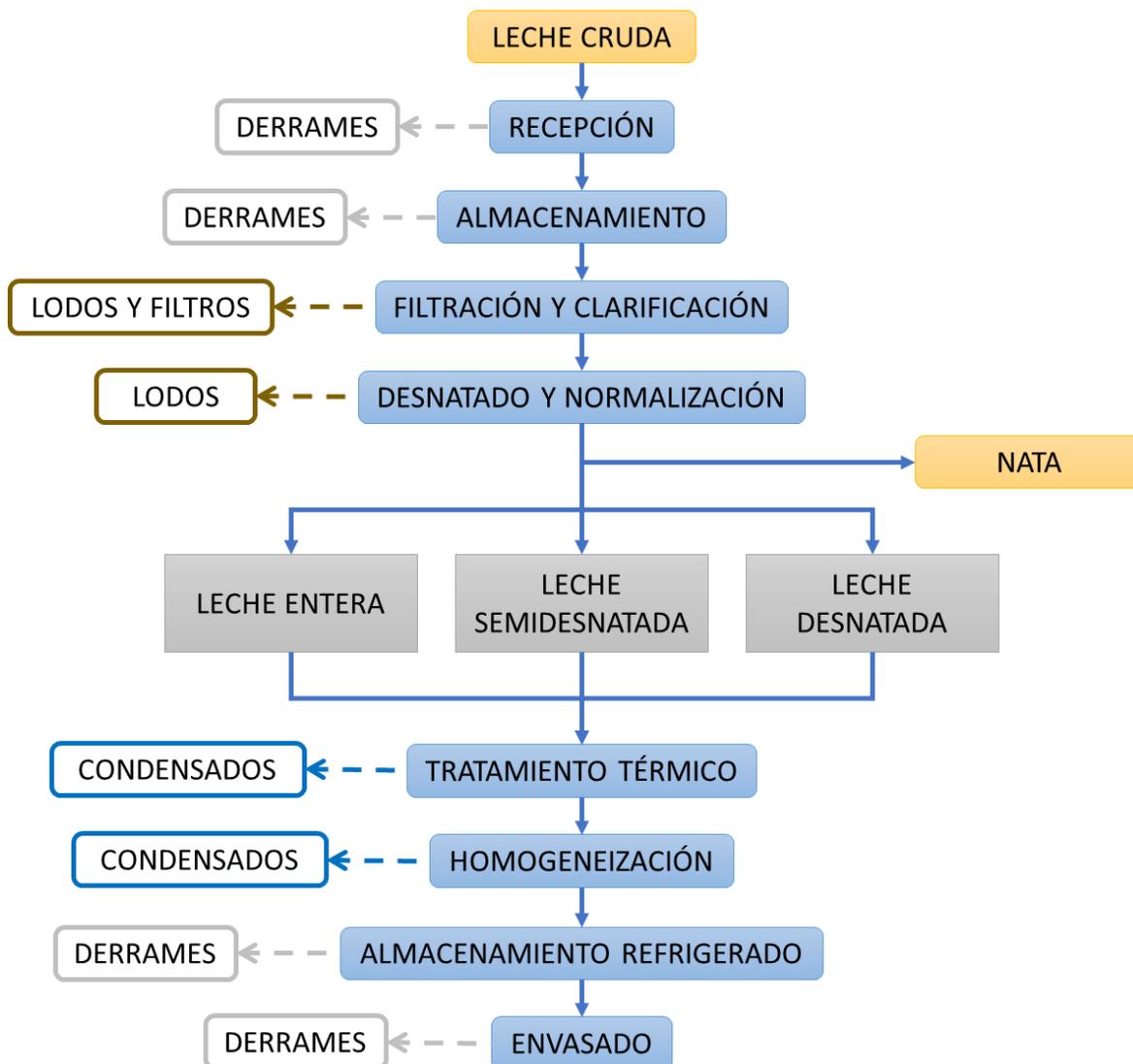


Figura 4. Generación de contaminantes en el proceso de elaboración de leche tratada térmicamente.

Fuente: Elaboración propia con información de Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. Prevención de la Contaminación en la Industria Láctea, 2002.

A nivel internacional hay estudios que relacionan el consumo de energía en el sector lácteo con la generación de GEI, no obstante, no se tiene un estudio comparativo que establezca un valor de referencia con respecto a la cantidad de energía consumida o la cantidad de producto obtenida.

En el estudio “Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad: procesamiento de productos lácteos” desarrollado por la IFC en 2017, se pueden observar los resultados de la producción de efluentes de 13 centrales lecheras dedicadas a la producción de leche comercial.

De acuerdo con este estudio, los residuos sólidos totales que se obtuvieron como resultado variaron entre 1.7 y 14 kg por cada mil litros de leche producida. Con respecto a los efluentes, su generación fue menor que el agua dulce consumida. Esto se debe a que parte del agua utilizada en el proceso se evapora y a que ciertas prácticas permiten descargar en los alrededores agua no utilizada.

El Consejo Nórdico de Ministros plantea un valor de referencia en cuanto a la producción de efluentes para una planta tipo, el cual ronda entre 0.9 y 1.4 litros de residuo por litros de leche procesada. Dentro de los países estudiados, Noruega es quien presenta la mayor cantidad de efluentes por litro de leche producida, mientras que Dinamarca muestra las mejores prácticas y estándares de control al estar por debajo de los límites de referencia. México, por su parte, no cuenta con información oficial de la cantidad de efluentes derramados a los mantos acuíferos, ni los tratados por las centrales lecheras.

f) Normatividad y condiciones de operación

Al tratarse de alimentos, las normas deben de ser lo suficientemente estrictas y específicas para dar la seguridad al consumidor de que los productos cumplen con los requisitos para su ingesta.

El caso de los lácteos no es la excepción, pues se trata de productos altamente perecederos y que, al momento de obtenerlos, contienen microorganismos dañinos para la salud, así como impurezas y componentes sanguíneos.

Además de cumplir con estándares de salubridad, es importante que al comerciar con otros países se cumplan no solo las normas aplicables en el país, sino aquellas que obedecen a los esquemas a nivel internacional, por lo que es importante conocer las leyes dedicadas a este sector.

La primera de ellas es la que se refiere al cuidado y control de los animales. La ley aplicable a nivel internacional es el Código Sanitario para los Animales Terrestres, el cual establece el diagnóstico, vigilancia y notificación de las enfermedades animales.

Con respecto al tratamiento de la leche, la normatividad aceptada y adoptada por la mayoría de los países es el Codex Alimentarius. Esta comisión fue establecida en 1963 por la FAO y la OMS con la finalidad de elaborar normas y directrices alimentarias y textos afines para un control adecuado de los alimentos comercializados en todo el mundo y como una iniciativa para evitar problemas de salud.

A pesar de que estas normas se han adoptado en la gran mayoría de los países, cada uno de ellos cuenta con su propia normatividad, principalmente porque se aplican diferentes sistemas jurídicos y administrativos, lo que muchas veces dificulta la aceptación de las normas.

Lo que sucede más comúnmente es que los países modifican las cuestiones técnicas y reglamentarias para la adaptación a su territorio. Esto ha tenido resultados favorables pues los límites establecidos por sanidad para cada producto lácteo se han respetado en cada país, siendo muy poca la variación con respecto al estándar internacional.

En México, la Constitución Política no establece una norma que fundamente en específico la inocuidad de la leche. No obstante, existe normatividad aplicable la cual busca cubrir los requisitos de limpieza y seguridad establecidos a nivel internacional.

La Ley Federal de Sanidad Animal, reformada en 2018, fija las bases para el diagnóstico, prevención, control y erradicación de las enfermedades y plagas que afectan a los animales, lo cual incluye a los bovinos, principal fuente de producción de leche en el país.

En cuanto al tratamiento de la leche cruda, en México aplican dos normas oficiales la NOM-243-SSA1-2010: Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos; y Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba; y la NOM-155-SCFI-2012, Leche - Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

Ambas normas presentan las definiciones utilizadas en el sector y establecen los métodos y pruebas que deben utilizarse en los productos lácteos para satisfacer las necesidades sanitarias, es decir, las especificaciones que deben de cubrir los tipos de leche y sus derivados.

Con respecto a las condiciones de operación, después de análisis y pruebas de laboratorio, se establecieron los valores para que la leche fuera apta para consumo humano. Esta información partió del estudio realizado por Kessler en 1985, la cual establece las condiciones de operación mínimas para llevar a cabo la pasteurización de la leche. La ecuación a la que llegó como resultado fue:

$$\ln\left(\frac{t}{t_0}\right) = \frac{E_a}{R} * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) \text{-----} (8)$$

Donde:

- $E_a = 285,000 \text{ J/mol}$ (energía de activación cuando $z = 8 \text{ °C}$ y $T = 72 \text{ °C}$)
- $R = 8,314 \text{ J/mol}$
- $t_0 = 15 \text{ segundos}$
- $T_0 = 345 \text{ K}$ (temperatura correspondiente a 72 °C)

Ahora bien, tomando en consideración la normatividad aplicable en los diferentes países se creó la Tabla 15, en la que se establecen las condiciones de operación para el proceso de pasteurización, dependiendo de si se trata de una pasteurización

en lote, continua o en condiciones específicas, así como los requisitos para su almacenamiento.

Tabla 15. Condiciones de temperatura y tiempo para el tratamiento térmico de productos lácteos.

Tipo de pasteurización		Producto	Temperatura	Tiempo	Almacenamiento
Lote		Leche	62.8 °C	30 min	Refrigeración
		Productos viscosos o con más de 10% de grasa o endulzante	65.6 °C	30 min	Refrigeración
		Postres congelados	68.3 °C	30 min	Refrigeración
Continua	HTST*	Leche	71.7 °C	15 s	Refrigeración
		Productos viscosos o con más de 10% de grasa o endulzante	74.4 °C	15 s	Refrigeración
		Postres congelados	79.4 °C	25 s	Refrigeración
		Postres congelados	82.2 °C	15 s	Refrigeración
		Leche	88.3 °C	1 s	Refrigeración
		Leche	90.0 °C	0.5 s	Refrigeración
		Leche	93.8 °C	0.1 s	Refrigeración
		Leche	96.2 °C	0.05 s	Refrigeración
	Ultrapasteurización	Leche y crema	137.8 °C	2 s	Refrigeración, almacenamiento prolongado
	Aséptica, UHT**		Leche	135-150 °C	4-15 s
Esterilización		Enlatados	115.6 °C	20 min	Temperatura ambiente

*HTST: High Temperature, Short Time

** UHT: Ultra High Temperature.

Fuente: Elaboración propia con información de Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento (Ce) N° 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, 2004. FAO. Código de Prácticas de Higiene para la Leche y los Productos Lácteos, 2009. FAO-OMS. Codex Alimentarius, 2011. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Código del Sector de Productos Lácteos, 1983.

En México se adoptaron las prácticas convencionales establecidas a nivel internacional, por lo que el proceso de pasteurización adopta los tiempos y temperaturas comerciales, tal y como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Condiciones de temperatura y tiempo para la pasteurización y la esterilización de la leche establecidas en la NOM-243-SSA1-2010.

Tratamiento	Temperatura	Tiempo
Pasteurización	63 °C (lenta)	30 min
	72 °C (rápida)	15 s
Ultrapasteurización o esterilización	135 °C – 149 °C	2 a 8 s

Fuente: DOF. NOM-243-SSA1-2010, 2010.

A pesar de que en México se adoptó la normatividad internacionalmente aceptada, no toda la producción de leche en el país cumple con los estándares, ya que, sobre todo los productores locales, no cuentan con la instrumentación necesaria para tener un sistema de control adecuado que permita cumplir la norma de forma adecuada.

Conclusiones

El principal objetivo de este trabajo fue identificar la información disponible acerca del sector lechero mexicano. A partir de este estudio, podemos afirmar que en nuestro país existe un grado de desinformación considerable referente a los consumos de energía y agua del sector lácteo, así como de la producción de efluentes que genera esta industria.

Esto se puede traducir en un mayor consumo de recursos y energía, además de un impacto más severo a los ecosistemas. De cubrirse estos vacíos de información, se podrían mejorar los procesos de producción lechera, teniendo como consecuencia mejoras para productores y consumidores.

Como observamos en la Tabla 1, identificar los consumos eléctricos de la planta permite a los productores contar con información necesaria para un adecuado control; considerar si existen oportunidades de ahorro de energía; y analizar la viabilidad de implementar nuevas tecnologías que les ayuden a mitigar su consumo.

Podemos observar otro análisis comparativo en el estudio realizado por la IFC en el 2017, donde se muestran los resultados obtenidos para diferentes países de Europa. Esto les ha permitido analizar las causas que generan un mayor consumo respecto a otros países, comprendiendo si se trata de aspectos propios de la región como lo pueden ser la composición de la leche, su geografía, etc. o si se trata de aspectos como las prácticas o bien las tecnologías utilizadas.

Como se observa en las Tablas 3, 4 y 5, las lecheras danesas son las que tienen un menor consumo de energía y agua, así como una menor producción de efluentes. Si se contara con esta información en México, podrían surgir análisis que apuntaran hacia una transición energética y mejores prácticas que apoyaran la producción de leche y su posterior tratamiento para obtener productos secundarios. De esta manera, disminuiría la cantidad de leche que importamos, ya que desde la década de los 90's, México se ha vuelto dependiente de la leche que ingresa de otros países.

Ahora bien, podríamos pensar que este tipo de estudios nos sirven para realizar una comparativa nacional, no obstante, es necesario contar con información de países que se asemejen más a nuestras condiciones, tomando en cuenta aspectos como el marco legal, las tecnologías a las que podemos acceder y, sobre todo, los tipos y precios de los energéticos utilizados para la producción de leche.

Después del sector transporte, el sector industrial es el segundo mayor consumidor de energía en México, de aquí la necesidad de contar con estudios precisos que midan la energía consumida por cada subsector. A pesar de que el sector lácteo no figura dentro de las principales industrias a nivel nacional, se ubica como la tercera más importante en el sector alimenticio, por lo que es importante desarrollar este tipo de análisis. Pues todo ahorro energético aporta, no solo hablando del aspecto económico, sino de la mitigación de los estragos medioambientales.

Como se observa en el inciso e) del capítulo 4, se logró un acercamiento de la energía requerida en los procesos de pasteurización, a través del cálculo de la energía térmica necesaria para los dos procesos descritos, no considerando las pérdidas de calor al ambiente.

Ahora bien, los resultados obtenidos del análisis comparativo sirven de precedente para futuros estudios y sientan las bases para el desarrollo de mejores prácticas y se atiendan las recomendaciones sugeridas en este trabajo.

Recomendaciones

El sector lechero ha presentado un crecimiento constante durante los últimos 50 años, lo que se traduce en una gran oportunidad para las familias dedicadas a este ámbito laboral, sobre todo para aquellas que se encuentran en países en vías de desarrollo (FAO, 2019).

Este incremento en la demanda supone un aumento en el consumo de agua y energía, así como en una mayor producción de efluentes. Esto puede tener serias consecuencias para los ecosistemas y para la salud, ya que un mayor consumo de energía implica una mayor producción de Gases de Efecto Invernadero.

De la información recopilada en este trabajo, podemos observar que los países europeos son los que han dedicado más esfuerzos a determinar los consumos energéticos en plantas de producción lechera, lo que ha permitido que países miembros busquen tener las mejores prácticas para el ahorro de energía y recursos (IFC, 2017).

Por otra parte, observamos que en México no se cuenta con la información suficiente para determinar el consumo de energía y la producción de efluentes a nivel nacional. Por esto, la principal recomendación es realizar un estudio que permita conocer estos indicadores para dos tipos de plantas: planta de producción a gran escala y planta de producción a pequeña escala.

Esta determinación surge debido a que en México la producción de lácteos se lleva a cabo no solo por grandes empresas, sino que una cantidad considerable del abasto nacional lo realizan pequeños productores que, en su mayoría, suministran sus productos de forma local.

Para la obtención de los indicadores, primeramente, sería necesario definir las plantas tipo a analizar, para lo cual se recomienda tomar en cuenta aspectos como la cantidad de leche producida y el nivel de equipamiento de la planta, ya que de estos factores depende principalmente el consumo de energía y agua, así como la producción de efluentes.

Una vez recopilada la información, la recomendación sería establecer el porcentaje de participación en la producción láctea de cada entidad federativa por tipo de planta, es decir, establecer qué producción a pequeña escala y a gran escala tiene cada estado. Con esta información y la producción reportada por el SIAP, se puede tener un primer estimado de los indicadores energéticos y de la producción de contaminantes a nivel nacional.

Ahora bien, en cuanto a la desagregación de la información, supone un reto considerable el contar con una muestra más representativa de la producción por tipo de planta, ya que no existe un dato preciso del número de empresas productoras de leche a nivel nacional, así como el tipo de tecnología que utilizan, por lo que la sugerencia sería analizar una muestra de al menos 3 tipos de plantas de gran escala y 3 de pequeña escala, tomando en cuenta el tipo de tecnología que utilizan, la variación de productos que elaboran y las oportunidades de mejora que podrían presentar.

Asimismo, se recomienda que los análisis se hicieran tomando en cuenta factores como las pérdidas de energía durante el proceso, el desperdicio o buen uso del agua, los derrames durante la línea de producción y el tratamiento que se les da a los efluentes. Esto permitiría contar con un acercamiento más preciso en cuánto a los consumos y las áreas de oportunidad de ahorro de energía y recursos. De la misma manera, podrían sentarse las bases para futuras propuestas de cuidado y restauración de los ecosistemas afectados por el mal tratamiento de efluentes.

Es importante resaltar que los estudios que se requieren para contar con la información representan una inversión de capital considerable (para poder realizar las visitas a las plantas), así como una complejidad que podría plasmarse en varios trabajos de tesis, por lo que la última recomendación sería buscar la colaboración con una instancia gubernamental o con alguna asociación privada que permita contar con los recursos necesarios y con la oportunidad de visitar las plantas y realizar los análisis.

Bibliografía

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (1967). Código del Sector de Productos Lácteos. Gobierno de España. Recuperado en febrero de 2021 de: https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?id=197&modo=2¬a=0&tab=2

Banco Interamericano de Desarrollo. (2000). La industria láctea de México en el contexto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado en diciembre de 2020 de: [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-industria-l%C3%A1ctea-de-M%C3%A9xico-en-el-contexto-del-Tratado-de-Libre-Comercio-de-Am%C3%A9rica-del-Norte-\(TLCAN\).pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-industria-l%C3%A1ctea-de-M%C3%A9xico-en-el-contexto-del-Tratado-de-Libre-Comercio-de-Am%C3%A9rica-del-Norte-(TLCAN).pdf)

Banda, José / Loera, Jesús. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. Scielo. Recuperado en mayo de 2021 de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572017000400008#:~:text=Dentro%20del%20subsector%20pecuario%2C%20la%20del%20valor%20total%20del%20subsector.&text=M%C3%A9xico%20produce%20alrededor%20de%2011%2C000,de%20leche%20fue%20de%201.0%25

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. (2002). Prevención de la contaminación en la industria láctea. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado en diciembre de 2020 de: http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf

Condorchem Envitech. (2019). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Condorchem Envitech. Recuperado en diciembre de 2020 de: <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>

Corporación Financiera Internacional. (2007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad: PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS LÁCTEOS. Corporación Financiera Internacional. Recuperado en marzo de 2021 de: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/67923de6-8e0d-40f9-96a0->

[ad5b0fc1a8a0/0000199659ESes%2BDairy%2BProcessing-rev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jqeI4G6](https://p2infohouse.org/ref/24/23296/d_chp0.pdf)

COWI Consulting Engineers and Planners AS. (2020). Cleaner Production Assessment in Dairy Processing. Pollution Prevention Infohouse. Recuperado en abril de 2021 de: https://p2infohouse.org/ref/24/23296/d_chp0.pdf

Dávalos Flores, José Luis. (2020). Panorama general de la leche en el mundo y México. Cámara Nacional de Industriales de la Leche. Recuperado en febrero de 2021 de: <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2020/03/Panorama-general-de-la-leche-en-M%C3%A9xico-y-el-mundo.pdf>

Diario Oficial de la Unión Europea. (2004). Reglamento (ce) n° 853/2004 del parlamento europeo y del consejo. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado en diciembre de 2020 de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:02004R0853-20210101&from=EN#tocl1>

Economic Research Service. (2021). Dairy. U.S. Department of Agriculture. Recuperado en enero de 2021 de: <https://www.ers.usda.gov/topics/animal-products/dairy/>

Emond, Caroline. (2019). The world dairy situation. Federación Internacional de Lechería. Recuperado en marzo de 2021 de: [https://agriprofocus.com/upload/post/CAROLINE-EMOND-min_\(1\)1573130127.pdf](https://agriprofocus.com/upload/post/CAROLINE-EMOND-min_(1)1573130127.pdf)

Estévez Rodríguez, Alina. (2013). Propuesta de estrategias preventivas para disminuir y/o eliminar la generación de desechos para la elaboración de quesos en una procesadora de lácteos. Universidad Veracruzana. Recuperado en marzo de 2021 de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42310/RodriguezEstevezAlina.pdf?sequence=2>

European Commission. (2021). Milk and dairy products. European Union. Recuperado en mayo de 2021 de: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/animals-and-animal-products/animal-products/milk-and-dairy-products_en

Federación Internacional de la Leche. (2015). A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. Bulletin of the International Dairy Federation. Recuperado en octubre de 2020 de: https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/09/Bulletin479-2015_A-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector.CAT.pdf

Guerrero Ortiz, Jeanny / Rodríguez Castillo, Paula Areli. (2010). Características físico – química de la leche y su variación. Estudios de caso, Empresa de lácteos El Colonial, León, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Recuperado en marzo de 2021 de: <https://repositorio.una.edu.ni/1399/1/tng04g934.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado en noviembre de 2020 de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/#Tabulados>

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (s.f.). Pasteurizadores de leche. Principios básicos para su correcto diseño, uso y mantenimiento. De Ministerio de Industria. Recuperado en noviembre de 2020 de: <https://docplayer.es/14380945-Principios-basicos-para-su-correcto-diseno-uso-y-mantenimiento.html>

Knips, Vivien. (2005). Developing Countries and the Global Dairy Sector Part I Global Overview. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en febrero de 2021 de: <https://www.fao.org/3/bp204e/bp204e.pdf>

La Cámara Nacional de Industriales de la Leche. (2011). El Libro Blanco de la Leche y los Productos Lácteos. Universidad Veracruzana. Recuperado en noviembre de 2020 de: https://www.uv.mx/personal/pcervantes/files/2012/05/libro_blanco_de_la_leche.pdf

Liconsa. (2017). Litros de leche producidos para el Programa de Abasto Social de Leche. Gobierno de México. Recuperado en febrero de 2021 de: <https://www.datos.gob.mx/busca/dataset/litros-de-leche-producidos-para-el-programa-de-abasto-social-de-leche>

Liconsá. (2014). Programa Institucional 2013-2018. Secretaría de Desarrollo Social. Recuperado en enero de 2021 de: <http://www.liconsá.gob.mx/wp-content/uploads/2014/08/PROGRAMA-INSTITUCIONAL-LICONSA-2do-trimestre.pdf>

Modelado en Ingeniería. (2017) Nociones Teóricas del Proceso de Pasteurización de la Leche. Recuperado en diciembre de 2020 de: <https://www.modeloingenieria.edu.ar/images/descargas/cap03.pdf>

Nasanovsky, Garijo, Kimmich. (2017). Lechería. Recuperado en diciembre de 2020 de: <https://12ft.io/proxy?q=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F321146956%2FLibro-Lecheria>

National Dairy Development Board. (2019). World Dairy Production. National Dairy Development Board. Recuperado en mayo de 2021 de: <https://www.nddb.coop/information/stats/across>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). Codex Alimentarius. Leche y Productos Lácteos. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en febrero de 2021 de: <https://www.fao.org/3/i2085s/i2085s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2004). Código de prácticas de higiene para la leche y los productos lácteos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en marzo de 2021 de: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252FCodex%252FStandards%252FCXC%2B57-2004%252FCXC_057s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019b). El sector lechero mundial: Datos. Federación Internacional de Lechería. Recuperado en marzo de 2021 de: <http://www.dairydeclaration.org/Portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Energy requirements in milk processing. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en octubre de 2020 de: <https://www.fao.org/3/t0515e/T0515E03.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019c). Portal lácteo: Animales lecheros, ganado vacuno. Recuperado en marzo de 2021 de: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/cattle/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Portal lácteo: Codex Alimentarius. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en marzo de 2021 de: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/codex-alimentarius/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Portal Lácteo: Cuestiones sociales y de género. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en noviembre de 2020 de: <https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-economics/social-and-gender-issues/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019a). Portal Lácteo: Producción Lechera. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en octubre de 2020 de: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/#:~:text=Producci%C3%B3n%20lechera,la%20nutrici%C3%B3n%20de%20los%20hogares>

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2021). Código Sanitario para los Animales Terrestres. Organización Mundial de Sanidad Animal. Recuperado en octubre de 2020 de: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029. OECD iLibrary. Recuperado en febrero de 2021 de:

<https://www.oecd-ilibrary.org/sites/aa3fa6a0-en/index.html?itemId=/content/component/aa3fa6a0-en>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). OECD Agriculture Statistics. OECD iLibrary. Recuperado en marzo de 2021 de: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics Agr-data-en>

Peña Revuelta, Blanca Patricia. (2014). Marco Jurídico en Producción Lechera. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado en noviembre de 2020 de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7535/PE%c3%91A%20REVUELTA%2c%20BLANCA%20PATRICIA%20%20TESIS%20MAESTRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Poméon, Thomas / Cervantes Escoto, Fernando. (2010). El Sector Lechero y Quesero en México de 1990 a 2009: entre lo global y lo local. Universidad de Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Recuperado en diciembre de 2020 de: <https://ciestaam.edu.mx/publicacion/sector-lechero-quesero-en-mexico-1990-a-2009-lo-global-lo-local/>

Robledo Padilla, Ramón. (2018). Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en mayo de 2021 de: <http://ru.iiec.unam.mx/3744/>

Secretaría de Economía. (2012). Análisis del Sector Lácteo en México. Gobierno de México. Recuperado en octubre de 2020 de: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf

Secretaría de Energía. (2019). Balance Nacional de Energía 2018. Secretaría de Energía. Recuperado en enero de 2021 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance_Nacional_de_Energ_a_2018.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Boletín de Leche Octubre-Diciembre 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado en diciembre de 2020 de: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Boletin%20leche%20cuarto%20trimestre%20final%20paginas.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Estadística de la Producción Pecuaria de 2021. Gobierno de México. Recuperado en enero de 2021 de: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_p.php

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Producción Ganadera. Gobierno de México. Recuperado en mayo de 2021 de: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>

Sistema de Información Energética. (2021). Balance Nacional de Energía: Consumo de energía en el sector agropecuario. Secretaría de Energía. Recuperado en febrero de 2021 de: <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C06>

Sistema de Información Energética. (2021). Balance Nacional de Energía: Consumo de energía en el sector industrial. Secretaría de Energía. Recuperado en mayo de 2021 de: <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C04>

Statista. (2022). Major producers of cow milk worldwide in 2021, by country. Statista. Recuperado en mayo de 2022 de: <https://www.statista.com/statistics/268191/cow-milk-production-worldwide-top-producers/>

Vaca Pinta. (2018). Indicadores del sector lácteo vacuno. Vaca Pinta. Recuperado en diciembre de 2020 de: https://vacapinta.com/media/files/fichero/vacapinta004_castelan_lr-76-82.pdf