1. Extracción y cuantificación de ácidos grasos en residuos lácteos

Karime Ortiz Estrada*
Victoria Jared Borroel García**
Mercedes Georgina Ramírez Aragón***
José Dimas López Martínez****
Jesús Alejandro Valdés Nieblas*****

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.361.01

Resumen

Uno de los principales productos en el sector agropecuario a nivel mundial es la leche; este es un producto altamente consumido, posicionándose entre los cinco principales productos agropecuarios y sus derivados, representando un 14 % del comercio mundial. La industria lechera cuenta con plantas de sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a que en cada proceso de elaboración de productos derivados de la leche resultan grandes cantidades de residuos líquidos con concentraciones elevadas de aceites, grasas y sólidos suspendidos. Esto ocasiona un alto índice de contaminación ambiental; sin embargo, estos lodos contienen características de tipo proteico, algunas bacterias, nutrientes y residuos de origen vegetal. Las grasas de origen animal obtenidas a partir de subproductos de la industria láctea se utilizan normalmente en la producción de piensos, jabones o biodiesel, debido a su bajo costo y disponibilidad. En el presente trabajo se analizaron dos muestras de residuos A y B de la industria lechera, mediante el método

* Licenciada en Biotecnología de la Universidad Poltécnica de Gómez palacio, México.
** Doctora en Ciencias Agrarias. Profesora-investigadora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1752-5586
*** Doctora en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Profesora-investigadora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8044-3893
**** Doctor en Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0545-5904
***** Doctorado en Administración. Profesor-investigador en e Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México ORCID: https://orcid.org/0009-0000-8184-3349

de calentamiento y centrifugación; los mejores resultados se observaron en los residuos de la muestra A, donde se tuvo una mayor recuperación de grasas con un 14 % de rendimiento.

Palabras clave: *centrifugación, decantación, grasas, oleico.*

Introducción

El avance a nivel mundial de la industria alimentaria desde la segunda mitad del siglo XX se enmarca en la instauración de una forma de alimentación moderna, en la que la fabricación de alimentos se encuentra predominantemente en manos de laboratorios y complejos agroindustriales. Este fenómeno de globalización ha engendrado una mayor dependencia de la agricultura respecto a la agroindustria, estableciendo vínculos que incluyen relaciones de subordinación. Como consecuencia, han surgido procesos de regionalización en la producción y el comercio, fortaleciendo la posición de las compañías de las naciones industrializadas (Camacho *et al*., 2017).

En ciertas naciones en vías de desarrollo, existe una arraigada tradición de la producción de leche, pues este alimento o sus derivados desempeñan un papel crucial en la alimentación. En contraste, en otros países, el aumento significativo en la producción láctea es un fenómeno más reciente. La mayoría de las naciones del primer grupo están ubicadas en áreas como el Mediterráneo, el Cercano Oriente, el subcontinente indio, las regiones de sabana en África occidental, las zonas montañosas de África oriental y ciertas partes de América Latina y Centroamérica (ONU, 2024).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), la leche desempeña un papel esencial en la promoción de la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza a nivel global. La industria láctea no solo constituye una fuente constante de ingresos, sino que también suministra alimentos ricos en nutrientes como proteínas de alto valor, hidratos de carbono, lípidos, yodo, calcio, fósforo, etc., diversifica los riesgos económicos, optimiza la utilización de los recursos disponibles, fomenta la creación de empleo tanto en la produc-

ción como en otros sectores, ofrece oportunidades para las mujeres y contribuye a la estabilidad financiera y la posición social (Gallegos *et al*., 2023).

La cría de ganado bovino para la producción de leche es una de las actividades pecuarias más destacadas a nivel global, impulsada por la creciente demanda de productos lácteos para satisfacer las necesidades de consumo de la población, especialmente en el segmento infantil y de adultos mayores. En México, la producción de alimentos derivados del ganado bovino, tanto lácteos como cárnicos, contribuye significativamente al producto interno bruto del sector alimentario, representando aproximadamente el 32 % (Áviles *et al*., 2024).

Estado del arte

La producción de leche en el mundo

La industria láctea desempeña un papel crucial en la nutrición humana debido a los continuos avances en la investigación genética, las técnicas de alimentación del ganado y los descubrimientos relacionados con la salud destinados a mejorar la calidad de vida. Estos avances tienen un profundo impacto en los patrones de consumo y el comportamiento del mercado de la amplia gama de productos que ofrece la industria láctea. La Unión Europea, Oceanía y América del Norte son los principales exportadores de leche del mundo (Figura 1) (Avilés *et al*., 2024).

La producción de leche en México

En México, la producción de leche se lleva a cabo mediante tres sistemas principales: lechería intensiva, lechería familiar y lechería tropical o de doble propósito. Cada uno de estos sistemas se distingue por su diversidad en términos de productividad, métodos de producción y tamaño de las empresas. La leche se produce en regiones con climas variados, desde áridos y semiáridos hasta tropicales, e incluso en el altiplano del país, lo que implica condiciones ambientales muy diferentes (Alfonso *et al*., 2023).

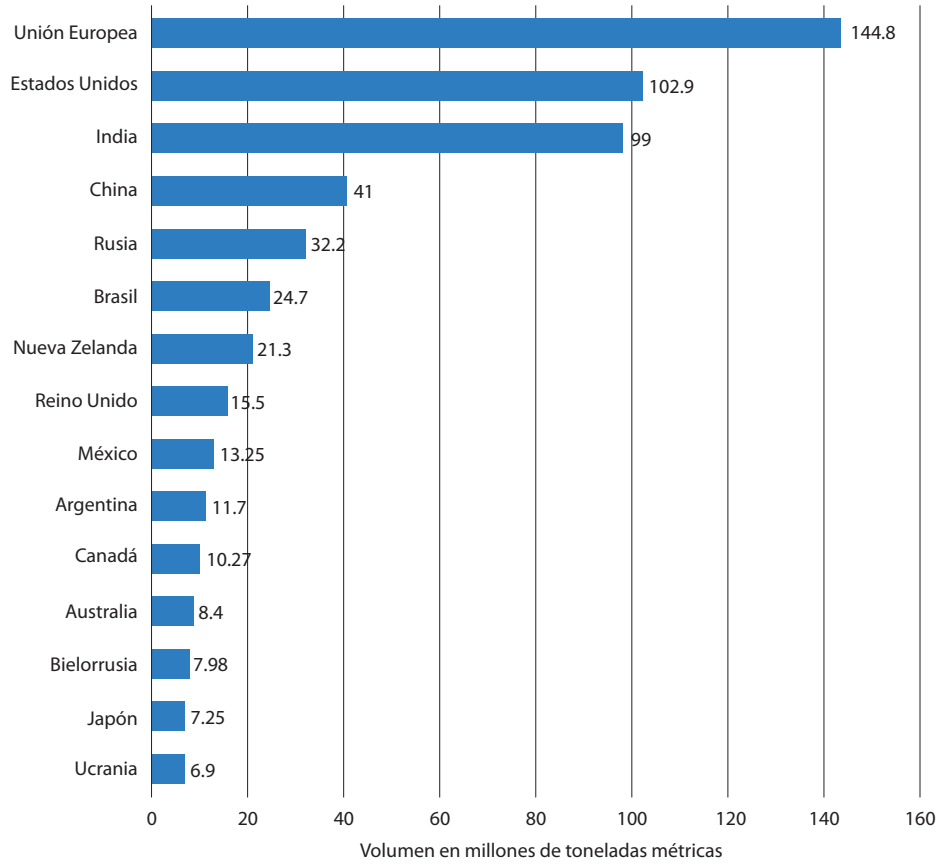


Figura 1.1. *Principales productores de leche en el mundo*

Fuente: https://es.statista.com/estadisticas/600241/principales-productores-de-leche-de-vaca-en-el-mundo-en/

La lechería, intensiva y familiar, enfocada en razas lecheras especializadas, predomina en zonas templadas, semiáridas y áridas del país. En contraste, la lechería tropical o de doble propósito, que utiliza vacas cruzadas, se desarrolla en regiones tropicales. Esta diversidad productiva ha dado origen a sistemas comerciales de leche fresca con características únicas, determinadas por el manejo de los hatos y la región donde se ubican (Barrón *et al*., 2023).

En México, la producción lechera se ha centralizado en áreas especializadas, conocidas como cuencas, desde donde se distribuye a los principales

centros urbanos para su consumo. Este sector se distingue por su concentración geográfica y su significativa importancia económica. Existen tres sistemas de producción láctea que se diferencian geográficamente en este país: (a) el sistema intensivo, que abarca la Comarca Lagunera en Durango y Coahuila, y recientemente Querétaro; (b) el sistema familiar, que se extiende por todo el altiplano central; y (c) el sistema extensivo de doble propósito, que se encuentra en las regiones tropicales. La organización de la producción de leche a nivel nacional refleja lo que sucede a nivel mundial: procesos de concentración en la producción y control por parte de la agroindustria (Camacho *et al.*, 2017).

La producción de leche se extiende por las diversas regiones agroecológicas de México, abarcando zonas áridas, semiáridas, templadas y tropicales. Sin embargo, dentro de cada región se han identificado y caracterizado distintos sistemas de producción, tomando en cuenta su importancia en términos productivos, económicos, agroecológicos y sociales. Estos sistemas se clasifican como: sistema intensivo-especializado (SIE), sistema familiar-traspatio (SFT) y sistema doble-propósito (SDP) (Avilés *et al.*, 2024). Si bien la distinción entre estos sistemas es clara, su distribución no es exclusiva de una sola región. Los SIE se concentran principalmente en La Comarca Lagunera, que comprende los municipios de Coahuila de Torreón, Matamoros, San Pedro, Francisco I. Madero y Viesca, y de Durango, Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo y Mapimí (Avilés *et al.*, 2024).

La producción de leche de vaca domina el panorama lácteo nacional, posicionándose como el tercer producto de mayor valor agregado en la industria alimentaria, con un 17.22 % del total, solo superada por la carne de bovino (30 %) y la carne de ave (23 %). Según el informe de Estadísticas del Sector Lácteo de abril de 2021, elaborado por la Cámara Nacional de Industriales de la Leche (Canilec) (Canilec, 2021). México ocupa el puesto 16 a nivel mundial en cuanto a producción de leche, alcanzando un volumen anualizado de 450 millones de litros, equivalente al 2 % del total global. En el ámbito del mercado internacional de lácteos, el país destaca como un importador neto de productos lácteos, principalmente quesos y leche en polvo. Cabe mencionar que la producción de leche en México se caracteriza por su diversidad, con la presencia de tres sistemas principales: intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble propósito) (Gallegos *et al.*, 2023).

Industrial láctea en la Comarca Lagunera

Desde sus inicios, en la Comarca Lagunera, la actividad lechera se ha desarrollado bajo las condiciones naturales de la región, caracterizada por un clima árido. El sistema de producción de leche predominante en esta área desde el principio ha sido el intensivo o modelo Holstein. Este enfoque de producción implica la adopción de tecnologías innovadoras para mejorar la calidad y eficiencia en la producción láctea. Entre estas innovaciones se incluyen la utilización de la inseminación artificial para el mejoramiento genético, la introducción de forrajes de alta calidad como la alfalfa en la alimentación del ganado, la implementación de sistemas de ordeña mecanizada y el establecimiento de una cadena de frío para mantener la leche en óptimas condiciones, desde su recolección inicial hasta su distribución y venta como producto final (Ríos *et al*., 2019).

La Comarca Lagunera, con una producción anual de 2 448 millones de litros y una participación del 21 % en la producción nacional, es la principal región productora de leche en México. En el año 2018, el inventario de ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera alcanzó las 490,876 cabezas. En esta zona coexisten diversos sistemas de producción de leche de vaca, siendo el sistema intensivo altamente tecnificado el predominante, con establos que albergan más de 6 000 animales y una producción promedio por vaca en ordeño de más de 32 litros diarios (Robledo, 2024).

La industria alimentaria, incluyendo la industria láctea, se encuentra entre las más contaminantes del planeta debido a la generación de residuos con alta carga orgánica de difícil degradación ambiental. El lacto suero, subproducto principal de la elaboración del queso tras la separación de la caseína, representa alrededor del 85-95 % del volumen de la leche y contiene la mayoría de sus compuestos hidrosolubles. Este residuo está compuesto principalmente por lactosa, proteínas, grasas y minerales, con un contenido de materia orgánica que varía entre 50 y 60 % (Guerrero *et al*., 2011).

Generación de efluentes

El impacto ambiental más relevante de la industria lechera es la generación de aguas residuales. Esta problemática se debe tanto a los altos volúmenes

de aguas residuales producidos como a la carga contaminante que estas contienen. Las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por presentar un alto contenido de grasa, nitrógeno y fósforo, además de la ya conocida demanda química de oxígeno (DQO) elevada. Esta combinación de contaminantes hace necesario implementar procesos de nitrificación-desnitrificación para su tratamiento adecuado. Al igual que en otras empresas del sector agroalimentario, las industrias lácteas requieren grandes volúmenes de agua a diario para sus procesos productivos, especialmente para cumplir con las estrictas normas de higiene y sanidad (Molina *et al*., 2020).

Composición de aguas residuales de la industria láctea

La industria lechera se compone, en una gran mayoría, de varios productos. En el siguiente cuadro se tienen las concentraciones de cada uno de los vertidos con base en el producto que se elabora (Cuadro 1).

Vertidos residuales de la industria láctea

Los llamados vertidos residuales de la industria lechera se producen a consecuencia de las actividades de limpieza de superficies y purgas de equipos, operaciones de equipos como condensadores y enfriadores (Ríos *et al.*, 2019). Son aquellas aguas residuales caracterizadas por una alta demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), así como un alto contenido orgánico, sólidos disueltos o suspendidos, que incluyen grasas, aceites y algunos nutrientes (Condorchem Envitech, 2024).

Cada agua residual resultante se somete a diversos procesos de tratamiento biológico: tratamiento en estanques, plantas de lodos activados y tratamiento anaeróbico. Por su parte, los métodos fisicoquímicos como la coagulación, el tratamiento electroquímico, la adsorción, entre otros, no son capaces de degradar completamente y eliminar los contaminantes, particularmente los orgánicos disueltos. El método de coagulación-floculación es el método fisicoquímico más utilizado en la industria, el cual permite la aglomeración de partículas para ser fácilmente removidas por sedimen-

tación o filtración (Armesto *et al*., 2016). Amador *et al.* (2015) mencionan que los residuos sólidos generados en el proceso productivo, como lo son los lodos provenientes de las plantas de tratamiento, son dispuestos en vertederos o reutilizados como abono.

Cuadro 1.1. *Composición de aguas residuales de la industria láctea según el proceso*

Parámetro	*Leche*	*Quesos*	*Derivados lácteos*	*Helados*
pH	8.5	6.9	8.5	8
DQO ($mg•L^{-1}$)	1775	4 500	4 000	925
SS ($mg•L^{-1}$)	435	850	825	425
Fósforo ($mg•L^{-1}$)	20	35	6.25	5.5
NTK ($mg•L^{-1}$)	65	100	100	75
Conductividad ($\mu S•cm^{-1}$)	1650	3 150	1250	1200
Cloruros ($mg•L^{-1}$)	140	220	100	135
Nitratos ($mg•L^{-1}$)	50	105	90	75
Aceites y grasas ($mg•L^{-1}$)	105	365	110	25
Detergentes ($mg•L^{-1}$)	3.5	7	7.5	6

Fuente: https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/

Lodos residuales

Un lodo residual es todo residuo resultante de procesos industriales y domésticos, los cuales contienen altos niveles de humedad. Se definen como los productos de la concentración de los sólidos contenidos en el efluente, o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos. Son conocidos también como biosólidos y pueden presentarse como líquidos, sólidos o semisólidos; tienen origen en procesos mecánicos, biológicos y químicos del tratamiento de agua residual (EPA, 2024).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) define el lodo residual como el residuo generado en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, los cuales pueden ser utilizados en tierras agrícolas como zonas verdes, cultivos, áreas de construcción, tierras de minería, bosques, parques, cementerios, jardines de hogar, pero siempre se debe realizar un tratamiento previo para su uso.

Clasificación de lodos residuales

Para Donado (2013), la clasificación se da en tres categorías:

- Aprovechables: provenientes del tratamiento aerobio y anaerobio de las plantas tratadoras de residuos (PTAR), con capacidad de ser reaprovechados en procesos de compostaje o generación de energía y los cuales necesitan ser estabilizados para emplearse como abonos y restauradores de suelos.
- No aprovechables: con nulas propiedades para aprovechamiento debido a la baja carga orgánica y poder calorífico, haciendo que sean dirigidos directamente a un relleno sanitario.
- Peligrosos: contienen sustancias dañinas para los seres vivos y afectan a los ambientes naturales. Son aptos para una disposición específica bajo medidas estrictas de seguridad.

Clasificación de generadores de lodos residuales

Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2023) "se refiere a la protección del ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional". Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano, así como propiciar el desarrollo sus-

Cuadro 1.2. *Clasificación de los generadores de residuo según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)*

Grandes generadores	***Pequeños generadores***	***Micro generadores***
Son aquellos que realizan una actividad en la que generan una cantidad igual o superior a 10 t en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida [1].	Son aquellos que realizan una actividad en la cual generan una cantidad mayor a 400 kg y menor a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida [2].	Son aquellos establecimientos industrial, comercial o de servicios que generan una cantidad hasta de 400 kg de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida [3].[1]

Fuente: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf

[1] [1] Artículo 5º, fracción XII de la LGPGIR; [2] Artículo 5º, fracción XX de la LGPGIR; [3] Artículo 5º, fracción XIX de la LGPGIR

tentable previniendo la generación, valorización y gestión integral de los residuos peligrosos, mineros y metalúrgicos, sólidos urbanos, de manejo especial. Busca prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación" (cuadro 1.2).

Métodos de estabilización de lodos residuales

Estabilización biológica

- Digestión aerobia: sistema al cual se le debe proporcionar oxígeno por un periodo significativo de tiempo para generar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta que se llegue al punto de autooxidación para lograr la reducción celular y disminuir sólidos volátiles en suspensión (Cordero *et al.*, 2017).
- Digestión anaerobia: Campos (2001) describe este proceso biológico fermentativo en donde la materia orgánica se descompone por medio de la acción de microorganismos que la transforman en dióxido de carbono y metano.

Estabilización no biológica

- Morales (2009) describe la estabilización de los lodos bajo tratamiento fisicoquímico por floculación y métodos como los térmicos o la filtración a presión. Entre los métodos de estabilización no biológica se encuentra la pasteurización de lodos, el tratamiento con cal y el acondicionamiento térmico.

Método de coagulación-floculación

Es el método aplicable a la separación de partículas de diversos tipos de densidades, neutralizando sus cargas y logrando unirlas para formar una sola masa, lo cual permite una separación exitosa mediante la sedimentación

o la filtración. Mazille *et al.* (2018) definen este método como una técnica química de tratamiento aplicada para mejorar la capacidad de eliminar partículas en un proceso físico de separación. Rodríguez *et al.* (2015) mencionan que los procesos aplicados en tratamiento de aguas residuales no deben solo remover contaminantes, sino que también reaccionan a la variabilidad de caudales, la concentración y la composición de estas aguas.

En la industria láctea, los procesos de depuración han permitido tratar eficientemente las aguas residuales generadas en sus procesos. Sin embargo, se presentan problemas en las unidades de tratamiento por la alta concentración de sólidos, aceites y grasas, y el incremento de la materia orgánica, lo que repercute en la calidad del efluente final y en la constitución de sus lodos. Ante las problemáticas presentadas destaca el tratamiento fisicoquímico de coagulación/floculación, el cual permitió desestabilizar partículas suspendidas y propiciar la formación de flóculos que son fácilmente removidos. Su eficiencia en la remoción de aceites y grasas incrementaría con la implementación de coagulantes y polímeros que otorgan estas cualidades de formación y separación de partículas (Oñate *et al.*, 2021). Calleja (2022) define un coagulante como una sustancia química capaz de alterar la carga eléctrica de partículas suspendidas, permitiendo una aglutinación. Un floculante es una sustancia que induce la desestabilización de partículas coloidales suspendidas. Ambos procesos son esenciales en la separación y la eliminación de sólidos suspendidos en el agua.

Clasificación de las grasas

La composición de los lípidos en la leche de vaca no es uniforme y se ve influenciada por diversos factores ambientales a los que el animal está expuesto. La fracción lipídica de la leche está compuesta principalmente por triglicéridos (aproximadamente un 98 %), seguidos de diglicéridos (alrededor del 2%). En menor proporción, se encuentran el colesterol, ácidos grasos libres, vitaminas liposolubles y betacarotenos, representando menos del 0.5% del total.

En cuanto a la composición de ácidos grasos, la leche presenta un 70 % de ácidos grasos saturados en promedio. Los ácidos palmítico, esteárico y

mirístico son los principales ácidos grasos saturados presentes. El 30% restante corresponde a ácidos grasos insaturados, de los cuales aproximadamente el 25 % son mono insaturados, principalmente ácido oleico (ω-9) con un 23.8 %. Los ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico (ω-6) y el ácido α-linolénico (ω-3), representan alrededor del 2.3 % del total, con una proporción de 2.3:1 entre estos dos últimos. El ácido linoleico conjugado (CLA) también se encuentra presente en la leche, aunque en menor cantidad. Es importante destacar que la proporción de ácidos grasos en la leche puede variar dependiendo de factores como la raza de la vaca, su alimentación, la época del año y las prácticas de manejo (Salazar, 2014).

Lípidos

Los lípidos son una agrupación de sustancias insolubles; entre estos existen algunos solubles ante solventes, como lo son los triglicéridos (grasas), fosfolípidos y esteroles. El término lípido se ajusta a todo compuesto relativamente insoluble en agua y soluble en solventes no polares. Mencionan que los lípidos consisten en grupos no polares con un alto contenido de carbono e hidrógeno (Calleja, 2022).

Clasificación de lípidos

Según Villamil *et al.* (2020), los lípidos se clasifican en grupos conforme a su composición:

- Lípidos simples: todo éster de ácidos grasos con alcoholes, grasas y ceras.
- Lípidos complejos: ésteres de ácidos grasos que contienen más grupos aparte de alcoholes y ácidos grasos.
- Lípidos precursores y derivados: son los ácidos grasos, glicerol, esteroides, vitaminas, hormonas liposolubles.

La FEPALE (2017) menciona que los lípidos de la leche están formados principalmente por triglicéridos en un porcentaje de 96-98 % y el porcentaje restante por lípidos simples como diglicéridos, monoglicéridos, ésteres de

colesterol y ceras; lípidos más complejos, mayoritariamente fosfolípidos; colesterol, antioxidantes; carotenoides y xantofilas (cuadro 1.3).

Cuadro 1.3. *Composición de los lípidos de la leche de vaca*

Lípido	*Porcentaje mínimo*	*Porcentaje máximo*
Triglicéridos	97.0	98.0
Diglicéridos	0.3	0.6
Monoglicéridos	0.2	0.4
Ácidos grasos libres	0.1	0.4
Fosfolípidos	0.2	1.0
Colesterol	0.3	0.4
Hidrocarburos	Trazas	Trazas

Fuente: https://www.iidenut.org/asoc_fb/posiciones/pci-5/pci-5.php

Parámetros de calidad en grasas y aceites

Ácidos grasos libres

Según Golib (2022), ácidos grasos de cadena larga no esterificados están presentes en el suero, y su destino es la oxidación o resíntesis de triglicéridos; estos indican el grado de deterioro hidrolítico que sufre la grasa, es decir, su grado de rancidez. Los ácidos grasos son responsables del deterioro del producto y su rancidez, provocando cambios indeseables en el color, sabor, aroma y consistencia en las grasas. Las grasas pueden sufrir transformaciones químicas como oxidación, hidrólisis, hidrogenación o fermentación, lo que provoca la liberación de ácidos grasos libres y confiere el carácter ácido de las grasas. La NMX-F-101-SCFI-2012 (2012) define los ácidos grasos libres como ácidos grasos que tienen un grupo ácido, pero que no están unidos a un alcohol.

Densidad

La NMX-F-075-1987 (1987) define la densidad relativa como la relación entre la masa de un volumen de una sustancia y la masa de un volumen igual de agua en las mismas condiciones de presión y temperatura. La densidad de

los aceites es siempre menor que la del agua, por ello, todos los aceites flotan en ella y quedan en la superficie. Este principio físico de aceites fue el que se empleó para la separación de las grasas del agua y de los sólidos no grasos de los residuos lácteos. Según Palacios *et al.* (2024), la densidad es la magnitud que expresa la cantidad de materia de una sustancia contenida en un determinado volumen; esta depende de la presión y temperatura del sistema.

Color Lovibond

La NMX-F-116-SCFI-2012 (2012): "establece que el color es un atributo característico de los aceites y grasas; el método Lovibond permite la determinación de color en aceites y grasas, permitiendo esclarecer su calidad y procesamiento. El color de los aceites y grasas es causado por una mezcla de pigmentos entre los cuales se encuentran carotenos, clorofilas, luteína, licopeno, gossipol y otros. Este método se basa en la igualación de color de la muestra con la escala Lovibond".

Titer

Según la NMX-F-149-1970 (1970), el títer es el punto de solidificación de los ácidos grasos contenidos en el sebo, expresado en grados Celsius. Este es un análisis de laboratorio que sirve para determinar la calidad del sebo o aceite (Fuentes, 2024).

Saponificación

Representa la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) necesario para la neutralización de los ácidos grasos contenidos en un gramo de grasa. Evalúa la pureza del aceite; un índice de saponificación alto indica una alta pureza (Moreno, 2015).

Índice de peróxido

El índice de peróxidos se expresa como la cantidad de miliequivalentes (mEq) de peróxido por kilogramo de muestra. Este análisis se basa en la capacidad del oxígeno activo para oxidar el yoduro potásico y liberar yodo, el cual luego se valora con tiosulfato utilizando una solución de almidón como indicador (Carvajal, 2019).

Metodología

Extracción de ácidos grasos

Para el análisis de las muestras se recolectaron 2 kg de muestra de residuos lácteos, etiquetada como A, y 2 kg de muestras de residuos lácteos etiquetada como B. Para la extracción de las grasas, fueron calentadas en un baño con agua a 60 °C durante 30 minutos, posteriormente, las muestras fueron colocadas en tubos cónicos de 50 mL y se centrifugó a 4000 x g (gravedades) durante 8 minutos a 25 °C. Para la recuperación de las grasas, estas fueron transferidas a tubos nuevos mediante decantación. Una vez recuperadas, a las grasas se les realizaron diferentes pruebas como contenido de humedad, ácidos grasos libres, índice de peróxido, densidad. Una vez separada la cantidad máxima de aceite en la muestra, se filtró, aprovechando la temperatura y el estado líquido del aceite.

Posteriormente a haber recuperado el aceite, se envió el producto al laboratorio de procesamiento y preservación de alimentos de origen animal del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD), donde se realizaron diversos análisis para verificar la calidad del aceite (Cuadro 3).

Resultados

Las muestras de los residuos lácteos A y B presentaron liberación de grasas a los 60 °C. La mayor recuperación de grasas fue en los residuos lácteos de la muestra A con 14 % de rendimiento, mientras que en los residuos lácteos

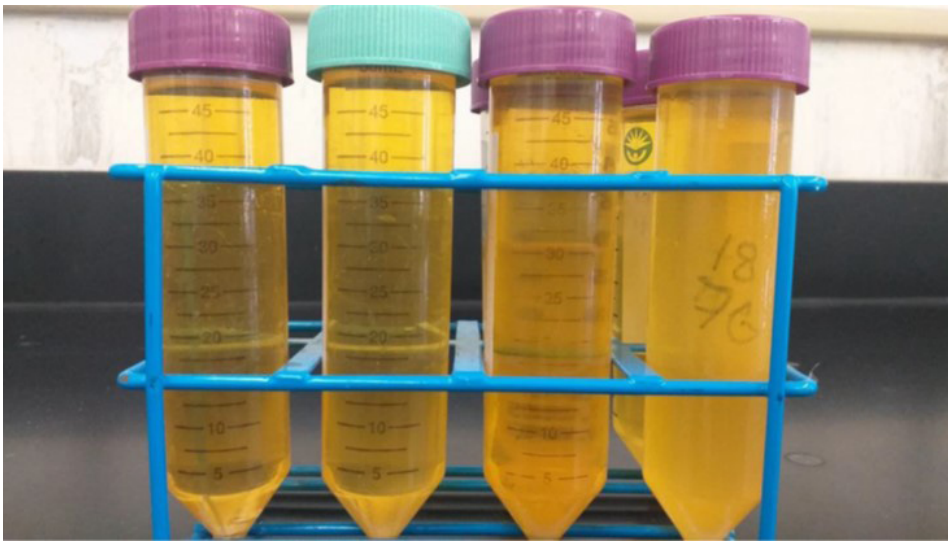


Figura 1.2. *Grasas purificadas de la marca "A"*

Fuente: elaboración propia.

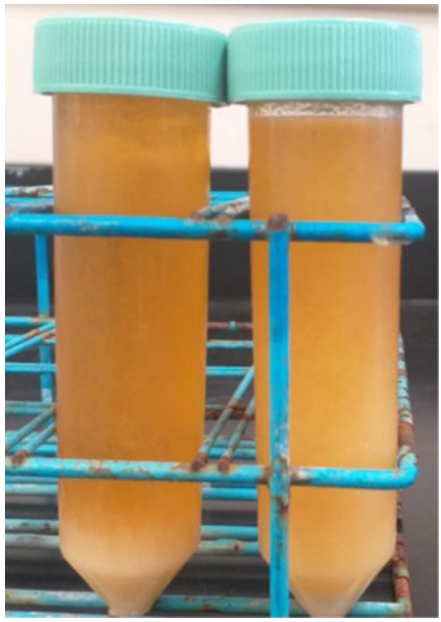


Figura 1.3. *Grasas purificadas de la marca "B"*

Fuente: elaboración propia.

de la muestra B el rendimiento fue del 7 %. El aspecto de las grasas recuperadas fue diferente. En cuanto al color, las grasas de la muestra A fueron de un color claro y con transparencia, como se muestra en la figura 2, mientras que el color de las grasas de la muestra B fue oscuro y opaco, como se muestra en la figura 3. En cuanto al aroma de las grasas de B, presentaron aromas fuertes y desagradables característicos de una grasa rancia; en cambio, las grasas de A no presentaron olores tan fuertes, es decir, eran olores característicos de la grasa butírica. En el cuadro 4 se observan los resultados de los parámetros evaluados.

Ácidos grasos libres

El contenido de ácidos grasos libres expresados en ácido butírico fue mayor en las grasas de la marca B en comparación con las grasas de la marca A. Debido al procesamiento que sufre la materia prima, y en particular al almacenamiento, las grasas pueden sufrir transformaciones químicas como oxidación, hidrólisis, hidrogenación o fermentación, lo que provoca la liberación de ácidos grasos libres y confiere el carácter ácido de las grasas. Los ácidos grasos son responsables del deterioro del producto y la rancidez, provocando cambios indeseables en el color, sabor, aroma y consistencia en las grasas.

Índice de peróxido

El índice de peróxido es uno de los parámetros que definen la calidad de las grasas; esta prueba permite determinar mili equivalente (meq) de oxígeno en forma de peróxido por kilogramo de grasa. De esta manera, el índice de peróxido determina el inicio de la oxidación de las grasas. Las grasas de la marca A presentaron un índice de peróxido de 12.05 meq $O_2 \bullet Kg^{-1}$ de grasa, mientras que en las grasas de la marca B no fue posible la detección de peróxidos. La baja o nula detección de peróxidos en grasa B se debe a una mayor oxidación de las grasas, pues los peróxidos se degradan en aldehídos y cetonas, que son las responsables de los malos aromas y sabores; por lo

anterior, el método está limitado a las primeras etapas de la oxidación cuando se alcanza la máxima concentración de peróxidos. Por esto, es probable que la grasa de la marca B esté demasiado oxidada y, por consiguiente, el índice de peróxidos sea bajo o indetectable.

Humedad y pH

El contenido de humedad fue de 0.03 y 0.02 % en grasas de B y A, respectivamente. El contenido de humedad fue mínimo debido al proceso de separación de la grasa que se empleó intentando obtener una grasa pura. Debido a lo anterior, y a que el pH es una propiedad del agua, es imposible determinar el pH de los aceites y las grasas, ya que el contenido de agua es mínimo en las grasas. El parámetro que se puede determinar en lugar del pH es el contenido de ácidos grasos libres.

Densidad y sedimentación

La densidad de las grasas fue de 0.91 $g \bullet mL^{-1}$ tanto en la marca B como en la A. La densidad en la mayoría de las grasas y aceites se encontró entre 0.84 y 0.96 $g \bullet mL^{-1}$. La densidad de los aceites es siempre menor que la del agua, por ello, todos los aceites flotan en ella y quedan en la superficie. Este principio físico de los aceites fue el que se empleó para la separación de las grasas del agua y de los sólidos no grasos de los residuos lácteos. En cuanto al índice de sedimentación, fue de cero, debido al proceso de separación que se empleó.

Conclusión

El mayor contenido de ácidos grasos se presentó en grasa de la marca B, debido a una mayor hidrólisis en las grasas. El contenido de peróxidos fue mayor en grasas de la marca A, mientras que en las grasas de la marca B no fue detectado, posiblemente por una mayor cantidad de grasas oxidadas. La

densidad de las grasas de las dos marcas fue similar. El contenido de humedad fue en cantidades pequeñas en ambas muestras A y B. Los mejores parámetros de calidad fueron para las grasas recuperadas de los residuos de la marca A, ya que presentó una mayor recuperación de grasas, menor contenido de ácido grasos libre y una menor oxidación de las grasas, además de que no presentó olores desagradables característicos de una grasa rancia, como lo fue con las grasas de la marca B. Se concluye, entonces, que se deben seguir investigando otros métodos de extracción que pudieran ser más eficientes, ya que se pudo observar que, de un producto de desecho, se puede obtener materia prima para algún subproducto y, de esta manera, es posible dar vida útil a los residuos.

Bibliografía

Alonso, F. A., y Rodríguez, E. (2023). Caracterización de los sistemas de producción de leche en México. Entorno Ganadero. https://bmeditores.mx/secciones-especiales/factores-economicos-pecuarios/caracterizacion-de-los-sistemas-de-produccion-de-leche-en-mexico/

Amador, A., Veliz, L., Bataller, E., y Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos: generalidades y aplicaciones. Revista CENIC, 46, 1–10.

Armesto, D. F., García, L. A., Correa, D., y Bello, J. A. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. Revista Unilasallista, 11(1), 171–180.

Avilés, R., Barrón, O. G., Gutiérrez, A. J., y Ruíz, M. (2024). Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: Recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. Ciencias Veterinarias y Producción Animal, 1(2), 32–47.

Barrón, O., Avilés, R., Ángel, C., Alcalá, J., Arispe, J., y Garza, R. (2023). Caracterización de unidades de producción familiar de bovinos en Llera, Tamaulipas, México. Abanico Boletín Técnico, 1–21.Calleja, K. (2022). ¿Qué son los coagulantes y floculantes? Disponible en: https://contyquim.com/blog/coagulante-y-floculante-en-el-tratamiento-de-aguas. Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.

Camacho, J. H., Cervantes, F., Palacios, M. I., Cesín, A., y Ocampo, J. (2017). Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: La difusión del modelo tecnológico Holstein. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 8(3), 259–268.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). Producción lechera. https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/

Cámara Nacional de Industrias de la Leche. (2021). Estadísticas del sector. https://www.canilec.org.mx/estadisticas/

Campos, E., Bonmatí, A., Teira, M., y Flotats, X. (2001). Aprovechamiento energético de

lodos residuales y purines: Producción de biogás. https://www.researchgate.net/publication/251855102

Carvajal, C. C. (2019). Lípidos, lipoproteínas y aterogénesis. EDNASSS-CCSS. https://repositorio.binasss.sa.cr/server/api/core/bitstreams/4ed11ef9-bf63-4170-a35b-b9e8aa69d690/content

Cordero, M. G., y Rodríguez, D. J. (2017). Digestión aerobia de lodos biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales Sur. Instituto Tecnológico de Durango.

Dirección General de Normas. (1970). Determinación del índice de Titer en aceites y grasas vegetales o animales (NMX-F-149-1970). https://es.scribd.com/document/218552075

Donado, R. (2013). Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta. https://hdl.handle.net/10554/13496

Federación Panamericana de Lechería. (2017). Grasa láctea: Un nutriente diferente. https://www.revistafactordeexito.com/posts/6306/grasa-lactea-un-nutriente-diferente

Fuentes, A., y Fuentes, C. (2024). Determinación del índice de peróxidos en grasas comestibles. Manual del Departamento de Tecnología de Alimentos, Universitat Politècnica de València.

Gallegos, C., Taddei, C., y González, A. (2023). Panorama de la industria láctea en México. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 33(61).

Condorchem Envitech. (s. f.). Generación de efluentes en la industria láctea. https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/

Golib, C. (2022). ¿Qué son los ácidos grasos libres? https://www.centrobanamex.com.mx/que-son-los-acidos-grasos-libres

Guerrero, W., Castilla, P., Cárdenas, K., Gómez, C., y Castro, J. (2012). Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores UASB. Tecnología Química, 32(1), 115–125.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2018). Informe y análisis de inventario anual de emisiones tóxicas de 2018. https://www.epa.gov/newsreleases/la-epa-publica-el-informe-y-analisis-de-inventario-anual-de-emisiones-toxicas-de-2018

México. Congreso de la Unión. (2023). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf

Mazzile, F., y Spuhler, D. (2018). Coagulación–floculación. https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%2C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n

Molina, V. M., Molina, V. P., Espinoza, J. J., Contreras, J. G., y López, A. (2020). Viabilidad técnica y económica del uso de calentador comercial de agua a base de biogás en establos lecheros. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(2), 391–403.

Morales, J. (2009). Aprovechamiento de lodos primarios provenientes del tratamiento de aguas residuales en una industria láctea por medio de la producción de concentrados para animales del sector porcícola y ganadero vacuno (Trabajo de grado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Moreno, S. F. (2015). Temas selectos de bioquímica general: Lípidos. Material para uso educativo, no lucrativo. https://dagus.unison.mx/smoreno/Temas%20Selectos%20de%20Bioqu%C3%ADmica%20General.pdf

Secretaría de Economía. (2012). Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2012. Alimentos–aceites y grasas vegetales o animales–determinación de ácidos grasos libres–método de prueba. http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-101-scfi-2012.pdf

Secretaría de Economía. (1987). Norma Mexicana NMX-F-075-1987. Alimentos–aceites y grasas vegetales o animales–determinación de la densidad relativa. Diario Oficial de la Federación. https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-f-075-scfi-2012/

Secretaría de Economía. (2012). Norma Mexicana NMX-F-116-SCFI-2012. Alimentos–aceites y grasas vegetales o animales–determinación de color–método de prueba. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5268346&fecha=17/09/2012

Oñate, C. H., y Chinchilla, M. A. (2021). Polielectrolito catiónico como coagulante empleado para remover aceites y grasas de aguas residuales de una industria láctea. Tecnura, 25(69), 120–130.

Palacios, H. O., Victoria, R. R., Cruz, M., y Osornio, G. (2018). Técnicas físicas y químicas para la identificación de compuestos orgánicos.

Ríos, L., Torres, M., Cantú, E., Torres, A., y Navarrete, C. (2016). Análisis económico de los sistemas de producción bovino lechero en el estado de Zacatecas, México. Abanico Veterinario, 6(2), 54–69.

Robledo, R. (s. f.). Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC. http://ru.iiec.unam.mx/3744/1/052-Robledo.pdf

Rodríguez, J., García, A., y Pardo, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Tecnura, 19(46): 149-164.

Salazar, T. (2014). Microbial activity in the aerobic composting process of organic solid waste. Revista de Investigación Universitaria. 3(2):74-84.

Villamil, R. A., Robelto, G. E., Mendoza, M. C., Guzmán, M. P., Cortés, L. Y., Méndez, C.A., y Giha, V. (2020). Desarrollo de productos lácteos funcionales y sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura. Revista Chilena de Nutrición. 47(6): 1018-1028.