



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Estudio de los contaminantes emergentes generados por la industria láctea.

Trabajo de graduación previa a la obtención del título de:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Autor:

MARÍA MANUELA DONCÓN MOROCHO

Director:

Ing. ANDRÉS PÉREZ GONZÁLEZ, Msc.

CUENCA – ECUADOR

2022

DEDICATORIA

La culminación de este trabajo pone fin a un sueño compartido en familia que inició años atrás, por ello creo pertinente dedicárselo con estima y gratitud:

A mis padres, Apolinario y Manuela porque nunca me dejaron sola en el transcurso de mi etapa educativa, este logro es tan suyo como mío.

Al ángel más bello que Dios y la vida me pudo regalar David, mi querido Hijo. Este trabajo es más suyo que mío, porque fueron muchas las veces que tuve que dejarte solo debido a las continuas obligaciones que tenía que cumplir, todo porque algún día anhelo brindarle todo lo que necesitas y mereces.

A mis hermanas, Tránsito, Mariana y Sara porque hallaban la manera de sacarme una sonrisa en los días difíciles, motivándome a ser una mejor madre, hermana, hija y, sobre todo un buen ser humano.

A mis amigas Tatiana León y Gabriela Quelal por su apoyo incondicional y por ser unas personas valientes que siempre les admirare y agradeceré por estar siempre cuando las necesitaba.

María Doncón

AGRADECIMIENTO

Al omnipotente, por todas las bendiciones que eh recibido a lo largo de mi vida, permitiéndome alcanzar esta meta educativa.

A mis amados padres, por ser el pilar de mi preparación personal, gracias por su apoyo económico y moral, a pesar de que muchas veces me he equivocado en las decisiones tomadas, siempre han estado ahí apoyándome cuando más lo necesitaba.

A mi esposo, Luis, porque estoy segura que Dios no se equivocó al ponerte en mi camino, convirtiéndote en el amor de mi vida, un pilar en el cual me he apoyado para sobrellevar tantas complicaciones a lo largo de este reto educativo.

A la Universidad del Azuay y a los profesores de la Escuela de Ingeniería en Alimentos porque me han brindado sus conocimientos y enseñanzas en toda la carrera.

A mi tutor, Mgt. Andrés Pérez, por haberme guiado de manera acertada en el desarrollo del presente trabajo, convirtiéndose en una persona que siempre respetare y admirare.

María Doncón.

“Estudio de los contaminantes emergentes generados por la Industria Láctea”

RESUMEN

Los contaminantes emergentes engloban a un grupo de contaminantes no regulados de diferente origen y naturaleza química que causan grandes preocupaciones ambientales. El presente estudio bibliográfico fue desarrollado bajo un nivel y diseño descriptivo con un enfoque cualitativo, el cual tuvo como objetivo determinar los posibles contaminantes emergentes generados por la industria láctea. El desarrollo de la industria láctea implica diferentes procesos que requieren un significativo consumo de energía, agua y otros elementos químicos, que han generado notables emisiones de gases y aguas residuales que contienen contaminantes emergentes y tienen un impacto negativo en la biodiversidad existente en el medio ambiente. Entre los contaminantes emergentes generados por la industria láctea se encuentran: detergentes ácidos, alcalinos, agentes complejantes y surfactantes; desinfectantes como los hipocloritos, yodóforos y cloraminas; antibióticos como los betalactámicos, tetraciclinas, sulfonamidas, flouroquinolonas y macrólidos; los microplásticos principalmente generados por polietileno de alta y baja densidad, polietilentereftalato y polipropileno. En conclusión, para que la industria láctea tenga un menor impacto en el medio ambiente es necesario una buena gestión en la línea de producción y un buen manejo de las aguas residuales.

Palabras clave: Aguas residuales, antibióticos, contaminantes emergentes, detergentes, industria láctea, microplásticos.



Ing. María Fernanda Rosales M.
Coordinadora de Escuela
Ingeniería en Alimentos



Ing. Bolívar Andrés Pérez G.
Director del trabajo de graduación



María Manuela Doncón Morocho
Autora

“Study of emerging pollutants generated by the Dairy Industry”


ABSTRACT

Emerging contaminants encompass a group of unregulated pollutants of different origin and chemical nature that cause great environmental concerns. The present bibliographic study was developed under a descriptive level and design with a qualitative approach, which aimed to determine the possible emerging pollutants generated by the dairy industry. The development of the dairy industry involves different processes that require significant consumption of energy, water and other chemical elements, which have generated notable emissions of gases and wastewater containing emerging pollutants and have a negative impact on the existing biodiversity in the environment. Among the emerging contaminants generated by the dairy industry are: acid and alkaline detergents, complexing agents and surfactants; disinfectants such as hypochlorites, iodophors and chloramines; antibiotics such as beta-lactams, tetracyclines, sulfonamides, flouoroquinolones and macrolides; microplastics, mainly generated by high and low density polyethylene, polyethylene terephthalate and polypropylene. In conclusion, in order for the dairy industry to have a lower impact on the environment, good management of the production line and good wastewater management are necessary.

Keywords: wastewater, antibiotics, emerging contaminants, detergents, dairy industry, microplastics.



.....
Ing. María Fernanda Rosales M.
Faculty Coordinator
Food Engineering



.....
Ing. Bolívar Andrés Pérez G.
Thesis Director



.....
María Manuela Doncón Morocho
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Opto. Idiomas

Translated by



.....
María Manuela Doncón Morocho

Índice de contenidos

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
Índice de contenidos	VI
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras	IX
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1	13
1 Una perspectiva sobre la industria láctea	13
1.1 La leche y su importancia nutricional.....	13
1.2 Componentes de la leche.....	14
1.3 Concepto de industria láctea.....	15
1.4 Los productos lácteos.....	15
1.5 Los productores lácteos.....	16
1.6 Procesos que conlleva la industria láctea.....	17
1.6.1 Procesamiento de leche.....	18
1.6.2 Elaboración de queso.....	21
1.6.3 Elaboración de yogurt.....	23
1.6.4 Elaboración de mantequilla.....	25
1.7 Tipos de envases utilizados en la elaboración de productos lácteos.....	28
1.8 Equipamiento industrial necesario en una planta procesadora de lácteos.....	30
1.8.1 Tanques de almacenamiento o enfriador de leche.....	31
1.8.2 Pasteurizador.....	31
1.8.3 Homogeneizador.....	33
1.8.4 Mantequillera industrial.....	35
1.8.5 Sistema de enfriamiento.....	36
1.8.6 Marmitas.....	37
1.8.7 Bombas.....	39
1.9 La huella de agua en la industria láctea.....	39
1.10 Limpieza y desinfección en la industria láctea.....	40
CAPÍTULO 2	42
2 Los contaminantes emergentes	42
2.1 Conceptualización y características.....	42
2.2 Clasificación de los contaminantes emergentes.....	44
2.2.1 Productos de higiene personal.....	44
2.2.2 Pesticidas.....	45

2.2.3 Antibióticos	46
2.2.4 Disruptores endócrinos (EDC)	47
2.2.5 Aditivos Alimentarios e Industriales.....	48
2.2.6 Tensoactivos.....	49
2.2.7 Microplásticos	50
2.3 Métodos de detección de los contaminantes emergentes.....	53
2.4 Tratamientos para remover los contaminantes emergentes.....	57
2.5 Implicaciones de los contaminantes emergentes.....	65
2.5.1 Impacto de los contaminantes emergentes en los seres vivos.....	65
CAPÍTULO 3	67
3 Contaminantes emergentes en la industria láctea	67
3.1 Principales contaminantes emergentes producidos por el uso de diferentes compuestos para la obtención de leche y productos lácteos.....	68
3.1.1 Detergentes	69
3.1.1.1 Proceso de desinfección en la industria láctea.....	76
3.1.1.2 Desinfectantes utilizados en la industria láctea	77
3.1.2 Antibióticos	78
3.1.3 Hormonas	83
3.1.4 Pesticidas	84
3.1.5 Microplásticos	85
3.2 Fuente de los contaminantes emergentes generados por la industria láctea y su ingreso al medio ambiente.....	86
3.2.1 Impactos medioambientales provocados por contaminantes emergentes generados en la industria láctea.....	86
3.2.2 Etapas generales donde se producen contaminantes emergentes	87
3.2.2.1 Lavado de equipos, envases y materiales.....	87
3.2.2.2 Recepción de materia prima.....	88
3.2.2.3 Envasado y almacenamiento	88
3.2.3 Procesos específicos	89
3.2.3.1 Procesos específicos aplicados en la elaboración de productos lácteos y contaminantes generados en cada procedimiento.....	89
3.3 Tratamientos de aguas residuales producidas por la industria láctea	91
3.3.1 Aguas residuales de la industria láctea	91
3.3.2 Componentes habituales de las aguas residuales producidas por la industria láctea.....	92
3.3.3 Tratamientos de aguas residuales generadas por la industria láctea.....	93
CAPÍTULO 4	98
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	100

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales utilizados en la industria láctea para envasar productos lácteos.	30
Tabla 2. Tipos de pasteurizadores utilizados en la industria láctea.	31
Tabla 3. Homogeneizadores de alta presión (HPH) y ultra alta presión (UHPH).	34
Tabla 4. Características de marmitas empleadas en la industria alimenticia.	37
Tabla 5. Clasificación y descripción de microplásticos generados en las diferentes industrias.	52
Tabla 6. Clasificación de los detergentes utilizados en la industria láctea.	75
Tabla 7. Desinfectantes utilizados en la industria láctea.	78
Tabla 8. Tiempos de retiro de antibióticos de la leche.	80
Tabla 9. Clasificación de antibióticos suministrados a los vacunos y enfermedades que controlan.	81
Tabla 10. Etapas de procesos, sus requerimientos y contaminantes generados en la elaboración de diferentes productos lácteos.	88
Tabla 11. Procesos específicos, requerimientos y contaminantes generados en la elaboración de productos lácteos.	90
Tabla 12. Volumen de las aguas residuales generados por la industria láctea.	92

Índice de figuras

Figura 1. Canales de distribución de la leche, según los productores.	17
Figura 2. Etapas del procesamiento de leche cruda para la obtención de un producto inocuo.	18
Figura 3. Etapas básicas en la elaboración de queso fresco.	21
Figura 4. Diagrama de proceso para la elaboración de yogurt.	24
Figura 5. Etapas para la elaboración de mantequilla.	25
Figura 6. Tanque de almacenamiento horizontal.....	31
Figura 7. Pasteurizador industrial de placas.....	33
Figura 8. Homogeneizador de leche.....	33
Figura 9. Mantequillera industrial.....	35
Figura 10. Intercambiador de calor de placas para pre-refrigeración de leche.....	37
Figura 11. Marmita láctea a vapor	38
Figura 12. Bombas de trasvase utilizados en la industria láctea.....	39
Figura 13. Proceso de adsorción y desorción en la eliminación de colorantes de aguas residuales	60
Figura 14. Proceso de cavitación hidrodinámica en efluentes para reducir la carga de contaminantes demostrado en un dispositivo venturi.	64
Figura 15. Enfermedades producidas por la exposición a contaminantes emergentes en el ser humano.....	66
Figura 16. Vías de contaminación y sustancias contaminantes de la leche y productos lácteos.	68
Figura 17. Ruta de los contaminantes emergentes generados por la industria láctea, su fuente e ingreso al medio ambiente.	86
Figura 18. Tratamiento primario de aguas residuales: Desengrase + Tamizado +Fisicoquímico + Ultrafiltración	94
Figura 19. Tratamiento secundario del efluente pretratado: Anaerobio + biológico con nitrificación y desnitrificación + MBR.....	96
Figura 20. Tratamiento de secado de fangos.	97

INTRODUCCIÓN

A lo largo del ciclo vital del ser humano, son varias las necesidades básicas que deben ser contempladas para garantizar un correcto desarrollo a nivel físico, cognitivo y psicosocial, facilitando su desenvolverse y adaptación a un contexto y/o situación determinada. Entre estos menesteres, se encuentra precisamente la alimentación que es la ingesta de productos alimenticios sólidos y líquidos, que aporten con los nutrientes necesarios para el funcionamiento del organismo, lo que se vería reflejado en el bienestar integral del individuo (Aguirre, 2016).

Al respecto, los productos lácteos abordan una serie de alimentos completos, hechos a base de leche y puede contener aditivos u otros ingredientes necesarios para su elaboración. Esto les permite aportar agua, proteínas, azúcares, grasas, vitaminas y minerales como calcio, fósforo y magnesio, que coadyuvan en el desarrollo y formación integral de cualquier individuo; por ello, son percibidos como elementos fundamentales en la dieta alimenticia del ser humano (Fernández et al., 2015).

Hoy en día, la demanda hacia los productos lácteos y otros derivados, crece de manera significativa, consolidándolos como uno de los alimentos de mayor consumo en el mundo. Si bien el continuo desarrollo de la producción láctea ha contribuido al progreso de la sociedad, a que brinde nuevas oportunidades para el desarrollo socioeconómico de la población en general, también trae consigo una serie de implicaciones sobre el medio ambiente; un hecho que deriva de manera directa de los procesos de producción que conlleva dicha actividad industrial (Manrique & Vargas, 2016).

En este sentido, las actividades que hacen parte de los procesos industriales lácteos, producen severos impactos ambientales, afectando de manera paulatina y radical las características del entorno natural, por cuanto su desarrollo, requiere el uso de diversos recursos naturales renovables y no renovables. Esta realidad, condiciona el bienestar de

todos los seres vivos que se interrelacionen en estos ambientes a consecuencia de la contaminación del agua y el aire (Etxebarria & Ramos, 2017).

La industria láctea conlleva una serie de procesos que requieren un notable consumo de energía, agua y otros elementos químicos que han generado notables emisiones de gases y grandes cantidades de aguas residuales que afectan varios niveles del medio ambiente, desde el suelo, el aire, el agua, hasta la biodiversidad (Nogal, 2020).

A nivel mundial, el hecho de producir un aproximado de siete mil litros de leche al año, trae como consecuencia, que una sola vaca emita alrededor de 140 kilos de metano, un equivalente a la movilidad de un carro en una distancia de ocho mil kilómetros (Barceló, 2014).

La producción y procesamiento de leche y sus respectivos derivados, requieren una cantidad excesiva de recursos hídricos (agua), sumado a los desechos derivados de esta actividad industrial. Los contaminantes emergentes, configuran una realidad nociva para el medio ambiente con serias repercusiones sobre el bienestar de todos los seres vivos, incluyendo el ser humano (Chou et al., 2018).

Los contaminantes emergentes son aquellas sustancias químicas naturales o sintéticas que no se controla en el medio ambiente pero que tiene el potencial de ingresar a nuestro entorno y causar efectos ecológicos, adversos o sospechosos para la salud de los seres vivos. Al hablar de contaminantes emergentes se refiere a productos de higiene personal, antibióticos, detergentes, plastificantes, pesticidas y subproductos de desinfección (Geissen et al., 2015).

En lo que concierne a América Latina, la producción y consumo de lácteos juega un papel importante en la economía y alimentación. La industria láctea es un proceso que generan contaminantes emergentes, generalmente en bajas concentraciones (partes por millón y partes por trillón) aun así, es percibida como un serio problema ambiental, que ha requerido

la promoción de diferentes normativas y políticas a favor de la preservación del medio ambiente, consolidando un verdadero desarrollo sostenible (Bertozzi, 2017).

Por consiguiente, esta actividad industrial ocasiona una significativa disyuntiva ambiental, por un lado, coadyuva en el desarrollo socioeconómico de la sociedad y por otro, en cambio, incide en el deterioro del medio ambiente y degrada la calidad de vida de muchos colectivos sociales (personas) y naturales (flora y fauna).

Considerando todas las premisas antes mencionadas, surgió la idea de realizar el presente trabajo de titulación, que conlleva el desarrollo de una revisión bibliográfica con el objetivo de describir los contaminantes emergentes que producen las industrias lácteas, y la manera en que estos impactan sobre la salud del ser humano y el medio ambiente. El trabajo será abordado mediante un estudio de tipo bibliográfico debidamente referenciado.

El desarrollo de la presente revisión bibliográfica, servirá como fuente de consulta fiable, por cuanto se abordará un sustento teórico apropiado, el cual puede ser utilizado como antecedente para el abordaje de futuras investigaciones. En lo referente a la importancia práctica, el estudio se centra en describir de forma clara y concisa, los contaminantes emergentes generados por las industrias lácteas.

CAPÍTULO 1

1 Una perspectiva sobre la industria láctea

1.1 La leche y su importancia nutricional

La leche es una sustancia líquida segregada por las hembras de los mamíferos vacunos, caracterizada por un color blancuzco y sombrío, dulce de degustar y con pH próximo al neutral; es decir una secreción fluida biológica, por cuanto está destinada a la secuencia alimenticia de la camada de una vaca, sin embargo, luego de atravesar por una serie de procesos industriales tecnificados, resulta apta para la alimentación del ser humano (Farré, 2015).

La leche es una sustancia que aporta los nutrimentos y la energía requerida por los terneros, para garantizar su correcto desarrollo en los primeros meses de vida extrauterina. Ahora bien, la privilegiada composición de este líquido, le permite ubicarse dentro de la pirámide alimenticia del ser humano, siendo definida como uno de los alimentos más completos y equilibrados, por contener los aminoácidos indispensables para el bienestar de todo individuo (Agudelo & Bedoya, 2005).

En este sentido, la leche es una secreción compuesta por distintas sustancias favorables durante los primeros meses de vida de una persona, pero su ingesta puede darse en cualquier edad, debido a que posee cantidades variadas de grasa, agua, proteína, lactosa y otros elementos que la han consolidado como uno de los productos de mayor consumo en el mundo.

La pureza de la leche de la vaca, se deriva de varios factores, entre los cuales denotan los siguientes: el estado de salud y bienestar del animal, las medidas de higiene que se cumplan al momento de ordeñar y manipular el producto y el tratamiento limpio y cuidadoso durante la respectiva línea de ebullición y pasteurización (WingChing & Mora, 2016).

1.2 Componentes de la leche

La leche es una sustancia de estructura homogénea, compuesta por una considerable cantidad de elementos, reflejando una minúscula conmutación, con la leche de otras razas de bovinos, en cuanto a la proporción de nutrientes se refiere, siendo precisamente la grasa, el componente que mayor variación presenta.

Entre los componentes de la leche, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) se encuentran los que se detalla a continuación:

- a. *El agua*: es el elemento fundamental para la producción láctea y el de mayor proporción en la leche, alcanzando un 90%, por ello, es necesario que los animales puedan acceder a ella de forma constante.
- b. *Proteína*: está compuesta por un 3% a 4% de proteínas, situación que deriva de la raza del vacuno. Además, hay que destacar que la leche con una considerable cantidad de grasa, tiene también demasiada proteína, y viceversa. Cuando hay poca grasa también hay poca proteína.
- c. *La lactosa*: se refiere al elemento que le da el sabor dulce a la leche, con una presencia del 5%.
- d. *La grasa*: la presencia de este elemento va entre 3.5% a 5.25%, una situación que deriva tanto de la raza del vacuno, como de su proceso alimenticio. Este componente es amarillento, por ello, cuando no hay mucha cantidad de la misma, la leche se muestra más blanca.
- e. *Minerales y vitaminas*: la leche es un producto ideal para la protección de ciertas afecciones y patologías sobre la salud de un individuo, ya que facilita la absorción del calcio debido a su contenido de vitamina A y D dispuestas en la grasa del producto.

- f. *Calcio*: es un elemento fundamental para garantizar una correcta regulación del corazón, fortalecer el sistema óseo y dental de una persona, principalmente en la niñez. La leche contiene también, potasio, magnesio y vitaminas C, E y B2.

1.3 Concepto de industria láctea

La industria láctea es una actividad técnica dirigida al procesamiento de la leche que procede del ganado vacuno, con la finalidad de obtener distintos productos aptos para el consumo humano (Vega et al., 2006). Este ámbito de la industria contempla diversos procesos tecnificados, cuyo desarrollo requiere maquinaria, infraestructura y otros elementos específicos, que permitan transformar la leche en derivados como el yogurt, el queso, la mantequilla, los helados y otros productos requeridos por la población en general (CAR/PL, 2002).

La localización de las industrias dirigidas a producir yogurt, queso, mantequilla, leche en polvo, crema y suero, se encuentran cerca del perímetro urbano de una localidad cualquiera, con frecuencia, cerca de un mercado potencial de consumidores que demanden dichos productos. Sin embargo, también existen plantas artesanales que tienen lugar en las mismas granjas lecheras (López & Pedregosa, 2020).

1.4 Los productos lácteos

Entre los productos que puede elaborar y/o producir la industria láctea se encuentran los siguientes (Bello et al., 2004):

- *La leche pasteurizada*: es aquella que se somete a un proceso de calentamiento, con una temperatura que oscila entre los 70 y 90 °C, por 15 segundos, con la finalidad de eliminar algunos agentes patógenos y microorganismos, sin alterar de manera sensible las propiedades del alimento, así como prolongar su vida útil.
- *El queso*: es un producto cuya presentación puede darse de manera sólida o semisólida, como resultado de coagular la leche y separarla del suero. La grasa de la materia prima es el nutriente que más repercusión tiene en su sabor.

- *Yogurt*: es una leche fermentada, obtenido a partir de la participación de ciertos microorganismos o bacterias, como la *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus termophilus*.
- *Suero de leche*: es el residuo que queda luego de la elaboración del queso. Es utilizado como materia prima para elaborar la lactosa, pasta de suero o suero en polvo.
- *Crema de leche*: es un producto rico en grasa que se deriva del proceso de centrifugación de la materia prima.
- *Mantequilla*: es un producto que resulta del proceso de batir la crema de leche por un tiempo considerable, cuya composición es agua y grasa.
- *Lactosa*: es un producto obtenido en base al lactosuero, siendo referido como el azúcar de la leche.
- *La caseína*: es una de las principales proteínas que se encuentran en la leche, la cual es obtenida a través de un proceso donde la leche descremada se expone a la precipitación con ácidos o coagulación mediante el cuajo (Gosta, 2003).

1.5 Los productores lácteos

En la industria láctea participan los siguientes productores lácteos: el pequeño productor; se encarga de obtener la materia prima del número reducido de vacas criadas en pequeños espacios y la llevan sin pasteurizar directamente a los centros urbanos para su distribución. El mediano productor; que trabaja de manera artesanal y ante la ausencia de infraestructura de almacenamiento y conservación elaboran quesos artesanales. Finalmente los grandes productores; que contemplan las grandes fincas ganaderas y se caracterizan por tener infraestructuras e instalaciones necesarias para garantizar el procesamiento de la leche (Balseca & Pérez, 2008).

En base a lo mencionado anteriormente en la (Figura 1) se puede observar los canales de distribución de dichos productores lácteos. Donde el pequeño productor corresponde a la línea azul, la de mediano productor a la línea roja y la del productor grande a la línea verde.

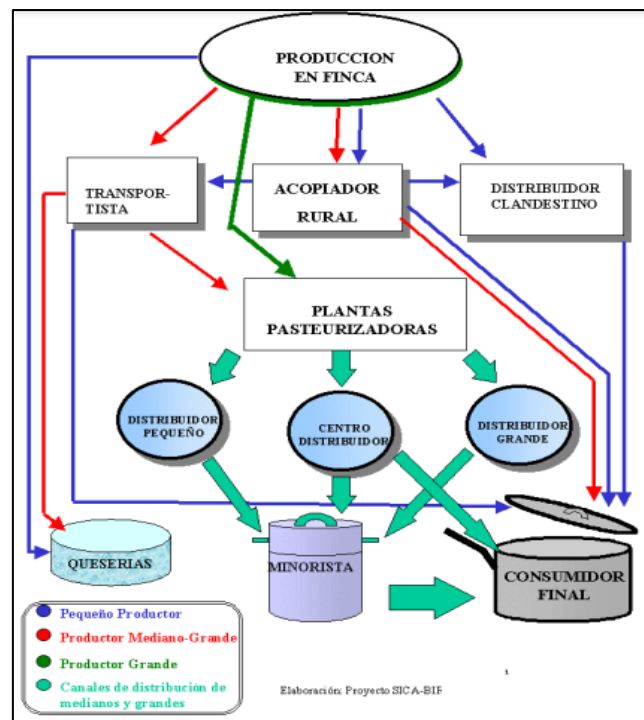


Figura 1. Canales de distribución de la leche, según los productores.

Fuente: (Chávez, 2006)

1.6 Procesos que conlleva la industria láctea

La industria láctea conlleva el desarrollo de una serie de operaciones tecnificadas, dentro de una edificación adecuada, que reúna la maquinaria e infraestructura necesaria, para el efectivo procesamiento de la materia prima. Esto con el fin de conseguir distintos productos lácteos que reúnan los nutrientes y calidad necesaria para ser comercializada en un mercado potencial (Barbero & Gutman, 2008). Para cualquiera que fuese el producto a obtener, el proceso empieza con la recepción de la materia prima.

Durante la recepción de la materia prima, se procede a reunirla en tanques o depósitos de refrigeración, donde se almacena a una temperatura que oscila entre los 3 a 4 °C. Posteriormente atraviesa por un instrumento contador que permite cuantificar la cantidad de materia prima a ser tratada, para luego bombearla a través de un colador con la finalidad de separar las impurezas y otros componentes extraños que coadyuvan en la pérdida de su calidad. Esta etapa termina con el proceso de centrifugación y separación de la crema de leche (Chávez, 2006).

La centrifugación es un proceso de separación de los distintos componentes mediante una fuerza centrífuga que permite remover las impurezas contenidas en la leche, antes de continuar con las operaciones de pasteurización, descremado, separación del suero y obtención de la mantequilla (Souza et al., 2008).

Por otra parte, con relación a los envases que se emplean para los productos lácteos que se describen en la siguiente investigación serán detallados más a profundidad en la sección 1.7.

1.6.1 Procesamiento de leche

Entre los procesos que conlleva la industria láctea está el procesamiento de leche. Las etapas a los que se somete la leche se observan en la (Figura 2).

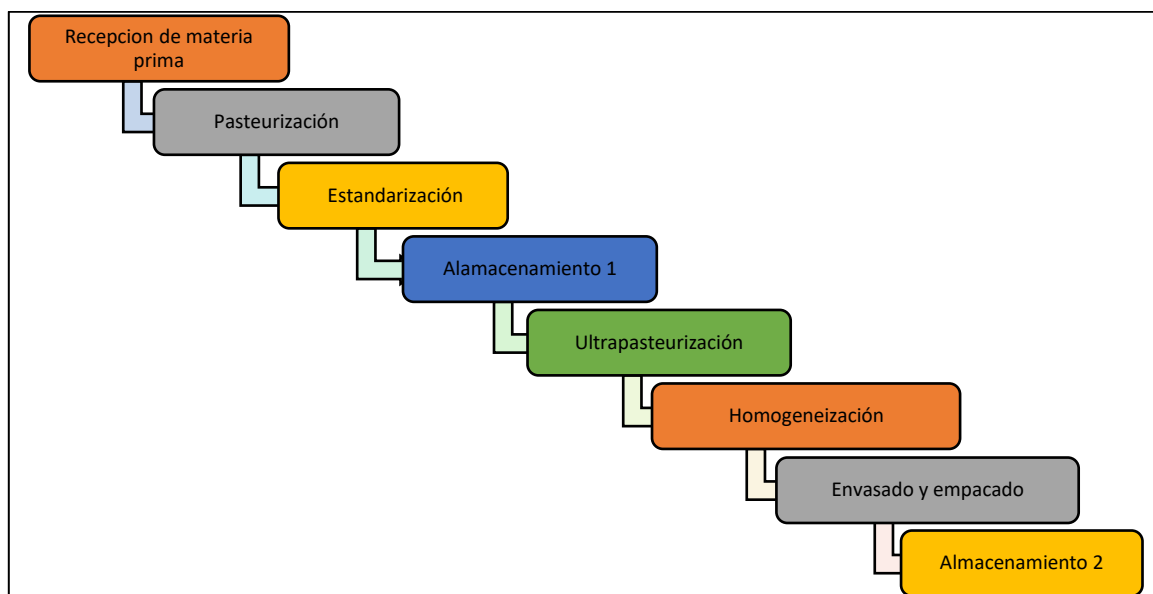


Figura 2. Etapas del procesamiento de leche cruda para la obtención de un producto inocuo.

A continuación, se detalla las diferentes etapas que conlleva el procesamiento de la leche.

a. Pasteurización

En la actualidad, los continuos avances que ha evidenciado la actividad láctea, permiten garantizar que al menos en el sector urbano, la leche sea apta para el consumo humano, siempre y cuando esta haya sido pasteurizada.

La pasteurización, contempla un proceso de desinfección que empieza con la exposición a una temperatura que no alcance los 100 °C, permitiendo la eliminación del microorganismo denominado bacilo de Koch, uno de los patógenos de mayor prevalencia y resistencia en la leche, para concluir con un rápido enfriamiento (Valbuena et al., 2004). Pueden llegar alcanzar una vida útil de 45 días.

El proceso de pasteurización puede darse de dos maneras: alta y baja.

- El proceso a alta temperatura implica exponer la leche a una temperatura de 72 grados centígrados durante 15 segundos. Alta temperatura y corta duración, por sus siglas en inglés (HTST).
- El proceso a baja temperatura expone la leche a una temperatura de 65 grados centígrados por 30 minutos. Baja temperatura larga duración, por sus siglas en inglés (LTLT).

Con el desarrollo de la pasteurización, la leche experimenta dos situaciones específicas, por un lado, las proteínas se desnaturalizan (Mejía et al., 2017), y por el otro, se reduce la carga microbiana. Ahora bien, en el caso de que el líquido no sea refrigerado de manera rápida, se ve expuesto a una considerable alteración microbiana y una germinación de las esporas que no pudieron ser eliminadas con la exposición al calor (Gimferrer, 2012).

La pasteurización conlleva un proceso que permite mejorar la conservación de la leche, no obstante, el hecho de pasteurizar la leche, coadyuva en la pérdida de vitaminas B1 y B6 en un 5%, B12 en un 10% y C en un 25%; debiendo recalcar, que el producto pasteurizado puede ser conservado en refrigeración por un tiempo no mayor a una semana (Santos et al., 2019).

b. Estandarización de la leche

Este proceso permite que la leche mantenga un nivel estable de grasa. Dependiendo el producto a elaborar se requiere añadir o sustraer la crema de la leche (Revilla, 1982). Existe

la estandarización por volúmenes y estandarización directa y en continuo, la primera que consiste en mezclar en los depósitos de almacenamiento volúmenes necesarios de leche entera y desnatada o de nata y leche desnatada. Por otra parte, en la segunda se emplean equipos de normalización continua, que consiste en añadir la cantidad necesaria de nata al caudal de la leche desnatada con el propósito de ajustar el contenido de grasa en la leche (Ramírez, 2006).

c. Proceso de almacenamiento 1

La leche obtenida posterior al proceso de pasteurización y estandarización, se almacena en tanques que se encuentran bajo refrigeración, con distintas capacidades de almacenamiento, para que luego pueda ser distribuida a las diferentes líneas de producción para obtener un derivado lácteo determinado (Prado, 2013).

d. Ultrapasteurización

La ultrapasteurización es un proceso donde la leche es sometido a una temperatura entre 135 y 150 grados centígrados durante 4 a 15 segundos con la finalidad que todos los microorganismos sean debidamente eliminados, luego de este tratamiento térmico el producto debe permanecer en condiciones asépticas (Haddad, 2019). Estas leches pueden llegar alcanzar una vida útil de 3 meses o un año sin refrigerar.

e. Proceso de homogeneización de la leche

La homogeneización de la leche implica someter los componentes grasos a una considerable presión, con el objetivo de lograr que estas se dispersen en la totalidad de la masa líquida, evitando que se forme un manto de crema en la superficie de la leche entera, dando como resultado un producto con un color blanquecino atractivo y brillante (Chávez, 2006).

f. Envasado, empaçado y almacenamiento

En este procedimiento la leche obtenida es envasada mediante diferentes equipos y envases que permitan conservar los nutrientes, sin alterar su sabor y textura. Más adelante se detallarán que tipos de envases pueden ser empleados y las ventajas que proporcionan al producto.

En cuanto al proceso de almacenamiento el producto que se encuentra envasado y empacado es colocado en cuartos con temperaturas que oscilan los 4°C; exceptuando aquellos productos que no requieran ser refrigerados (productos ultrapasteurizados), los cuales serían almacenados en una bodega o local utilizado para el despacho respectivo.

1.6.2 Elaboración de queso

La etapa básica para la elaboración de queso fresco (alta humedad y no ha sufrido proceso de maduración) se encuentra esquematizado en la (Figura 3):

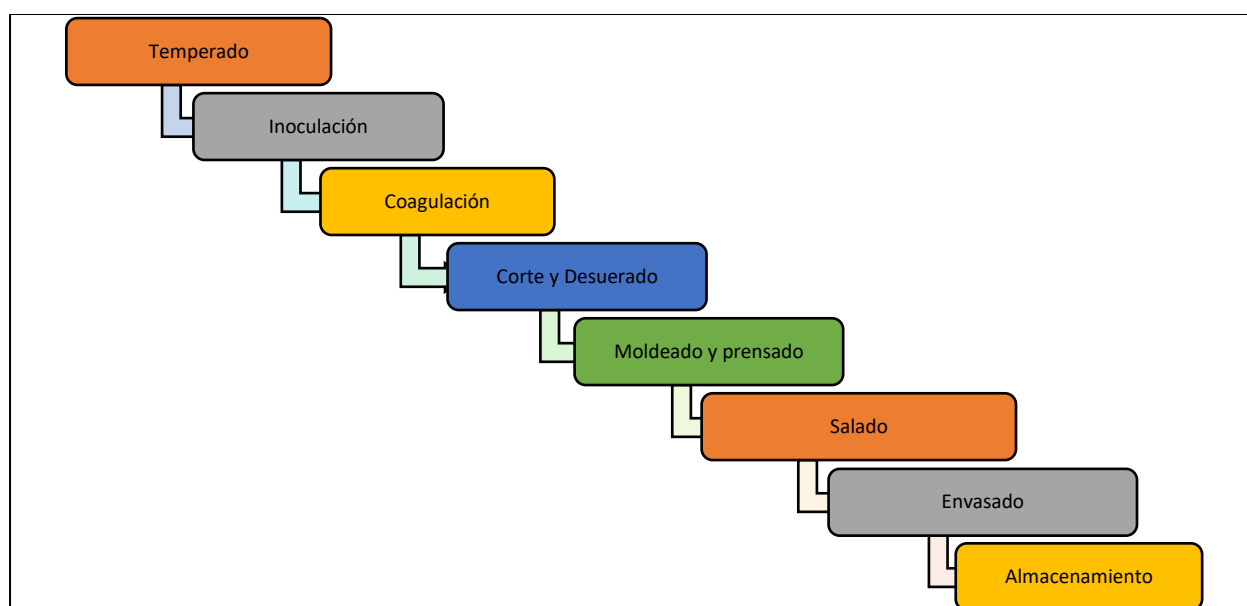


Figura 3. Etapas básicas en la elaboración de queso fresco.

a. Temperado

Proceso en donde la leche se calienta a una temperatura de 57 a 65°C durante 10 a 15 segundos, luego de someter a esta temperatura es necesario realizar la prueba de la fosfatasa, la cual debe dar un resultado positivo, esto corrobora que la leche en sí no fue sometida a pasteurización, sino que fue tratada para reducir la flora microbiana (Ramírez,

2006). Con este proceso la leche puede durar hasta 7 días siempre y cuando se mantenga en una temperatura de 0 a 1°C (Ralph, 2000).

b. Inoculación

Consiste en añadir el fermento a la leche la cual debe estar a una temperatura de 30°C. Por lo general, el tiempo mínimo que el fermento actúa en la leche es de alrededor de 30 a 60 minutos y su cantidad a utilizar varía según el tipo de queso. Existe dos tipos de cultivos, los cultivos mesófilos que se desarrollan a una temperatura de 20 a 40 °C y cultivos termófilos que se desarrollan a 45°C. El uso de cultivos, producen ácido láctico, componentes aromáticos y dióxido de carbono aumentando así la acidez de la leche, lo que favorece la buena coagulación y la mejora de sus características organolépticas (Gosta, 2003).

c. Coagulación

En esta etapa se agrega el cuajo a la leche conllevando a la modificación fisicoquímica de las proteínas dando lugar a la formación de un coágulo de la caseína (Ramírez, 2006). El cuajo es el extracto líquido o polvo obtenido del estómago de un ternero cuyo principio activo es una enzima llamada renina (Esteire et al., 2014). Para garantizar que el cuajo actúe en toda la leche se debe agitar por un minuto y seguido a esto se debe dejar en reposo de 28 a 45 minutos (Sánchez, 2015), hasta observar que la leche se haya cuajado y no muestre ninguna adherencia a la tina (LIPA, 2020).

d. Corte y Desuerado

Al finalizar el proceso de coagulación se procede al corte del coágulo que consiste en realizar cortes verticales y horizontales, formando pequeños cubos y de este modo favorecer la eliminación del suero (desuerado) (Ramírez & Vélez, 2012). El desuerado consiste en separar la proteína coagulada, obtenida en el proceso anterior, del suero lácteo. En este proceso el tamaño de los granos de la cuajada afectará a la velocidad del desuerado, y a medida que la temperatura va incrementando disminuye la hidratación de los cubos de

cuajada favoreciendo la sinéresis y consistencia del cubo (Ralph, 2000). Posteriormente se procede a realizar el escurrido con la ayuda de lienzos.

e. Moldeado y prensado

En este proceso se transfiere el coágulo a los moldes, con el fin de completar el proceso del desuerado, para lo cual, resulta fundamental ayudarse de una prensa que ayuda a dar forma y a conseguir una determinada textura.

f. Salado

El producto se puede salar de dos maneras, por inmersión en salmuera o por sal sólida aplicada a la masa. La concentración de la salmuera esta entre los 18 y 28% de cloruro sódico a una temperatura entre los 7 y 17°C (Ramírez, 2006). El tiempo de salado depende del tipo y tamaño del queso. En cuanto al salado con sal sólida, esta consiste en espolvorear al queso y de esta manera la humedad disuelve a la sal y penetra hacia el interior (Esteire et al., 2014).

g. Envasado y almacenamiento

El producto es expuesto a un procedimiento de envasado al vacío o normal, haciendo uso de envases plásticos y equipos que se ajusten a estas características. Los productos ya terminados y envasados, son almacenados en cuartos a una temperatura de 4°C.

1.6.3 Elaboración de yogurt

El proceso de elaboración del yogurt consiste en pasteurizar, enfriar, agregar el cultivo láctico e incubar hasta alcanzar la acidez de 0,5% para luego envasar. Las etapas de fabricación de yogurt se encuentran detalladas en la (Figura 4).

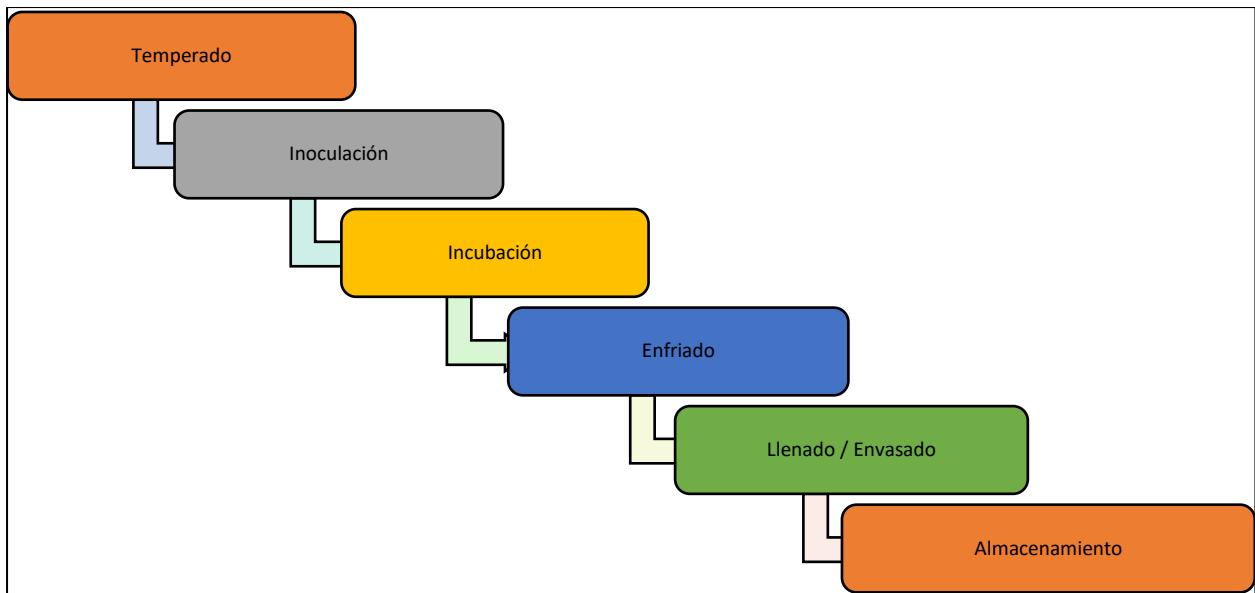


Figura 4. Diagrama de proceso para la elaboración de yogurt.

a. Temperado

De manera previa, se procede a añadir los sólidos lácteos y no lácteos a la materia prima, para luego aumentar la temperatura, hasta los 90°C por un tiempo no mayor a los 5 minutos, a fin de conseguir un incremento de la materia seca. Luego se disminuye la temperatura entre 40 y 45°C, con la finalidad de que los cultivos se desarrollen (Prado, 2013).

b. Inoculación

Los cultivos para obtener la inoculación son: *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Streptococcus thermophilus* y *Streptococcus salivarius* estos cultivos requieren una temperatura aproximada de 42°C. En este proceso la leche se mantiene en reposo y los coágulos de yogurt empiezan a formarse cuando se produce ácido láctico, cuando la leche alcanza un pH de 5,6 empieza la formación de un gel (Ralph, 2000).

c. Incubación

La temperatura necesaria para la incubación es de 40 a 45°C por un intervalo de tiempo de 2.5 a 3 horas, sin embargo, se puede también incubar a una temperatura de 30°C en un tiempo de 12 horas, es decir si se emplea temperaturas más bajas se requiere un mayor tiempo de incubación (Krisnaningsih et al., 2019). Este proceso debe llevarse a cabo hasta

alcanzar un pH igual o menor a 4.6 con el fin de conseguir una viscosidad elevada e impedir que el gel pierda suero por exudación y obtenga una buena consistencia (Piñeiros, 2009).

d. Enfriado

El enfriamiento del coágulo empieza después de alcanzar el pH óptimo (4.6) y acidez (0.9%) (Briones, 2005). El yogurt debe ser enfriado durante 24 horas hasta alcanzar una temperatura de 2 a 4°C y conseguir un producto de calidad. Si se enfría en un tiempo menor a 18 horas el producto puede tener una estructura agrietada (Karaca et al., 2019).

e. Proceso de llenado, envasado y almacenado

El producto que ya ha sido enfriado puede ser saborizado o natural, posteriormente es llenado y envasado en ciertos recipientes de vidrio o plásticos esterilizados y almacenado en un área específica, donde la temperatura sea de 4°C (Reyes, 2008).

1.6.4 Elaboración de mantequilla.

A continuación, en la (Figura 5) se presenta el proceso que la industria láctea sigue para la elaboración de mantequilla.

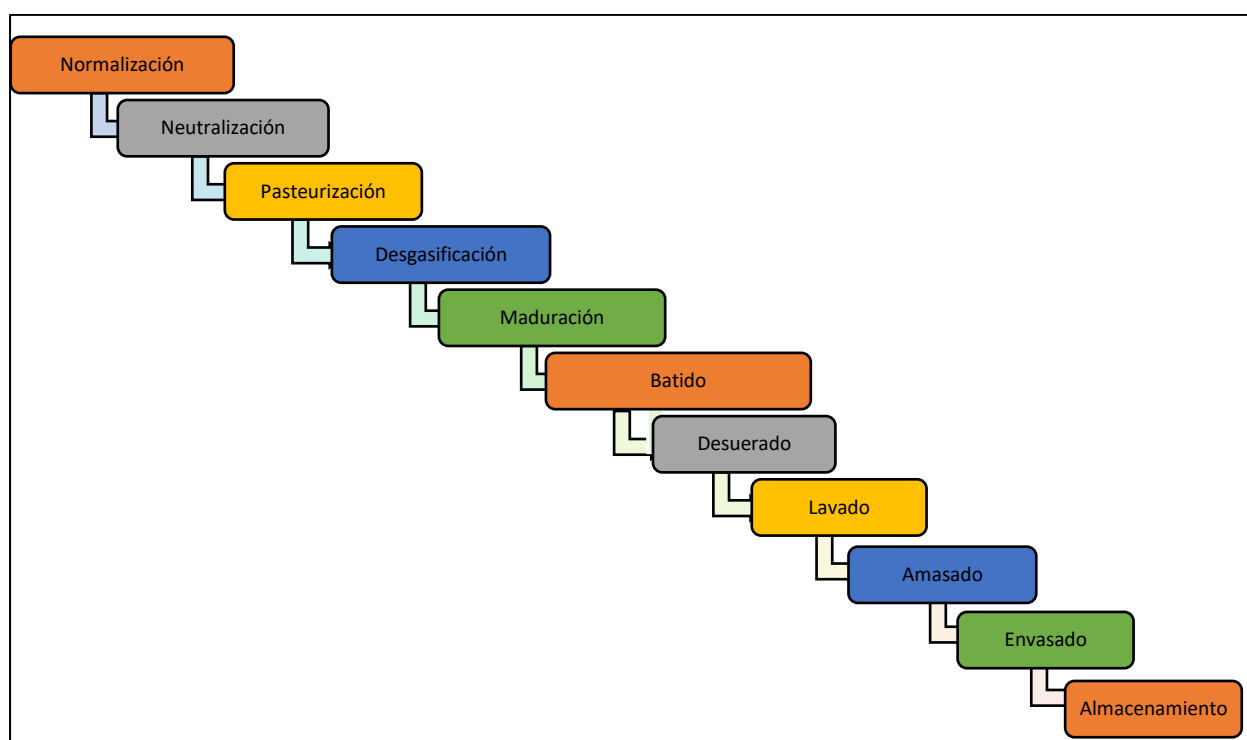


Figura 5. Etapas para la elaboración de mantequilla.

a. Proceso de normalización

La materia prima para la elaboración de la mantequilla, es la nata, la cual se obtiene del proceso de desnatado de la leche, mediante centrifugación. La normalización inicia con la regulación del contenido graso que presenta la nata, con el fin de determinar el contenido óptimo de grasa que debe estar entre 35 a 40%, este porcentaje de grasa ayuda a obtener mantequilla con baja humedad y mejor vida útil (Ralph, 2000).

b. Neutralización

Este proceso permite conseguir la reducción de la acidez de la crema de leche utilizando una base (sosa cáustica y carbonato sódico), se debe agregar con precaución para adoptar un límite estándar de la acidez de la crema que debe estar entre 0,14 a 0,16%. Finalmente, es fundamental controlar los resultados obtenidos mediante una titulación de la acidez (Alais, 1984).

c. Pasteurización y desgasificación

En este proceso la nata se trata a una temperatura de 90 y 95°C durante 15 a 20 segundos, para destruir las enzimas lipasas y oxidorreductasas lo que mantiene la calidad de la mantequilla (Mahaut et al., 2011). La desgasificación permite eliminar los diferentes compuestos sulfurados volátiles (Ralph, 2000) que provienen de las sustancias sápidas que se encuentran presentes en la nata. Además, en este proceso se extrae oxígeno con el fin de impedir el desarrollo de gérmenes y evitar la oxidación de la grasa de la nata (Castillo, 2016).

d. Inoculación

Consiste en la adición de cultivos a la nata, entre los más empleados se encuentran los cultivos de *Streptococcus diacetylactis* y *Leuconostoc citrovorum*, los cuales deben ser mezclados con la nata antes del proceso de maduración teniendo en cuenta que la temperatura debe encontrarse entre 22 a 25°C. Cuando el pH se encuentra entre 4,9 y 5,1 indica que se logró una acidificación óptima (Castillo, 2016).

e. Maduración

La maduración es un procedimiento para dotar de aroma y sabor a la nata; además, simultáneamente, permite cristalizar los glóbulos de grasa, en ciertos depósitos de maduración. Este proceso tiene una duración de 12 a 15 horas, tiempo en el cual la nata es sometida a un tratamiento térmico (14 a 16°C), para que la grasa consiga cierta estructura cristalina necesaria para abordar la solidificación (Gil, 2010).

f. Batido

Consiste en agitar la nata de manera violenta, durante 30 minutos a temperatura de 6 a 14 °C con la finalidad de conseguir que los glóbulos de grasa, se rompan y se produzca la coalescencia de la grasa, para dar paso a los granos de mantequilla. Al final de esta operación se presenta dos fases: una fase grasa compuesta por grumos de mantequilla y otra acuosa compuesta por el suero de mantequilla o mazada (Batra, 2021).

g. Desuerado y lavado

Tras el proceso de batido, los granos de mantequilla obtenidos, se exponen a una placa perforada, en la que se procede a exprimir y descartar los residuos de mazada u otros componentes sólidos lácteos que se encuentren en la misma (Escobar et al., 2015). Con relación al lavado este tiene varios objetivos como la extracción de compuestos no grasos como proteínas y lactosa, se realiza 2 o 3 veces adicionando agua pasteurizada y a una temperatura de 8°C en un 25% en relación con el volumen inicial de crema (Castillo, 2016).

h. Proceso de salado y amasado

El salado tiene la finalidad de detener la proliferación de microorganismos, en cuanto a la concentración de sal en la mantequilla esta debe estar de 2,4 a 3,2 %. Luego, se procede a amasar de forma continua con el objetivo de minimizar la cantidad de aire que se encuentra en la mantequilla, para lo cual la mantequilla se expone a diferentes palas de amasado que se encargan de dar un tratamiento óptimo al producto por terminar (Alais, 1984).

i. Proceso de envasado y almacenamiento

Tras la culminación del proceso de amasado, la mantequilla debe ser envasada rápidamente para evitar su exposición a la luz, al oxígeno y evitar que su temperatura sea mayor a 14°C. Los envases aptos para este producto deben ser opacos, asépticos y libres de sustancias que impidan el contacto directo con el alimento, además, se debe empacar en envases con cierre hermético y al vacío (Mesa, 2017).

En cuanto al almacenamiento, si las mantequillas se van a almacenar por periodos no mayores a un mes se debe optar por cuartos fríos entre 4 a 10°C. En el caso de querer conservar la mantequilla por varios meses se debe almacenar en cuartos de congelación entre -10 a -15°C para inhibir los procesos bioquímicos y la proliferación microbiana (Parada, 2011).

1.7 Tipos de envases utilizados en la elaboración de productos lácteos

El propósito de envasar los productos lácteos es para protegerlos, identificarlos y comercializarlos con el fin de alcanzar una alta demanda en el mercado. Estos envases deben estar libres de olores extraños, actuar como barrera contra la contaminación bacteriana, ser resistentes a la luz ultravioleta y deben adaptarse al procesamiento en línea (Ranganatham, 2012).

Entre los envases más utilizados para envasar leche tratada térmicamente están las botellas y bolsas de plástico hechos con películas de policarbonatos (PC) , tereftalato de polietileno (PET) ya que estas tienen buena resistencia y son una barrera para el oxígeno lo que protege al producto contra la oxidación lipídica causada por la luz UV (Galic, 2016), también se encuentran envases de polietileno de alta densidad (HDPE) para leches UHT y leches pasteurizadas, polietileno de baja densidad (LDPE) y polietileno de baja densidad

lineal (LLDPE) con espesor de 45-75 micras (μ) que son selladas en máquinas FFS (formado, sellado y llenado) (Ranganatham, 2012).

Sumado a esto también se emplean latas de aluminio (lacadas en su interior para proteger de la corrosión) que son utilizadas para envasar leches de chocolate, café y vainilla. La ventaja de utilizar estos envases es por su durabilidad, reciclado y su peso. Sin embargo, tienen costos altos y riesgos de contaminar al producto con metales pesados o por lixiviación de la laca. Los envases multicapas como los Tetra Pak® y Tetra Brik® son utilizados especialmente para leches esterilizadas UHT (Barukčić et al., 2021).

En cuanto a los envases más utilizados para el yogurt son aquellos que están fabricados con plásticos como polietileno (PE), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC) y polietileno de alta densidad pigmentado con dióxido de Titanio (TiO_2), con lámina de papel aluminio recubierto de polietileno y tapa termosellable. También se utiliza botellas PET para yogurt bebible de larga duración, al ser estas casi transparentes se encuentran pigmentadas con películas de polipropileno (PP) (Galic, 2016).

En el caso de la mantequilla al ser un producto alto en grasa y humedad, se requiere de envases que la protejan contra la influencia de la luz, humedad y penetración de oxígeno. Los materiales para envasado de mantequilla son papel de pergamino vegetal, papel antigrasa, cera húmeda, cera seca, papel de aluminio laminado con pergamino vegetal y envases termoformados de polipropileno o LDPE (Barukčić et al., 2021).

Finalmente, para los quesos es necesario que el envasado se realice en atmosferas modificadas para eliminar en su mayor parte el oxígeno, debido a que estos son susceptibles al deterioro por parte de bacterias, mohos y levaduras (Sitges, 2021). Estos productos exigen un material que proteja contra la luz, transmisión de oxígeno y con buena barrera de humedad, entre los envases importantes para los quesos están HDPE, PP, PS recubiertos con policloruro de vinilideno (PVDC) que refuerce la barrera y pigmentado con TiO_2 para proteger contra la luz (Barukčić et al., 2021).

En la (Tabla 1) se observa una clasificación de los materiales empleados para envasar yogurt, queso, mantequilla y leches tratadas térmicamente.

Tabla 1. *Materiales utilizados en la industria láctea para envasar productos lácteos.*

Envases	Productos
<ul style="list-style-type: none"> • Tetrabrik • Tetra Pak • Polietileno de baja densidad LDPE • Polietileno de baja densidad lineal LLDPE • Tereftalato de polietileno PET • Polietileno de alta densidad HDPE 	Leche fresca Leche UHT Leche descremada Leche pasteurizada
<ul style="list-style-type: none"> • Poliestireno (PS) • Polietileno PE • Policloruro de vinilo PVC • Polietileno de alta densidad HDPE 	Yogurt
<ul style="list-style-type: none"> • Polietileno de alta densidad • Polipropileno • Poliestireno 	Queso
<ul style="list-style-type: none"> • Papel de pergamino vegetal • Papel antigrasa • Cera húmeda • Cera seca • Papel de aluminio laminado con papel pergamino 	Mantequilla

1.8 Equipamiento industrial necesario en una planta procesadora de lácteos

El correcto funcionamiento de una planta procesadora de lácteos, requiere de un equipamiento industrial adecuado, cuyo material de fabricación sea de acero inoxidable, con el objetivo de evitar la corrosión y facilitar su limpieza y desinfección (López & Pedregosa, 2020).

La maquinaria que se contemple dentro de una planta procesadora láctea debe ser de buena calidad, con la finalidad de aligerar los distintos procesos que conlleva su respectivo funcionamiento, bajo un menor requerimiento de talento humano y espacio físico. Desde este

punto de vista, una industria de esta índole, dedicada al procesamiento de 10 mil litros de leche, requiere alrededor de 500 m² y 5 operadores (Prado, 2013).

Entre las principales máquinas a considerar como parte de una planta procesadora de lácteos, destacan las siguientes:

1.8.1 Tanques de almacenamiento o enfriador de leche.

Es una tina que permite depositar la materia prima y conservarla por un tiempo determinado, bajo una temperatura que garantice su calidad, hasta que sea debidamente retirada, generalmente son fabricados de acero inoxidable (Lactoequipos, 2017b).

Existen dos tipos de tanques de almacenamiento: horizontales y verticales según este poseionado en la fábrica. En la (Figura 6) se muestra un tanque de almacenamiento de forma horizontal.



Figura 6. *Tanque de almacenamiento horizontal.*
Fuente: (Lactoequipos, 2017b).

1.8.2 Pasteurizador

Es un equipo necesario en la producción de todos los derivados lácteos, siendo utilizados al principio y/o final del proceso. En la (Tabla 2) se indica los tipos de pasteurizadores y sus características.

Tabla 2. *Tipos de pasteurizadores utilizados en la industria láctea.*

<p>Pasteurizador Batch</p>	<p>Equipo que permite al vapor, circular bajo una presión determinada por todo el entorno que hace parte de la cámara de calefacción, facilitando el calentamiento de la leche en temperaturas bajas (63 °C) por un considerable intervalo de tiempo, pudiendo alcanzar inclusive los 30 minutos; posterior a ello, se procede con el proceso de enfriamiento, a una temperatura que oscile entre los 4 a 6 °C (Tipán & Flores, 2018).</p>
<p>Pasteurizador HTST – Placas</p>	<p>Este equipo permite que la leche sea calentada a una considerable temperatura, durante un breve lapso de tiempo. En lo que concierne a su funcionamiento, primero la materia prima llega a un tanque de balance, donde por medio de una bomba, es enviada a un intercambiador de placas, donde tiene lugar el proceso de pasteurización.</p> <p>El calentamiento de la leche, tiene lugar por medio del proceso de regeneración, llegando a una temperatura de 58°C; posterior a ello, atraviesa un filtro y llega a un cambiador de calor, donde el vapor de agua permite que la temperatura se concrete en 72 °C en un tiempo de 15 segundos, y finalmente, es refrigerada a una temperatura de 4°C (Esteire et al., 2014).</p>
<p>Pasteurizador Tubular / UHT</p>	<p>Este equipo permite llevar a cabo un procedimiento de flujo continuo, por medio de un conjunto de tubos por donde la leche procede a ser transportada, atravesando contra corrientes que le permiten alcanzar una temperatura de 133 °C, en un periodo de tiempo sumamente corto, que pueden estar entre los 2 segundos (Cáceres, 2017).</p>

El pasteurizador de placas es el más utilizado en la industria de lácteos, está compuesto de secciones de placas de acero inoxidable corrugado sujetados en un bastidor donde se da el precalentamiento, calentamiento y enfriado del producto. Los líquidos entran y salen de los canales a través de portillos que se encuentran en las esquinas de las placas (Venegas, 2011). En la (Figura 7) se muestra un pasteurizador de placas:

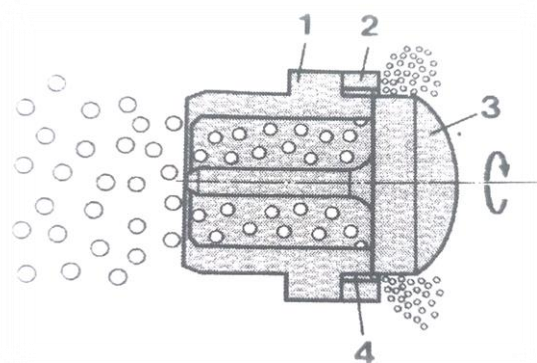


Figura 7. *Pasteurizador industrial de placas.*
Fuente: (Cesaro Perú, 2018).

1.8.3 Homogeneizador.

Es una máquina que permite pasar la leche a elevadas presiones a través de hendiduras estrechas (menor a los glóbulos grasos) y de esta forma reduce el diámetro del glóbulo graso manteniéndose estos en suspensión (CAR/PL, 2002).

Principio de funcionamiento de un homogeneizador (Figura 8):



1. Anillo exterior
2. Anillo de homogeneización
3. Cabezal de homogeneización
4. Ranura de paso

Figura 8. *Homogeneizador de leche.*
Fuente: (Esteire et al., 2014).

La materia prima pasa con altas presiones a través de pequeñas ranuras (4) que están entre el anillo de homogeneización (2) y el cabezal de homogeneización (3) debido a esto, los glóbulos grasos se rompen por la fuerza de rozamiento. Por la aceleración que sufre el líquido al pasar por la ranura pequeña se da la caída de presión que presenta el fenómeno de cavitación. Al chocar los glóbulos grasos en las paredes del cabezal de homogeneización (3) se rompen y se distribuyen de manera homogénea (Esteire et al., 2014).

Los homogeneizadores de alta presión y ultra alta presión (UHPH) se basan en un mismo principio con la diferencia que los UHPH pueden alcanzar una presión de hasta 200MPa debido al diseño de las válvulas y al material que se utiliza (Pereda, 2009). En la (Tabla 3) se describe las características de los principales tipos de homogeneizadores utilizados en la industria láctea.

Tabla 3. Homogeneizadores de alta presión (HPH) y ultra alta presión (UHPH).

<p>Homogeneizador de presión alta - HPH</p>	<p>Este homogeneizador posee una bomba especial que le permite al fluido llegar hasta el tope de su válvula respectiva; para ello, atraviesa por un pequeño espacio, donde a medida que la velocidad se incrementa se da una caída de presión, cavitación, fenómenos de cizalla, impacto, esfuerzo de corte y turbulencia estos procesos permiten la disrupción de partículas e incrementan la temperatura (Mayta et al., 2020).</p>
<p>Homogeneizador de ultra alta presión - UHPH</p>	<p>Su funcionamiento es similar al referido anteriormente, no obstante, tienen la capacidad de alcanzar una presión de mayor superioridad a los 200 MPa, lo que permite abordar un volumen de leche, de mayor notoriedad (Pereda, 2009). Es considerado una tecnología no térmica pero</p>

	cuando el producto atraviesa la válvula de homogenización la temperatura del fluido aumenta de 2 a 2,5°C por cada 10 MPa. La UHPH es una tecnología con menor eficiencia para la eliminación de esporas (Mayta et al., 2020).
--	---

1.8.4 Mantequillera industrial

La mantequillera es un aparato de acero inoxidable continuo donde se bate la crema para elaborar mantequilla, está formada por una especie de tonel de madera que gira en torno a un eje horizontal, además está constituida de paletas que ayuda a la agitación. Generalmente se mantienen a una temperatura de 10 a 13°C y tiene una velocidad de rotación entre 25 y 50 revoluciones por minuto (TAUBER, 2021), presenta una válvula tipo mariposa por donde se da paso a la salida del producto (Zorrilla, 2018). En la (Figura 9) se muestra una mantequillera industrial para una capacidad de 100 kg de producto.



Figura 9. Mantequillera industrial.
Fuente: (TAUBER, 2021).

1.8.5 Sistema de enfriamiento

Consiste en un tanque hecho de acero inoxidable de alta calidad, que es un equipo con gran uso en la industria alimenticia. Su uso permite enfriar la materia prima, para dirigirse a un proceso determinado, según el producto que se pretenda elaborar.

En lo que concierne a los tipos de enfriadores, se puede distinguir los siguientes:

Enfriamiento de leche a través de cortinas: se trata de una cortina de enfriamiento en donde la leche es rociada por el exterior de la cortina para ser enfriada a través de una cámara, y que en su interior se encuentra un tanque con un medio refrigerante (agua o salmuera) que circula por el enfriador de cortina. Una de las desventajas de este tipo de enfriadores es que cuando el flujo de leche es interrumpido es propenso a formar capas de hielo (Revilla, 1982).

Cuba enfriadora de leche: es una cuba de acero inoxidable, el enfriamiento se da por expansión directa (el evaporador del sistema de refrigeración se encuentra en contacto térmico directo con la leche) o acumulación de hielo, el agitador mantiene el agua en movimiento. El evaporador es un serpentín de tubo fijado en la superficie exterior de la cuba, en la parte inferior se da la agitación de la leche dándose el enfriamiento (Creus, 1971).

Enfriador de placas: consiste en circuitos cerrados por donde la leche pasa por un lado en contra corriente y por el otro lado agua o salmuera refrigerada. Es un sistema más eficiente y reduce la contaminación de la leche. En su funcionamiento la leche entra a 35°C en contracorriente con el agua, es decir, la leche circula por una placa y el agua circula por otra dándose el enfriamiento por intercambio de calor y llegando la leche a una temperatura de 3°C (Aldaz et al., 1997). En la (Figura 10) se muestra un enfriador de placas para refrigerar leche.



Figura 10. Intercambiador de calor de placas para pre-refrigeración de leche.
Fuente: (Callejo, 2013).

1.8.6 Marmitas

Son ollas industriales que tienen una tapa atornillada que se ajusta de manera completa a su diseño donde la presión interna de vapor ayuda a la pasteurización correcta (Erazo & Lata, 2012). En la (Tabla 4) se encuentra los principales tipos de marmitas y sus características.

Tabla 4. Características de marmitas empleadas en la industria alimenticia.

<p>Marmita a vapor</p>	<p>Es un equipo conformado por una camisa de vapor, lugar donde se produce el calentamiento, como resultado del vapor que emana y circula por este espacio. Se pueden encontrar dos tipos de marmitas a vapor: abierta, donde la leche se calienta a través de la presión atmosférica; y cerrada, donde el aire extraído facilita que la leche sea hervida a una temperatura inferior a la que se necesita en el equipo anterior (Erazo & Lata, 2012).</p>
<p>Marmita a gas</p>	<p>Es un equipo que contiene un quemador de tipo atmosférico, cuyo funcionamiento es automático, bajo un sistema de seguridad encargado de controlar el encendido</p>

	<p>de la llama y una tubería de salida a modo de ducto, que facilita la salida de los gases.</p> <p>Por otro lado, también posee un sistema de agitación y un control de presión que permite obtener una agitación que varía desde 20 – 180 revoluciones por minuto (Lactoequipos, 2017a).</p>
<p>Marmita eléctrica</p>	<p>Es un equipo donde el proceso de calentamiento de la leche, puede ser llevado a cabo de manera eléctrica, lo cual permite generar su propio vapor (Erazo & Lata, 2012).</p>

En la industria láctea la marmita a vapor es más empleada para varios propósitos como es la pasteurización de leche, maduración de yogurt y maduración de queso. En la (Figura 11) se muestra una marmita a vapor.



Figura 11. Marmita láctea a vapor.
Fuente: (AgroShow, 2018).

1.8.7 Bombas.

En los diferentes procesos que se llevan a cabo dentro de la industria láctea, intervienen diferentes bombas que facilitan el transporte de la leche o la nata de leche, por lo que se requiere que las dimensiones de estas sean adecuadas para evitar que se incorpore aire en la leche y se forme espuma (Poggio, 2015).

Las bombas generalmente permiten el trasvase de la cisterna de un camión a otro depósito como cubas. En la (Figura 12) se muestra una bomba de trasvase.



Figura 12. Bombas de trasvase utilizados en la industria láctea.
Fuente: (López & Pedregosa, 2020).

1.9 La huella de agua en la industria láctea

La huella hídrica es el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir un bien o un servicio consumido por un individuo o producidos por una empresa. El uso del agua se mide en términos de volumen de agua consumida y contaminada por unidad de tiempo (Chun & Ghosh, 2017).

La actividad industrial de lácteos conlleva una serie de procesos orientados a la producción de leche y otros derivados, la mayor parte de agua utilizada en esta industria es en el proceso de limpieza y desinfección donde puede llegar a consumir del 25 al 40% del total del agua o puede llegar a superar de 1 a 4 veces del volumen total de la leche que entra en la industria, con 1 a 10 litros de agua se puede procesar 1 litro de leche, solamente puede llegar a utilizarse menos de 1 litro si los sistemas son automatizados (Muñoz & Sanchez, 2018).

La industria láctea ha sido una de las actividades industriales de mayor apogeo en el mundo, situación que permitió consolidarla como uno de los segmentos mercantiles que mayor consumo de agua requiere, para solventar cada una de sus operaciones. Al respecto, diferentes organizaciones como por ejemplo la Comisión Internacional del Medio Ambiente de Chile y el Centro de Producción de Medellín, refieren que en la actualidad las plantas procesadoras de lácteos son las industrias que evidencian mayor promedio de consumo de agua, llegando a un promedio de 8 a 12 litros por cada litro de leche debidamente procesada; solventando además los requerimientos de limpieza y refrigeración de los productos obtenidos (Carpio, 2010).

En la actualidad, a nivel mundial las diferentes plantas procesadoras de lácteos han presentado un significativo incremento en el consumo de este recurso hídrico, por lo que se estima que para el año 2025 dicho consumo alcance el 25.2% de lo que consume la población total en el mundo (Carpio, 2010).

En definitiva, el agua es uno de los recursos de mayor requerimiento por las plantas procesadoras de lácteos, elemento utilizado para el desarrollo de diversas operaciones de producción, limpieza y refrigeración; por ello, hoy en día, en muchos contextos, se evidencia un significativo agotamiento de dicho recurso.

1.10 Limpieza y desinfección en la industria láctea

Las operaciones de limpieza están destinadas a eliminar toda la suciedad y los residuos de la leche con el objetivo de evitar el desarrollo microbiano y contaminación de productos lácteos, mientras que el proceso de desinfección se realiza con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos y no patógenos, logrando con ello garantizar la calidad de los productos obtenidos. Un procedimiento básico de limpieza incluye primero el arrastre de la suciedad, luego la aplicación de detergentes y/o desinfectantes y finalmente el enjuague que permite eliminar los restos de detergentes o desinfectantes expuestos en las superficies y equipos (CAR/PL, 2002).

Los residuos de leche son el refugio para la proliferación de bacterias que afectan a la calidad y vida útil de la leche y productos lácteos, los cuales pueden provocar enfermedades. Por otro lado la acumulación de residuos resulta ser perjudicial para procesos con transferencias de calor (Mauck et al., 2001) ya que, en equipos como intercambiadores de calor de placas se genera incrustaciones lácteas debido a la compleja composición de la leche, lo que causa una transmisión de calor deficiente. Además, si los procesos de limpieza y desinfección no son efectivos, en estas incrustaciones se colonizan bacterias y se forman biopelículas con alta resistencia a los procedimientos de limpieza (Guerrero et al., 2022).

En la industria láctea la limpieza en situ o CIP (Cleaning in Place) por sus siglas en inglés es un método eficiente en limpieza y desinfección de equipos (Van et al., 2002), debido a que no es necesario desmontar o cambiar el estado de funcionamiento de los equipos y de este modo asegurar la consistencia y sostenibilidad en la planta (BETELGEUX, 2019). El CIP es un sistema que consta de un preenjuague con agua caliente, luego la aplicación de detergentes alcalinos y ácidos y finalmente un enjuague. Si hay presencia de incrustaciones existe una pérdida económica por el mayor consumo de agentes químicos, agua y energía. Además los residuos de los agentes químicos resultan ser corrosivos, tóxicos y no biodegradables que en consecuencia causan impacto negativo al medio ambiente (Guerrero et al., 2022).

CAPÍTULO 2

2 Los contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes son sustancias químicas sintéticas o naturales de origen antropogénico que han demostrado un impacto negativo en toda la biosfera. El impacto producido por estas es debido a la urbanización de grandes ciudades, al aumento demográfico, aumento de la calidad de vida y desarrollo industrial (Baz, 2019). Por lo general se encuentran en el medio ambiente en concentraciones muy bajas como partes por millón (ppm) o partes por trillón (ppt) (Rocha et al., 2015).

Por consiguiente, los contaminantes emergentes contemplan una serie de agentes químicos, farmacéuticos, de cuidado personal, aditivos para la actividad industrial y otros elementos nocivos para el bienestar del medio ambiente y los seres vivos.

2.1 Conceptualización y características

En la actualidad, los continuos avances en la ciencia y la tecnología dan paso a nuevos procedimientos de laboratorio, que permiten determinar la existencia de un nuevo grupo de agentes nocivos para el medio ambiente, los cuales si bien por cada litro de agua analizada, presentan una concentración relativamente muy baja. Su existencia data desde el año 1962 cuando Rachel Carson en su libro "Primavera Silenciosa" demostró que el uso de dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) había llevado a la muerte de muchas especies, razón por la cual su uso fue restringido (Cuenca, 2019).

Los contaminantes emergentes, contemplan un sin número de elementos que pueden alterar el equilibrio del medio ambiente, de manera inadvertida, desconociendo las severas implicaciones que estos podrían traer consigo a corto, mediano o largo plazo; es decir un conjunto de agentes perniciosos para el bienestar del ser humano y el entorno que lo rodea, abordando patologías de tipo endocrinológicas y/o neurotóxicas (Neira et al., 2017).

En los últimos años, los contaminantes emergentes han sido abordados a nivel mundial como una temática de primer orden en el ámbito del cuidado del medio ambiente, permitiendo diferenciar algunas sustancias que se caracterizan por su toxicidad bioacumulable, las cuales tienen la capacidad de acceder inclusive a reservorios de agua destinados al consumo del ser humano. Sin embargo, los actuales avances en el ámbito del laboratorio, han permitido identificarlas de manera oportuna, utilizando técnicas como cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) o identificación con la cromatografía de líquidos con espectrometría de masas (LC-MS) (Rocha et al., 2015).

Los contaminantes emergentes, se caracterizan por los siguientes aspectos (Gil et al., 2012):

- Contemplan distintas sustancias con composición heterogénea de origen natural o químico.
- Estos agentes contaminantes resultan de significativa toxicidad para los diversos organismos vivos que habitan en los entornos marinos.
- Los contaminantes emergentes, tienen la capacidad de producir feminización y/o hermafroditismo de algunas especies que forman parte de la fauna marina.
- Estos contaminantes pueden estar presentes en entornos acuáticos o volatilizados en el aire.
- Estos elementos han sido detectados en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e inclusive en el agua potable destinada para el consumo humano.
- Los agentes que hacen parte de este grupo de contaminantes ingresan al medio ambiente por medio de diferentes vías entre las cuales destacan las aguas residuales que derivan de la actividad doméstica o industrial, los residuos de las operaciones que conlleva una planta de tratamiento, los efluentes hospitalarios, las actividades del sector agrícola o ganadero y los depósitos.

2.2 Clasificación de los contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes contemplan varias sustancias cuya descomposición se deriva del accionar directo de agentes naturales como el agua, las bacterias, el sol u otros elementos de la flora y fauna existente en un determinado entorno. La persistencia y facilidad de acumularse con otros elementos químicos naturales hacen que estos compuestos evidencien un significativo riesgo para el bienestar general del medio ambiente y el ser humano (ESAMUR, 2021).

En este sentido, varios estudios permitieron clasificar gran parte de dichos elementos contaminantes, en las siguientes categorías.

2.2.1 Productos de higiene personal.

Dentro de este grupo de contaminantes se encuentran productos destinados para un uso en la salud, limpieza y belleza, entre los más usados se encuentran: los desinfectantes, fragancias, lociones, pasta de dientes, repelentes de insectos y filtros UV. El impacto negativo de dichos productos en el medio acuático ha causado preocupación debido al ingreso de estas sustancias a dicho medio, las cuales lo contaminan a través del ingreso de las aguas residuales de las plantas de tratamiento con una remoción inefectiva de contaminantes perjudicándolo notoriamente (Montes et al., 2017).

Clasificación de los contaminantes emergentes que se encuentran en productos de higiene personal

Los contaminantes emergentes de los productos de higiene personal se clasifican en: polietoxilatos de alquilfenol (APEO), antimicrobianos, bisfenoles, ciclosiloxanos, etanolaminas, éteres de glicol, parabenos y ftalatos (Abdollahi & Khalid, 2021).

Dentro de las sustancias químicas que contienen los champús, tintes para cabello, limpiadores y detergentes se encuentran: los siloxanos, decametilciclopentasiloxano (D5), dodecametilciclohexasiloxano (D6); los monoetanolamina y la dietanolamina; en productos

como pastas de dientes, jabones, desodorantes y detergentes se hallan los ortofenilfenol, el triclocarbán, el triclosán y el 1,4-diclorobenceno (Molins, 2017). Otras sustancias químicas como el bisfenol A y el benzofenona-3 (BP3) se encuentran en detergentes, jabones, productos de belleza y cuidado de la piel. En el caso de los repelentes de insectos estos principalmente contienen bayrepel, el indol y el butóxido de piperonilo (Abdollahi & Khalid, 2021).

Efecto de los productos de higiene personal sobre la salud

Los contaminantes emergentes que se encuentran en los productos de higiene personal pueden causar alteraciones endocrinas y neurotoxicidad, influyen en la función reproductiva, pueden afectar a la tiroides, próstata y tamaño de los testículos. Tal es el caso del triclosan (TCS), el cual se puede bioacumular en el ambiente causando irritaciones dérmicas, alteraciones endócrinas, alergias y el desarrollo de tumores (Reinoso et al., 2017).

2.2.2 Pesticidas

Los pesticidas son compuestos que ayudan a controlar, destruir y mitigar las plagas de insectos, malas hierbas u organismos no deseados (hongos y bacterias) (Gil et al., 2012), como es el caso de los carbamatos que actúan como herbicidas, fungicidas y plaguicidas (Ramírez & Lacasaña, 2001). La mayoría de estos compuestos se encuentran en un rango de ng/l y están acumulados en aguas residuales, subterráneos y superficiales.

Clasificación de los pesticidas:

De todos los contaminantes de los pesticidas el 67% está compuesto de dicloro difenil tricloroetano (DDT) y hexaclorociclohexano (lindano) (Senthil et al., 2021). Los pesticidas según su característica química, efectos nocivos y su alta demanda de uso se clasifican en (Patiño et al., 2014):

- Carbamatos: carbaril, carbenzima y metomil.
- Cloroacetanilidas: metaloclor

- Clorofenoxiácidos: bentazona y triclopir
- Organoclorados: DDT, ciclodienos, dieldrina, el lindano, endosulfán y metoxicloro
- Organofosforados: paratión, malatión, diazinón, clorpirifos y el diclorvos
- Piretroide: Cipermetrina, fenvalerato, permetrín
- Triazinas: cianazina, atrazina, simazina

Efectos tóxicos en el ser humano

En los seres humanos la absorción de estas sustancias se da por tres vías: dérmica, respiratoria y digestiva, siendo la sangre su vía de distribución y las vías de eliminación son la orina, heces fecales y el aire exhalado (Ramírez & Lacasaña, 2001). Los pesticidas organoclorados pueden exponerse a los seres vivos al consumir productos lácteos, carnes, frutas, verduras y granos. Las sustancias químicas de dichos pesticidas como el DDT, ciclodienos, la dieldrina y el endosulfán, causan enfermedades neurodegenerativas en humanos (Richardson et al., 2019). También pueden causar cáncer, leucemia, asma, enfermedad de Parkinson y cognitivas (González, 2019).

Los pesticidas especialmente los organofosforados son muy tóxicos para animales invertebrados y vertebrados que son parte de la fauna marina. En consecuencia, generan grandes problemas a la salud humana debido al consumo de mariscos contaminados (Cuenca, 2019).

2.2.3 Antibióticos

Son fármacos empleados para combatir y prevenir enfermedades respiratorias e infecciosas que son provocadas por bacterias patógenas en seres humanos y animales, sin embargo, estos han causado mayor preocupación debido al aumento de contaminación en el medio ambiente. En humanos los antibióticos más empleados son: penicilinas, macrólidos y fluoroquinolonas (Martínez et al., 2020). En la medicina veterinaria se usa aproximadamente un 70% del total de fármacos. Entre los antibióticos más encontrados en aguas residuales

están: las tetraciclinas, los aminoglicósidos, los macrólidos, los betalactámicos y la vancomicina (Tejada et al., 2014).

En las aguas residuales los niveles de antibióticos son bajos y son medidos en nanogramo por litro (ng/L) o microgramo por litro ($\mu\text{g/L}$), en los suelos y sedimentos se usa microgramo por kilogramo ($\mu\text{g/kg}$) o miligramo por kilogramo (mg/kg), sin embargo, a pesar de encontrarse en bajas concentraciones pueden causar efectos nocivos al medio ambiente (González et al., 2013).

Efectos tóxicos de los antibióticos

El consumo de antibióticos presenta efectos negativos en la salud del ser humano, como: estrés oxidativo, daño celular, efectos teratogénicos, endócrinos y hepatotoxicidad. Debido a sus características fisicoquímicas estos compuestos pueden ser bioacumulables, persistentes y solubles en agua, lo que lleva a la contaminación de suelos, aguas superficiales, subterráneas y residuales (Meléndez et al., 2020).

2.2.4 Disruptores endócrinos (EDC)

Son compuestos que tienen la propiedad de causar efectos adversos y afectan de forma directa al sistema endocrino, se clasifican en compuestos naturales como: los fitoestrógenos y los micoestrógenos; las hormonas naturales como: estrógenos (estrona, estradiol, estriol), la progesterona y la testosterona (Kasonga et al., 2021); sustancias sintéticas que incluyen los productos químicos como disolventes, aditivos plásticos (bisfenol A) y pesticidas (Jeirani et al., 2017).

Efectos tóxicos de los EDC

Estas sustancias químicas pueden alterar la función reproductiva de hombres y mujeres, causan el cáncer de mama, ovario, próstata y testículos (Luján, 2015). Además, son responsables del retraso en el desarrollo neurológico y cambios en el sistema inmunitario de niños. El ser humano expulsa hormonas (estrógenos) aun sin ingerir medicamentos

hormonales que posteriormente llegan a las aguas residuales a través de los sistemas de alcantarillado y consecuentemente se hacen presentes en efluentes, afectando a las especies acuáticas en especial a los peces causando feminismo (Wan et al., 2020).

2.2.5 Aditivos Alimentarios e Industriales

Los aditivos industriales que se encuentran liberados en el medio ambiente son: solventes clorados, hidrocarburos de petróleo, plastificantes (bisfenoles), resinas, alquilfenoles, adipatos y ftalatos (Cuenca, 2019). El 2,2-bis (4-hidroxifenil) propano o llamado también bisfenol A que es una sustancia química utilizada en la producción de plásticos de policarbonato y resina epoxi (mezcla de bisfenol A y epiclorhidrina) (Lorenzo, 2017). El alquilfenol es un compuesto químico utilizado en la fabricación de plástico, resinas fenólicas, polímeros y detergentes (Becerril, 2009).

Los aditivos alimentarios como el citrato de trietilo, hidroxianisolbutilado(BHA), hidroxitoluenobutilado (BHT) (antioxidante alimentario), sucralosa y acesulfame son empleados para mejorar la calidad del producto final, aumentar el tiempo de vida útil, retardar la maduración y como conservantes. Estos son considerados contaminantes emergentes debido a que se encuentran en las aguas residuales y causan impacto en la salud humana y al medio ambiente (Cuenca, 2019; Peñalver, 2020). Y que a pesar de los tratamientos aplicados como la floculación, coagulación, sedimentación, filtración con membranas y carbón activado, cloración, entre otros; demuestran su persistencia en el medio ambiente (Gómez et al., 2021). Del mismo modo, el eucaliptol, citral, citronelal heliotropina, ácido hexanoico, mentol, alcohol feniletílico, triacetina y terpineol son aditivos que pueden estar considerados como disruptores endócrinos (Gil et al., 2012).

Efectos tóxicos de los aditivos industriales y alimentario

En la actualidad los edulcorantes artificiales son empleados para la elaboración de productos bajos en azúcar, sin embargo, estudios realizados debaten que el consumo de estos edulcorantes puede provocar enfermedades gastrointestinales, aumento de peso,

diabetes mellitus tipo 2, síndrome metabólico y enfermedades cardiometabólicas (Torres, 2021). Además, la exposición de las especies acuáticas a los edulcorantes puede causar efectos tóxicos como: alteraciones fisiológicas, bioquímicas y morfológicas que a pesar de encontrarse en concentraciones pequeñas (ng/L ó µg/ L) tienen un impacto negativo en el ecosistema (Gómez et al., 2021). En cuanto a los aditivos industriales como el bisfenol A utilizados en la fabricación de plásticos provocan cáncer de mama y actúa como agente antiandrógeno (Rodríguez, 2020).

2.2.6 Tensoactivos

Son sustancias químicas que reducen la tensión superficial en los líquidos, contienen una parte hidrofílica (cabeza) que es soluble en agua y otra parte hidrofóbica (cola) que rechaza al agua, es decir, presentan una fracción apolar que es insoluble en agua y una polar que es soluble en agua (Calvo et al., 2018). Son contaminantes emergentes principalmente los del grupo aniónico (sulfonato alquil benceno lineal) y no aniónicos (alquilfenolpolietoxilado), los aniónicos representan el 55% de producción en un año, mientras que los no iónicos representan un 40% del total, son utilizados para la fabricación de detergentes para ropa, jabones, lavavajillas y champús (Gil et al., 2012).

Tensoactivos no iónicos:

Su grupo polar hidrofílico (alcoholes, fenoles, éteres, ésteres o amidas) no se ionizan en solución acuosa, los surfactantes más usados de este grupo son los etoxilatos de alcohol (AEO) y etoxilatos de alquilfenol (APEO) (Calvo et al., 2018).

Tensoactivos aniónicos

El sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS) son ampliamente utilizados en detergentes y limpiadores, por lo tanto, se vierten en las aguas residuales de todo el mundo. Es biodegradable mediante el proceso aeróbico, de modo que, una parte de la carga del tensoactivos se absorbe en sólidos de suspensión el cual tiene un efecto negativo en la

deshidratación de lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Asok & Jisha, 2012). La degradación de los tensoactivos mediante microorganismos es muy baja.

Efectos toxicológicos de los tensoactivos

Debido a la amplia aplicación de estos compuestos se encuentran en altas concentraciones tanto en aguas residuales industriales como domésticas, que posteriormente llegan a las estaciones depuradoras para su tratamiento o pueden ser descargados directamente al medio ambiente representando una grave amenaza ambiental y pública para los seres humanos y el ecosistema (Badmus et al., 2021).

Un ejemplo es el uso de LAS que provoca un potencial daño a los organismos vivos debido a su capacidad tensoactiva la cual puede alterar membranas y desnaturalizar las proteínas. En concentraciones de 0,084 a 0,425 mg/L pueden causar alteración en las branquias, disminución de crecimiento y actividad natatoria (Asok & Jisha, 2012). En humanos pueden provocar irritación a la piel y problemas en el sistema respiratorio (Collivignarelli et al., 2019).

2.2.7 Microplásticos

La presencia de plásticos en el medio ambiente se ha convertido en un enemigo para los seres vivos. El cambio de estilo de vida y la utilización de materiales y envases ligeros, duraderos y que no causen corrosión han sido protagonistas de la gran preocupación de contaminación ambiental (Bollaí & Angulló, 2019).

El 4% del peso del plástico son aditivos y la mitad de estos son plastificantes como los ftalatos, alquilfenol y bisfenol A. Entre los contaminantes orgánicos de los plásticos tenemos: bifenilos policlorados (PCB), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y los pesticidas organoclorados. Los contaminantes inorgánicos que están presentes son nanopartículas de dióxido de titanio, bario, azufre y zinc (EFSA, 2016).

Los plásticos tienden a fragmentarse dando como resultado la formación de microplásticos que son considerados otros contaminantes emergentes (Castañeta et al., 2020). Los

microplásticos son fragmentos de plásticos con diámetro máximo de 5mm y se forman mediante desintegración física (rayos UV y abrasión), química (fotólisis, hidrólisis y térmica) y biológica (bacterias, hongos y algas) (Calle, 2021). Dando lugar a un sin número de fragmentos, copos o gránulos (Diaz et al., 2020).

Las propiedades como densidad, color, forma, tamaño y composición química de los microplásticos son características que afectan al medio acuático. Mediante su densidad se puede identificar si estos flotan o sedimentan en el mar, por ejemplo: los microplásticos con densidad mayor a la del agua como el tereftalato de polietileno (PET), policloruro de vinilo (PVC) y el poliéster tienden a sedimentar en el fondo del mar. Mientras que, los que tienen menor densidad como el polipropileno y el polietileno se ubican en la superficie del agua (Jain et al., 2021).

Los microplásticos tienen varias vías de ingreso al medio ambiente entre ellas están (Wagner & Lambert, 2018):

- De las depuradoras de aguas residuales (EDAR) a causa del uso de microplásticos para productos de cuidado personal o de la liberación de fibras de los textiles cuando se lava.
- Por el uso de biosólidos en la agricultura y el escurrimiento de las aguas pluviales.
- Desgaste de neumáticos y liberación de procesos industriales.

Los principales polímeros detectados en sedimentos, agua dulce y medio acuático son el polietileno, polipropileno, poliestireno, y poliéster; en suelos húmedos se han detectado poliéster y polietileno; en los lodos el poliacrilato de 11-bromoundecilo (PBA) y el polimetacrilato de 11-bromoundecilo (Jain et al., 2021).

Clasificación de los microplásticos

A continuación, en la (Tabla 5) se muestra una clasificación de los principales microplásticos y productos en los que son utilizados.

Tabla 5. Clasificación y descripción de microplásticos generados en las diferentes industrias.

<p style="text-align: center;">Microplásticos primarios</p>	<p>Son aquellos fabricados intencionalmente con tamaño menor a 1 mm y son utilizados para productos de limpieza, cosméticos, pinturas, pasta para dientes, etc. Las partículas de microplástico acrílicos, melanina y poliéster tienen un tamaño entre 0,25 y 1,7 mm, se emplea en productos de limpieza para maquinarias y barcos (Castañeta et al., 2020).</p>
<p style="text-align: center;">Microplásticos secundarios</p>	<p>Son aquellos que se generan por efecto de la desintegración física o química de plásticos de mayor tamaño (Bollaí & Angulló, 2019). Tienen su origen en fuentes terrestres como los materiales de embalaje, desechos de la industria de plástico y bolsas de plástico, de fuentes marinas como equipos de pesca y aguas residuales de barcos (EFSA, 2016).</p>

Efectos tóxicos en animales y seres humanos

La principal preocupación de los microplásticos presentes en el medio ambiente, es por su durabilidad en el medio y que estos pueden absorber sustancias tóxicas y luego liberar monómeros plásticos, aditivos y contaminantes (Sobhani et al., 2020).

La presencia de los microplásticos en los medios marinos ha causado preocupación ya que estos están biodisponibles para animales acuáticos. La ingestión de microplásticos por parte de estos animales pueden causar estrés fisiológico y daño toxicológico, debido a la presencia de sustancias tóxicas y cancerígenas que causan un impacto dañino en moluscos y otros invertebrados (Sbarbati, 2020).

En los seres humanos la exposición a dichos contaminantes es por ingestión, inhalación y dérmica. Se ha demostrado que la ingestión de microplásticos se da principalmente mediante la contaminación de los alimentos en la cadena trófica (Torres, 2021); lo cual genera tos, disnea sibilancias, asma ocupacional, problemas respiratorios y cáncer al pulmón (Jain et al., 2021).

2.3 Métodos de detección de los contaminantes emergentes

Entre los métodos de detección de contaminantes emergentes están las técnicas cromatográficas, electroscópicas y análisis de metales. La cromatografía es el método más utilizado para la identificación y detección de diferentes compuestos en todo tipo de muestras. Los contaminantes emergentes no polares, termoestables y volátiles (retardantes de llama, filtros y algunos pesticidas) se determinan mediante cromatografía de gases. Sin embargo, los contaminantes no volátiles, polares y termolábiles se analizan mediante cromatografía líquida (Wan et al., 2020).

Para la detección de contaminantes emergentes en una muestra se la debe tratar previamente para obtener resultados confiables, para esto se puede utilizar diferentes técnicas como:

Recolección y preparación de la muestra

Algunos autores mencionan que las muestras de aguas residuales y naturales se deben recoger en la sección media del río en envases de vidrio ámbar previamente lavadas con agua ultra pura y disolvente orgánico (metanol o acetona), es necesario enjuagar la botella

con el agua de muestreo. El volumen de la muestra a tomar depende de la técnica a utilizar, para la (LC- MS) y (GC-MS) el volumen requerido es de 0,250 a 1litro, cabe mencionar que la muestra se debe almacenar a 4°C. La finalidad de utilizar las botellas de vidrio para el muestreo es proteger la muestra de la fotodegradación y degradación biológica de los compuestos (García et al., 2018).

Antes del análisis de muestras se realiza tratamientos previos a estas como ajustes de pH (ácido fórmico al 1% V/V, ácido sulfúrico o ácido clorhídrico diluidos), también se emplea omadina sódica como agente antimicrobiano y ácido ascórbico como agente antioxidante, sumado a esto se debe filtrar la muestra utilizando membranas o filtros de celulosa (García et al., 2018). Otro tratamiento que se debe realizar es el aislamiento de la matriz y concentración de la muestra. En el caso de concentración se realiza mediante extracción líquido- líquido, extracción en fase sólida, microextracción en fase sólida y extracción de sorción con barra de agitación para muestras acuáticas (Wille et al., 2012). Las cuales se detallan a continuación.

Extracción líquido- líquido (LLE)

Los compuestos extraídos por esta metodología son generalmente los EDC y los difeniléteres polibromados (PBDE) que son sustancias no polares y volátiles que al encontrarse en muy bajas concentraciones requieren de gran cantidad de muestra. Además, el extracto final debe ser evaporado para reducir el límite de detección y mejorar la sensibilidad de esta técnica. No obstante, la extracción líquido- líquido tiene ciertas desventajas debido a su alto costo, procedimiento laborioso, requiere grandes cantidades de disolventes orgánico y es más compleja para automatizar (García et al., 2018).

Esta técnica consiste en agregar un disolvente orgánico a la matriz acuosa que contiene el compuesto a extraer y mediante una agitación, los analitos se mezclan con el disolvente orgánico, luego se deja reposar con el objetivo de lograr la separación de las dos fases. Por

un lado la matriz acuosa y por el otro el disolvente con el analito lo que permitirá una detección correcta (Vilanoba & Sogorb, 2015).

Extracción en fase sólida

Esta técnica se fundamenta en la preparación o tratamiento de muestras por medio de la retención selectiva de analitos en una fase adsorbente y seguido de la extracción del material utilizando un disolvente (Viera & Santana, 2013). Es la técnica más aplicada para la extracción de contaminantes traza de fuentes de agua naturales y residuales. Ampliamente usada para el análisis de sustancias químicas como EDC, éteres difenólicos polibromados, productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP_s), filtros UV, plaguicidas y alquilfenoles (García et al., 2018).

Microextracción en fase sólido (SPME)

Es una técnica sencilla, rápida, de fácil automatización y eficaz que se aplica para la concentración de compuestos volátiles o no volátiles, especialmente en muestras líquidas. Son utilizadas principalmente para analizar, cuantificar y preconcentrar compuestos perfluorados, filtros UV, fragancias, parabenos, triclosan y fenoles que se encuentran en aguas naturales y residuales. En esta técnica se usa cromatografía de gases y cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masa (García et al., 2018).

La SPME se basa en la extracción del analito de una muestra mediante una fibra de sílice fundida que está recubierta de un adsorbente (polimérico), seguida de la liberación de los analitos mediante temperatura o un disolvente orgánico (Viera & Santana, 2013).

Extracción de sorción con barra de agitación (SBSE)

Es una técnica que se fundamenta en la extracción del analito de la matriz mediante agitación con una barra magnética recubierta de un polímero (polidimetilsiloxano) o con

silicona modificada con polietilenglicol (PEG) que absorbe los compuestos para luego ser liberados ya sea por desorción térmica o química (Viera & Santana, 2013).

Cromatografía líquida – espectrometría de masa (LC-MS)

Al acoplar la cromatografía líquida (LC) con espectrometría de masas (MS) permite la detección sensible y selectiva de compuestos de alto peso molecular, altamente polares, no volátiles y térmicamente inestables (Wan et al., 2020). Puesto que, la LC es una técnica de separación potente y versátil y la MS es una técnica de detección, identificación y cuantificación más potente y sensible (Sosa et al., 2012).

La combinación de esta técnica se basa en la ionización de las moléculas y en la detección y separación de los iones que se produzca según su relación entre su masa y carga en un sistema al vacío. En la cromatografía líquida primeramente los iones llegan al detector generando una señal eléctrica lo cual es ampliada, procesada y registrada en un dispositivo. Seguido la espectrometría de masas representa gráficamente los iones detectados en relación masa/carga (Brajovic, 2020).

Cromatografía de gases - Espectrometría de masas (GC-MS)

En este tipo de cromatografía las separaciones se dan en columnas capilares en las que la capa fina de la fase estacionaria líquida está unida a la pared interior del capilar, como fase móvil se utiliza un gas inerte (helio o hidrógeno) que fluye a través del capilar para transportar las sustancias vaporizados. El principio de separación de la GC se fundamenta en la partición de gas-líquido, la separación de los analitos dependen de las presiones de vapor relativas y su solubilidad en su fase estacionaria (Jernberg, 2013).

La MS es una técnica tanto cualitativa como cuantitativa que sirve para identificar los diferentes elementos químicos que forman un compuesto mediante la detección y medición de iones derivados de moléculas. Con frecuencia se encuentra como detector acoplado a un

cromatógrafo de gases siendo denominado como GC-MS siendo muy útil en la identificación a nivel molecular (López, 2015).

2.4 Tratamientos para remover los contaminantes emergentes

El proceso de eliminación de los contaminantes emergentes que se encuentran en las aguas residuales, conlleva el uso de distintos métodos convencionales que si bien cumplen con varias normativas legales y de salubridad, son acciones que no garantizan la correcta remoción de dichos compuestos (Gil et al., 2012).

Ante esta realidad, se ha visto imprescindible promover acciones alternativas que coadyuven en la minimización de la presencia de estos contaminantes, sin requerimientos excesivos que pudieran inferir en un considerable coste a nivel ambiental, económico y/o energético.

Por otro lado, teniendo en cuenta que varios de estos compuestos son de origen farmacéutico y de higiene personal, su eliminación conlleva un proceso variado que depende en gran medida de las propiedades específicas que hacen parte de su composición. Los tratamientos para remover los contaminantes emergentes, pueden ser clasificados en las siguientes categorías: fisicoquímicos, biológicos y avanzados (Barceló, 2014).

a. Tratamientos fisicoquímicos

Son procesos convencionales, entre los que destacan la coagulación y la floculación, métodos que pretenden eliminar los contaminantes emergentes de aguas residuales, sin embargo, no son suficientes para conseguir la remoción completa de los elementos que componen estas sustancias, como: la estrona, el estradiol (hormonas naturales), los fármacos y otras sustancias liberadas de productos de la higiene personal descritas en la sección 2.2 (Bolong et al., 2009).

Estos métodos son eficaces para la eliminación de sólidos en suspensión presentes en aguas residuales (Kashif et al., 2021). No obstante, las propiedades como la polaridad y la

alta solubilidad de los contaminantes emergentes en aguas residuales impiden la eliminación por floculación (Ahmed et al., 2021).

La eliminación mediante coagulación/floculación consiste en añadir a las aguas residuales, sustancias químicas que actúen como coagulante o floculante para que estas desestabilicen a las partículas coloidales y así se agreguen y se dé la sedimentación de estas partículas (Patiño et al., 2014).

Los agentes químicos más empleados son (Bravo, 2017) :

- Sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y aluminato de sodio.
- Polímeros (poliacrilamidas).

Entre los principales tratamientos fisicoquímicos, se encuentran también los que se detallan a continuación:

Ultrafiltración: es un método que se utiliza con mayor frecuencia, en aquellos procesos encargados de producir agua clara, la cual será utilizada en distintos ámbitos y con fines específicos. Este tratamiento, conlleva el uso de distintas membranas, como la de ultrafiltración (UF), pero debido a la baja capacidad de retención de estas membranas, debe ser combinada con otros pretratamientos o postratamientos como la coagulación o adsorción, a fin de garantizar la remoción adicional de compuestos orgánicos (Acero et al., 2012).

Este tratamiento es eficaz para la remoción de disruptores endócrinos (Jeirani et al., 2017), derivados de fármacos antiinflamatorios (diclofenaco y ketoprofeno), sin embargo, son ineficientes para remoción de ésteres de ftalatos (Kashif et al., 2021). La ultrafiltración es ampliamente utilizada para el tratamiento de aguas residuales. Las membranas a usar son fabricadas a partir de celulosa, materiales inorgánicos como dióxido de titanio (TiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de circonio (ZrO), etc. Además, de polímeros como poliacrilo nitrilo, polisulfona amida, poliéter-sulfona, polifluoruro de vinilideno (Dharupaneedi et al., 2019).

La separación basada en membranas de microfiltración, nanofiltración, osmosis inversa y ultrafiltración utilizan altas presiones a través de la membrana para lograr el filtrado de contaminantes del agua (Wan et al., 2020). En general, las membranas se pueden clasificar dependiendo de su tamaño de poros: microfiltración (10-0,05 μm), nanofiltración (0,005-0,0005 μm), osmosis inversa (menor a 0,001 μm) y ultrafiltración (0,05-0,002 μm). Las sustancias que tengan un tamaño superior al tamaño del poro de las membranas se quedaran retenidas, sin embargo, las que tienen tamaño inferior pasaran a través de ellas (Poblet, 2017).

Por otro lado, las membranas se clasifican en orgánicas e inorgánicas. Dentro de las membranas orgánicas se encuentran las poliméricas que son fabricadas a partir de celulosa y sus derivados, dentro de las membranas inorgánicas se hallan las metálicas, cerámicas y de vidrio fabricadas a base de polvo de diferentes metales como wolframio, níquel, aluminio o cobre (Poblet, 2017).

Uso de adsorbentes: proceso por la cual los contaminantes emergentes de aguas residuales son adsorbidos mediante reacciones intermoleculares. Uno de los adsorbentes más utilizados por excelencia es el carbón activado debido a su porosidad y alta área superficial que puede oscilar entre 500 a 1200 m^2/g (Sahu & Singh, 2019) lo que permite la eliminación de contaminantes orgánicos, inorgánicos y tóxicos (Ahmed et al., 2021) como pesticidas, productos de cuidado personal, disruptores endócrinos y metales pesados (Jeirani et al., 2017).

La combinación del carbón activado en polvo, el carbón activado granular y la ultrafiltración son tecnologías eficientes en el tratamiento de aguas, al combinar estos métodos; el carbón activado cumple con la capacidad de adsorción, mientras que la ultrafiltración puede retener partículas de alto peso molecular lo que permite la remoción de compuestos de baja masa molar que no pueden ser retenidos cuando se usa solo la membrana de ultrafiltración (Acero et al., 2012).

Para que el uso del carbón activado resulte económicamente viable una de las alternativas es volver a reutilizarlo y regenerarlo una vez que el agua haya alcanzado la calidad o que la dosis requerida del carbón haya llegado al punto óptimo. El carbón cargado de compuestos se transfiere a los tanques despojadores en donde es tratado con disolvente (ácido clorhídrico) o se somete a una temperatura de 700°C, liberando así las sustancias contaminantes del carbón activado dando lugar a volver a reutilizarlo (Sahu & Singh, 2019). El proceso de adsorción y desorción se muestra en la (Figura 13).

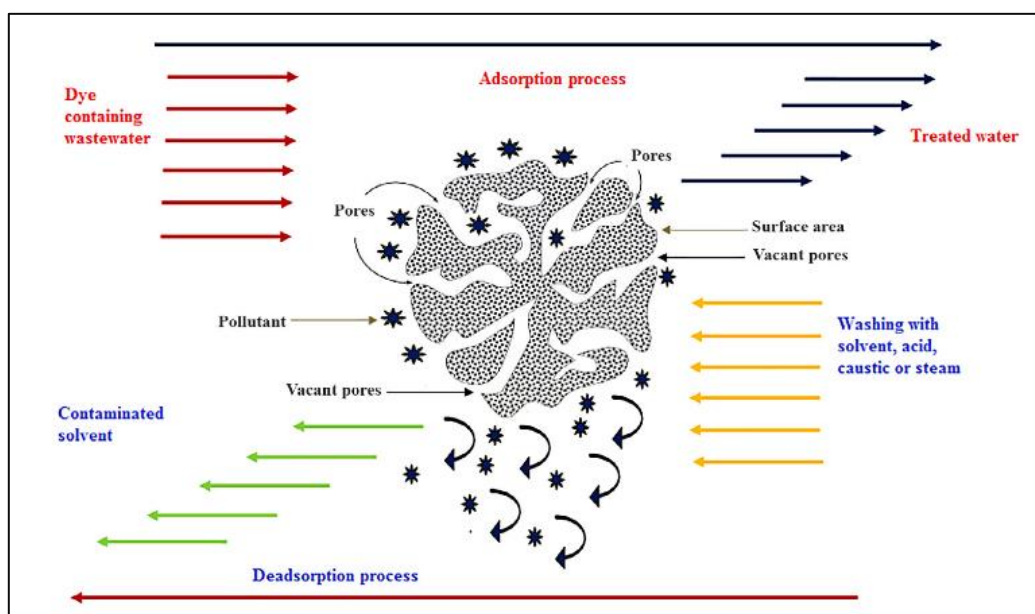


Figura 13. Proceso de adsorción y desorción en la eliminación de colorantes de aguas residuales

Fuente: (Sahu & Singh, 2019).

Como se observa en la figura los contaminantes son adsorbidos por el carbón dando paso a un agua tratada seguido a esto el carbón es lavado por un solvente o ácido conllevando a la desorción de estos contaminantes y siendo apto para volver a reutilizarlo.

b. Tratamientos biológicos

Son procesos que permiten remover los contaminantes emergentes existentes en aguas residuales, de manera particular, aquellos elementos polares como los productos farmacéuticos, plaguicidas y tensoactivos no iónicos (Petrović et al., 2003).

Entre estos tratamientos está el filtro de goteo biológico, el cual contempla una secuencia donde el compuesto orgánico acuoso, se convierte en biomasa, para después sedimentarlo, es decir, separarlo de su etapa acuosa. Sin embargo, elementos como los esteroides y estrógenos, evidencian una mayor dificultad para ser degradados en biomasa (Gil et al., 2012).

Dentro del tratamiento biológico convencional se encuentra los biofiltros, reactores de biopelícula, la nitrificación y desnitrificación, biorremediación y tratamiento aeróbico/ anaeróbico. El proceso de eliminación por biofiltros consiste en utilizar cuerpos biológicos con el objetivo de filtrar los contaminantes. En cuanto a la biorremediación es un proceso que utiliza microorganismos (algas, bacterias y hongos) para eliminar contaminantes mediante la degradación en productos de cuidado personal, generalmente son utilizados para tratar aguas residuales procedentes de las industrias farmacéuticas (Ahmed et al., 2021).

Por otro lado, el proceso de la nitrificación consiste en transformar el amonio en compuestos de nitritos o nitratos, sin embargo, la desnitrificación transforma el nitrito y el nitrato en gas nitrógeno a través de procesos de reacción reductora. Estos dos procesos son muy eficientes para eliminar contaminantes emergentes. En lo que concierne a los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos se aplican en biorreactores, estanques y lagunas de tratamiento; el tratamiento aerobio, en presencia del oxígeno descompone los contaminantes en fósforo y nitrógeno (Ahmed et al., 2021); el tratamiento anaerobio transforma los desechos en biogás, favorece la deshidratación de lodos de las estaciones depuradoras de aguas residuales (Mancuso et al., 2022).

En cuanto a los tratamientos no convencionales cabe destacar a la biosorción, biorreactor de membrana, pila de combustible microbiana y el humedal construido. El tratamiento de biosorción elimina contaminantes emergentes como macro y micro iones, metales pesados y lípidos de aguas residuales. Este proceso se lleva a cabo mediante una fuerte unión entre un

contaminante y un microorganismo lo que aumenta el coeficiente de unión provocando la eliminación de contaminantes emergentes (Ahmed et al., 2021).

Por otro lado, la eliminación de contaminantes por biorreactor de membrana se produce gracias a una retención física y degradación por los microorganismos. Con respecto al tratamiento mediante pila de combustible microbiana es un proceso híbrido basado en un mecanismo de tratamiento biológico y químico, en particular dependen de las reacciones electroquímicas de los cuerpos biológicos para separar los contaminantes presentes en aguas residuales (Ahmed et al., 2021).

Entre los tratamientos biológicos también se encuentra el proceso de lodos activados que consiste en la biodegradación de contaminantes emergentes utilizando microorganismos (bacterias y protozoos) en tanques de aireación. Los microorganismos que se encuentran en los lodos activados consumen los contaminantes emergentes y los transforman en dióxido de carbono (Guo et al., 2017). Este proceso ha demostrado eficiencia para la eliminación de productos farmacéuticos, tensoactivos y productos de cuidado personal (Kashif et al., 2021).

c. Tratamientos avanzados

Entre estos procesos se encuentra la oxidación, método que permite generar el compuesto denominado radical hidroxilo. Este elemento en una cantidad suficiente, tiene la capacidad de oxidar la mayor parte de componentes químicos complejos que se pudieran encontrar en las aguas residuales. Este tratamiento ha sido estudiado en la eliminación de contaminantes emergentes como el bisfenol A, antibióticos, amoxicilina, etinilestradiol, y el estradiol (Moura et al., 2018).

Los procesos de oxidación que utilizan cloro y ozono son tratamientos muy eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes, sin embargo, estos producen sustancias no deseadas como compuestos orgánicos halogenados o bromatos (Rossner et al., 2009). Este

tratamiento ha sido eficiente en la eliminación de productos farmacéuticos (Adams et al., 2002).

Los tratamientos avanzados, pueden darse por los siguientes procesos:

La cavitación hidrodinámica (HC): es la formación, crecimiento y posterior colapso de pequeñas burbujas en un medio líquido, debido a la variación de presiones, velocidades y de constricciones de fluido haciendo uso de ciertas maquinas hidráulicas, válvulas u orificios (Thanekar & Gogate, 2018). Debido a las altas temperaturas en este proceso se forman los radicales hidroxilos lo que da lugar a la escisión homolítica de las moléculas de agua. Las destrucciones de los compuestos pueden propiciarse mediante dos vías, en la primera, la interacción de los radicales libres puede darse en: solución a granel (líquido) y en el interfaz entre la burbuja y el área circundante (gas-líquido). En la segunda, se presenta la pirólisis dentro o cerca de la burbuja (fase gaseosa) (Zupanc et al., 2013).

En general, la cavitación hidrodinámica es la formación de microburbujas que genera la oxidación de los contaminantes en efluentes. Este proceso se origina haciendo pasar el fluido a través de una constricción como un venturi (Figura 14), en este espacio la velocidad aumenta o disminuye a expensas de la presión (Phadnis, 2021). Esta técnica es muy eficiente en la destrucción de contaminantes orgánicos incluyendo productos farmacéuticos, pesticidas, tintes orgánicos (Gagol et al., 2018) y materiales biorefractarios (Gogate, 2002).

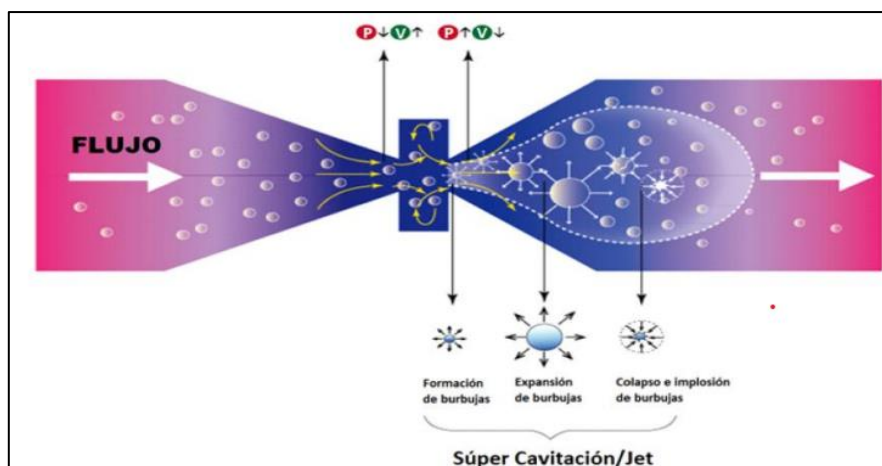


Figura 14. Proceso de cavitación hidrodinámica en efluentes para reducir la carga de contaminantes demostrado en un dispositivo venturi.

Fuente: (Carrillo et al., 2012).

Oxidación fotocatalítica: este proceso genera una transformación de sustancias químicas utilizando catalizadores (óxidos metálicos semiconductores) en medio de la radiación UV. El objetivo de los catalizadores es aumentar la velocidad de reacción, entre los catalizadores más utilizados se encuentra el dióxido de titanio (TiO_2), aunque se ha demostrado que el óxido de Zinc (ZnO) es un catalizador por excelencia para la eliminación de productos farmacéuticos y el antibiótico tetraciclina (Guo et al., 2017).

Química de Fenton: acción propiciada por la reacción generada entre los iones ferroso y el peróxido de hidrógeno ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) para formar radicales hidroxilo (Adams et al., 2002) capaces de oxidar los compuestos químicos presentes en aguas residuales. Son eficientes en la destrucción de sustancias orgánicas tóxicas como pesticidas, productos farmacéuticos y betabloqueantes (Guo et al., 2017). Además la combinación con HC la hace más eficiente en la oxidación de contaminantes (Kovačič et al., 2020). No obstante, presenta ciertas desventajas relacionados con el costo del transporte, almacenamiento y manejo de reactivos.

Fotólisis: es un proceso que no requiere el uso de catalizadores y permite la eliminación de contaminantes en aguas residuales por la intervención de la radiación solar y ultravioleta a las moléculas de agua (ruptura de enlaces químicos) lo que da lugar a la formación de radicales libres de hidroxilo altamente reactivos (Ahmed et al., 2021). Existen dos tipos de fotólisis: la directa que conlleva a la degradación del contaminante debido a la adsorción

directa de fotones y la indirecta que necesitan de fotosensibilizadores (como el peróxido de hidrógeno) para la degradación de contaminantes. Este proceso es esencial en la eliminación de pesticidas, betabloqueantes y productos farmacéuticos (Guo et al., 2017).

Ozonización: proceso que consiste en la adición del ozono (O_3) para dar lugar a la biodegradabilidad de compuestos en aguas residuales. Este proceso implica la producción de especies de oxígeno altamente reactivas que atacan a los contaminantes presentes en aguas residuales (Kashif et al., 2021), siendo eficientes para la eliminación de productos de cuidado personal y productos farmacéuticos (Ahmed et al., 2021), fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados y aromáticos (Castellanos & Tusarma, 2014). Tiene la desventaja de que su vida media es limitada por lo que generalmente se aplica en “in situ” por lo tanto es una técnica muy costosa (Poblet, 2017).

2.5 Implicaciones de los contaminantes emergentes

La diversidad de contaminantes emergentes y la facilidad con la que pueden combinarse con otros elementos químicos de un entorno natural determinado, aumenta significativamente su permanencia y resistencia ante ciertos procesos que buscan removerlos de manera completa (Aclimar, 2018). Por otro lado, varias investigaciones desarrolladas a nivel mundial, han permitido establecer que dicha realidad, trae consigo una serie de implicaciones, entre las que se detallan a continuación:

2.5.1 Impacto de los contaminantes emergentes en los seres vivos.

En la actualidad, se ha podido comprobar que hay una significativa acumulación de los contaminantes emergentes en los diferentes ecosistemas que nos rodean, y si bien su nivel de concentración es relativamente bajo, no dejan de ser riesgosos para la salud de diversos organismos vivos.

Los contaminantes emergentes tienen la capacidad de alterar las funciones endocrinas de los seres vivos, situación que altera las funciones hormonales y por ende condiciona el estado de salud del ser humano y las diversas especies de animales asentadas en un ecosistema

determinado. En algunas especies de peces causan gónadas intersexuales y disminución de la fecundidad (Reinoso et al., 2017).

Por otro lado, también están asociados a la resistencia en patógenos bacterianos, la aparición de significativas irritaciones de la piel, alteraciones sobre el sistema endocrino, mayor prevalencia de alergias, alteración del metabolismo e incidencia en la aparición de tumores malignos, puede afectar a la tiroides, próstata, cáncer de testículos y además afecta la fertilidad, lactancia, provoca enfermedades gastrointestinales, retraso de crecimiento en niños, etc (Ahmed et al., 2021; Reinoso et al., 2017).

En la (Figura 15) se presenta las principales enfermedades que son provocadas por la exposición a los contaminantes emergentes que se encuentran en productos de cuidado personal, retardante de llama bromados, pesticidas y productos farmacéuticos.

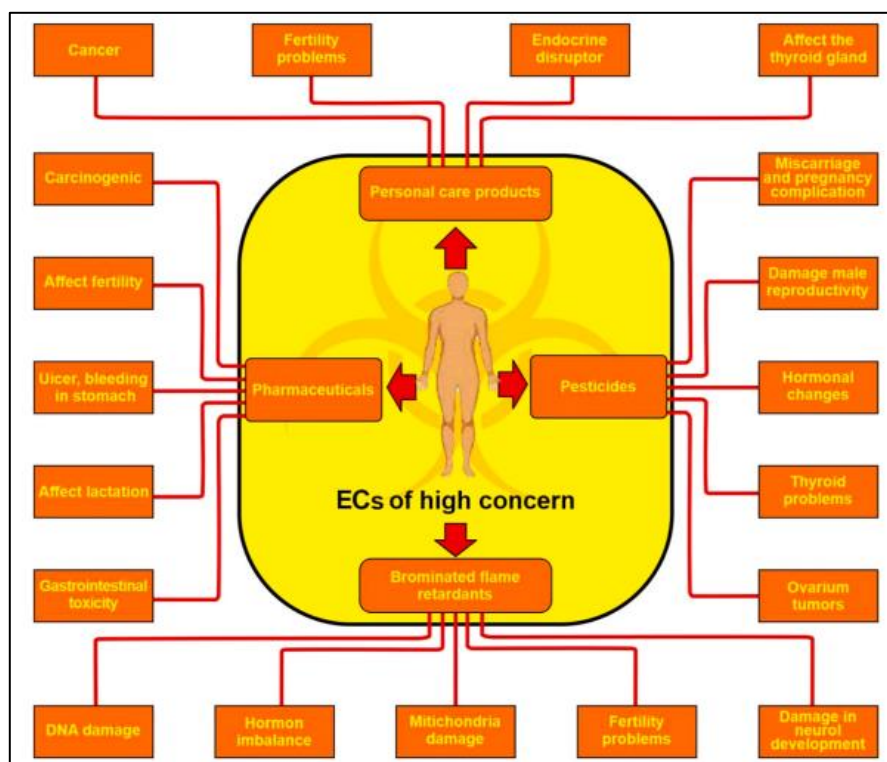


Figura 15. Enfermedades producidas por la exposición a contaminantes emergentes en el ser humano.

Fuente: (Ahmed et al., 2021).

CAPÍTULO 3

3 Contaminantes emergentes en la industria láctea

La leche y los productos lácteos pueden contaminarse por metales pesados y dioxinas que son difíciles de controlar, así como también de residuos de productos agrícolas, veterinarios e higiénicos que son utilizados para proporcionar leche de calidad, sin embargo, estos dejan residuos de contaminantes en productos lácteos terminados (Fischer et al., 2011).

Por otra parte, la leche también puede contaminarse con residuos de plaguicidas que son productos utilizados para mitigar, repelar o eliminar malezas de ciertos cultivos, muchos de estos cultivos son destinados para la alimentación de las vacas o con medicamentos, como los antibióticos que son suministrados para tratamientos como la mastitis e infecciones. Así mismo, las leches también pueden contaminarse empezando desde los equipos de ordeño hasta equipos utilizados para la elaboración del producto final debido a la limpieza de estos con detergentes y desinfectantes (Khaniki, 2007).

También se puede contaminar por el uso de insecticidas como el clorpirifos, diazinón y el malatión empleados para controlar cucarachas en la fábrica (Fischer et al., 2011). De la misma manera, la leche puede ser contaminada con micotoxinas que pueden estar presentes en el alimento del ganado y ser liberadas en la leche. Tanto las micotoxinas como los antibióticos a pesar de los tratamientos térmicos como la pasteurización y ultrapasteurización de leche no son eliminados, en consecuencia se encuentran también en productos lácteos terminados (Ruiz et al., 2017).

Estos contaminantes al tratarse de compuestos liposolubles pueden acumularse en el tejido adiposo o grasa corporal (como los pesticidas organoclorados) o se almacenan en la grasa de la leche y luego se transfieren a los productos lácteos. Los compuestos lipofílicos pueden ser excretados por la orina (Khaniki, 2007).

Los contaminantes mencionados anteriormente llegan a la leche de manera directa e indirecta (Figura 16), en donde se observan los residuos que corresponden a la contaminación directa y la contaminación indirecta.

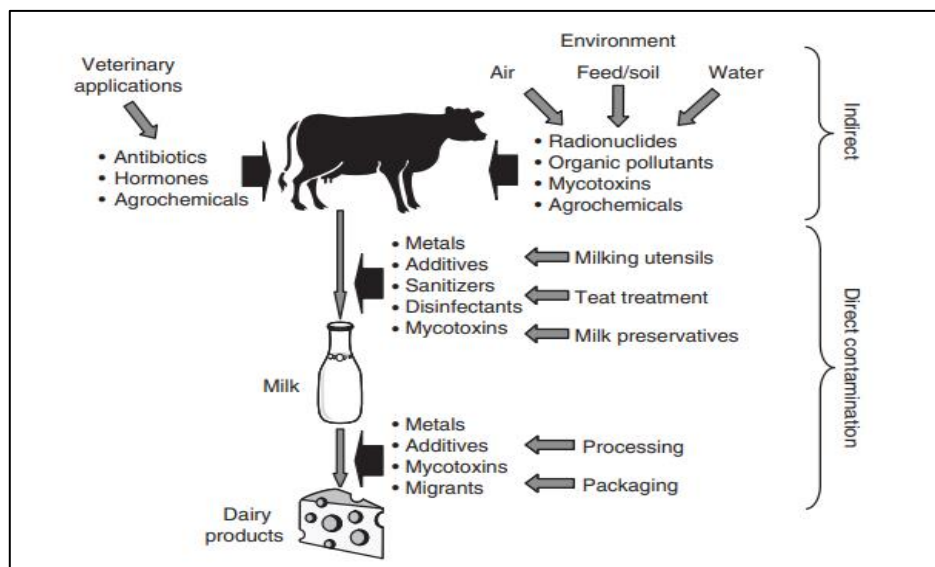


Figura 16. Vías de contaminación y sustancias contaminantes de la leche y productos lácteos.

Fuente: (Fischer et al., 2011).

De todas las industrias alimentarias hoy en día la industria láctea es considerada una de las industrias que generan mayor cantidad de aguas residuales. Las aguas y lodos residuales que contienen contaminantes emergentes debido a la limpieza y desinfección de los pisos, equipos y envases, los derrames de leche, lactosuero, salmuera y trozos de quesos que contienen residuos de detergentes, desinfectantes (Kamble et al., 2020), antibióticos, pesticidas, hormonas y microplásticos los cuales se detallan a continuación.

3.1 Principales contaminantes emergentes producidos por el uso de diferentes compuestos para la obtención de leche y productos lácteos.

A continuación, se van a detallar los diferentes compuestos utilizados desde en una granja lechera hasta una fábrica láctea y los diferentes residuos de contaminantes que estos producen.

3.1.1 Detergentes

El proceso de limpieza en la industria láctea empieza con: una limpieza física que consiste en eliminar los sólidos visibles, una limpieza química que consiste en eliminar no solo los residuos visibles sino también los residuos microscópicos con detergentes químicos, una limpieza bacteriológica con la utilización de un desinfectante y una limpieza esterilizante para eliminar todos los microorganismos (Gosta, 2003).

Entre los detergentes que las industrias lácteas utilizan se encuentran:

Detergentes ácidos: son aquellos que tienen un pH inferior al neutro. Dentro de este grupo de detergentes está el ácido clorhídrico, fosfórico, nítrico (Acosta, 2008), glucónico, tartárico acético, cítrico y sulfónico siendo este último importante para eliminar escamas en pasteurizadores, tanques de almacenamiento, evaporadores y lavado de botellas o equipos que tengan incrustaciones (Betoret et al., 2021). La concentración adecuada de un agente ácido es de 0,5 a 2% a una temperatura entre 60 a 90°C en un tiempo de 5 a 45 minutos (Vlková et al., 2008).

En el caso de los detergentes que contienen ácido fosfórico y se emplean en las operaciones de limpieza contienen del 10 al 20% de fósforo (CAR/PL, 2002), y para detergentes ácidos de una sola fase contienen entre 0.1- 0.2 % de fosforo (Canales, 2005).

Estos elementos, son utilizados en las industrias lácteas porque tienen el poder de eliminar residuos minerales (piedra de la leche que es un depósito de proteínas, carbonato cálcico y otras sales) (Forsythe & Hayes, 1999). Los detergentes utilizados para el lavado de botellas son el ácido clorhídrico, sulfúrico y nítrico, sin embargo, estos tienen carácter corrosivo (Acosta, 2008).

Detergentes alcalinos: tienen un pH comprendido entre 8 y 14, siendo utilizados en la industria láctea por su poder para la eliminación de residuos proteicos y grasos; es decir tienen la capacidad de saponificar las grasas. Dentro de este grupo de detergentes están el

hidróxido de sodio (sosa cáustica), fosfato de sodio, metasilicato de sodio y carbonato de sodio (Forsythe & Hayes, 1999). En el caso de los detergentes alcalinos que contienen fósforo este debería estar entre 0.2-0.3% (Canales, 2005).

- **Hidróxido de sodio (NaOH)**

El hidróxido de sodio es utilizado para la limpieza de equipos de ordeño, tanques de almacenamiento, tuberías, tanques de fermentación, entre otros que son empleados en la industria láctea. Sin embargo, tiene la desventaja de un bajo poder de humectación y penetración lo que lo convierte en un limpiador ineficaz de superficies metálicas; además, causa dermatitis en los operarios de limpieza que están en frecuente exposición a este agente químico (Masli, 1962). La concentración eficaz en una solución es de 1 a 1,5% a una temperatura entre 75 a 80°C durante 6 a 45 minutos (Vlková et al., 2008).

Para equipos como los intercambiadores de calor tubulares y de tipo placa el hidróxido de sodio se utiliza en concentraciones más altas (5%), debido a que en estos equipos se encuentran proteínas quemadas de leche (Amitha & Sathian, 2014). Cabe mencionar que el ácido no se debe aplicar antes que el hidróxido debido a que este tiende a precipitar las proteínas y esto impediría una correcta limpieza. Para que el NaOH tenga buen contacto con la película de suciedad se debe añadir un agente humectante aniónico como el alquil aril sulfonato (Gosta, 2003).

- **Metasilicato sódico**

Es un buen agente de limpieza, ya que reúne ciertas capacidades dispersantes y emulsificantes eficaces; además son fáciles de enjuagar y no son corrosivos (Forsythe & Hayes, 1999). Esta sustancia es utilizada para elaborar detergentes ya sea líquido o en polvo por su poder de remover aceites, grasas y cebos. También sirve como agente de taponamiento debido a que después de remover la suciedad este impide que vuelva a absorberse y por lo tanto sea fácil de enjuagar (PROQUINSA, 2021a).

Gracias a sus propiedades es utilizado en la industria de alimentos y bebidas, para lavandería industrial y hospitalaria, para el lavado de ropa, lavavajillas, blanqueo de textiles, cerámica, papelera y lavado de frigoríficos (Prochteca, 2021).

- **Carbonato sódico (Na_2CO_3)**

También conocido como ceniza de soda, se ha empleado para disolver incrustaciones orgánicas y mugre en general, es económico y medianamente alcalino (Beltrán & Valenzuela, 2009). Es un polvo cristalino soluble en agua con punto de fusión de 852°C , tiene propiedades alcanizantes y al combinarse con agua forma el hidróxido de sodio y ácido carbónico, no se oxida y por lo tanto no se degrada por acción de organismos biológicos (PCC Group, 2021).

Se trata de una sustancia poco corrosiva y no irritante que precipita las sales magnésicas y cálcicas de aguas duras (Forsythe & Hayes, 1999). Es utilizado en la industria para la elaboración de detergentes que entran en contacto con la piel (NTC, 2004), como jabones, champús, además se utiliza en la fabricación de papel, cosméticos y fundición de vidrios (PCC Group, 2021).

- **Fosfato trisódico (Na_2PO_4)**

Es una sustancia con excelente poder emulsionante y saponificante, algo corrosivo, es decir, que no se puede utilizar para el lavado de materiales de aluminio. Está en el grupo de los detergentes alcalinos debido a su reacción con el agua para producir iones de hidróxido (Forsythe & Hayes, 1999). También es considerado por tener gran solubilidad y alto poder defloculante, es corrosivo con el estaño a menos que se encuentre presente el metasilicato de sodio, para usar esta sustancia la concentración debe estar limitada entre 0,5 y 1% con el fin de minimizar un alto contenido de fosfatos en el agua (Robelo, 2005). La acción corrosiva del Na_2PO_4 se puede reducir cuando se añade cantidades pequeñas de cromato de sodio, perborato de sodio y metasilicato de sodio (Rogers & Evans, 1936).

- **Bicarbonato de sodio (NaHCO_3)**

Es un agente alcalinizante con densidad de 2173 kg/m^3 , sólido cristalino, soluble en agua y por su poder abrasiva sirve como agente de limpieza y desinfección, también es empleado como blanqueador dental, agente desodorante y para malestares estomacales (SIN, 2012). En la industria de alimentos sus usos principales son: para productos derivados de harina de trigo, polvo de hornear, salsa de tomate y para formular bebidas. En la industria láctea el NaHCO_3 se utiliza como conservador y potenciador de pH, evitando la precipitación de mezclas en la elaboración de diferentes tipos de leche y además es empleado como agente de limpieza (PROQUINSA, 2021b).

Agentes complejantes: son añadidos a los detergentes para reducir la precipitación del agua dura y para disolver sales de calcio y magnesio. Los agentes complejantes más utilizados son: el ácido nitrilotriacético (NTA)(Torrecilla, 2011) y el ácido etilendiaminatetraacético (EDTA) (Corbatón, 2015).

El EDTA y el NTA se utilizan en la formulación de detergentes líquidos, el primero es un compuesto muy caro pero eficaz, mientras que el segundo en relación entre precio y eficacia resulta ser mejor (Forsythe & Hayes, 1999).

- **Ácido etilendiaminatetraacético (EDTA)**

Es una sustancia blanca, cristalina, insoluble en agua y sin olor, con peso molecular de 292,98 y punto de fusión de 2401°C . En la industria alimentaria se usa como aditivo en diferentes productos de consumo, además es usado en productos farmacéuticos, pesticidas, desinfectantes, jabones, champús, cosméticos y en la elaboración de fertilizantes. Tiene la capacidad de unirse a iones de plomo actuando como un antídoto para la intoxicación por este metal, también se utiliza para tratar enfermedades cardiovasculares (Barton, 2014).

Las vías de exposición del EDTA es por ingestión y contacto dérmico, no es metabolizado por el cuerpo humano y es excretado rápidamente por la orina, el contacto con EDTA puede irritar la piel, los ojos, la nariz y garganta. Por otro lado, el EDTA es uno de los contaminantes

orgánicos que se encuentran vertidos en aguas recogidas de muchas áreas industriales lo que afecta a todo el medio ambiente incluyendo algas e invertebrados (Barton, 2014). En la industria láctea se emplea el ácido etilendiaminotetraacético de sodio (EDTANa) el cual es capaz de secuestrar residuos minerales como el calcio y así prevenir la formación de depósitos de la leche en las superficies de equipos de acero inoxidable (Salustiano et al., 2010).

- **Ácido nitrilotriacético (NTA)**

Es un compuesto sólido, blanco y cristalino que es utilizado como agente quelante y eluyente, generalmente se encuentra en detergentes para ropa. La exposición a este compuesto puede provocar irritación a la piel, los ojos y a la vía respiratoria. Además, provoca daños a los riñones y vejiga (NCBI, 2022). Es una sustancia que se emplea para el tratamiento del agua de las calderas con el fin de evitar la formación de incrustaciones de minerales (WHO, 1996). ATEI NTA en comparación con el EDTA resulta tener una alta biodegradabilidad y baja toxicidad siendo más amigable con el medio ambiente (García, 2021).

Surfactantes

Tienen una estructura molecular formada por una parte hidrofílica (atraído por el agua) y otra hidrofóbica (atraído por grasas y aceites), tienen buen poder emulsionante, humectante, penetrante, solubles en agua fría, no son corrosivos ni irritantes, son fácilmente removidos por el agua y estables a condiciones ácidas y alcalinas (Forsythe & Hayes, 1999).

Los surfactantes utilizados en la industria de alimentos según la naturaleza del grupo hidrofílico se clasifican en dos grupos: iónicos y no iónicos. Dentro del grupo iónico se encuentran los tensoactivos aniónicos, catiónicos y anfóteros (Roque, 2020).

- **Tensoactivos aniónicos:** Son aquellos utilizados para formular detergentes en polvo.

Tienen un extremo polar con carga negativa formado por sulfato o sulfonato, todos los

tensoactivos aniónicos forman gran cantidad de espuma y dentro de este grupo de tensoactivos podemos encontrar (Gabilán, 2011):

- Alquilbencenosulfonato sódico
- Lauril sulfato sódico
- Lauril etoxilato sulfato sódico

En la industria láctea, debido a su alto contenido de calcio en sustancias a tratar impide la utilización de tensoactivos aniónicos. Los tensoactivos más utilizados son del grupo no iónico con altos contenidos de ácido fosfórico, que son ideales para disolver las sales de calcio (Salager, 1988).

- **Tensoactivos catiónicos:** son detergentes que tienen carga positiva debido a que están formados por uno o más grupos hidrófobos (cadenas alquílicas) unido a un átomo de nitrógeno cuaternario hidrófilo (Herrera,2016). Frente a los microorganismos ejercen su actividad biológica desintegrando las membranas de los mismos por medio de la interacción electrostática e hidrofóbica (Zhou & Wang, 2019). Los tensoactivos más importantes que pertenecen a este grupo son (Forsythe & Hayes, 1999):
 - Sales de amonio cuaternarios
 - Alquil imidazolinas
 - Aminas etoxiladas
- **Tensoactivos anfóteros:** estos detergentes dependiendo del pH en el que se encuentre pueden tomar una carga positiva o negativa (Fait et al., 2019), por ejemplo: en un pH alcalino actúa de manera aniónica y a un pH ácido de forma catiónica (Kosswig, 2012). Estos tensoactivos debido a sus propiedades dermatológicas principalmente son incorporados en la formulación de champús y productos de higiene personal (Boveri, 2012). Son buenos emulsionantes y con alto poder bactericida. Los más importantes son (Forsythe & Hayes, 1999):
 - Dodecil diaminoetilglicina

- Ácido etil- β -oxipropiónico imidazolina
- **Tensoactivos no iónicos:** son buenos detergentes humectantes y emulsionantes con bajo poder espumante (Herrera, 2016). Algunos presentan baja toxicidad y son utilizados en la elaboración de cosméticos, fármacos y alimentos. Son solubles en agua y empleados en detergentes líquidos (Portuguez, 2019). Los tensoactivos más utilizados son (Forsythe & Hayes, 1999):
 - Lauril alcohol etoxilato
 - Etoxilato de nonilfenol

Estos tensoactivos se usan para el lavado de la ubre de la vaca y de membranas que ayudan a separar impurezas lo cual puede generar residuos en la leche o en productos lácteos si no se enjuaga bien. Dichos residuos llegan al medio ambiente por las descargas en aguas residuales afectando a los animales acuáticos, provocando irritaciones a la piel y ojos en los humanos y además se les considera disruptores endócrinos (Schacht, 2021).

En la (Tabla 6) se muestra una clasificación de los detergentes ácidos, alcalinos, agentes complejantes y surfactantes utilizados en la industria láctea.

Tabla 6. Clasificación de los detergentes utilizados en la industria láctea.

Detergentes ácidos	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido fosfórico (H_3PO_4) • Ácido tartárico ($C_4H_6O_6$) • Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) • Ácido nítrico (HNO_3) • Ácido clorhídrico (HCl) • Ácido glucónico ($C_6H_{12}O_7$) • Ácido acético (CH_3COOH) • Ácido sulfónico ($H-S(=O)_2-OH$) • Ácido sulfúrico (H_2SO_4.) • Ácido fórmico (H-COOH) • Ácido sulfámico (H_3NSO_3.)
---------------------------	---

Detergentes alcalinos	<ul style="list-style-type: none"> • Hidróxido de sodio (NaOH) • Hidróxido de potasio (KOH) • Fosfato trisódico (Na_3PO_4) • Bicarbonato de Sodio (NaHCO_3) • Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) • Metasilicato sódico (Na_2SiO_3) 	
Agentes complejantes	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido etilendiaminatetraacético (EDTA) • Ácido nitrilotriacético ($\text{C}_6\text{H}_9\text{NO}_6$) • Hexametáfosfato sódico ($(\text{NaPO}_3)_6$) • Tripolifosfato sódico ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) • Pirofosfato tetrasódico ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 	
Surfactantes	Tensoactivos aniónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Alquilbencenosulfonato sódico • Lauril sulfato sódico • Lauril etoxilato sulfato sódico
	Tensoactivos catiónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Sales de amonio cuaternarios • Alquil imidazolinas • Aminas etoxiladas
	Tensoactivos no iónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Lauril alcohol etoxilato • Nonil fenol etoxilato
	Tensoactivos anfóteros	<ul style="list-style-type: none"> • Dodecil diaminoetilglicina • Ácido etil-β-oxipropiónico imidazolina

3.1.1.1 Proceso de desinfección en la industria láctea

Los equipos e instalaciones de la industria láctea tienen lugar a desinfectarse de dos maneras (Gosta, 2003):

1. Desinfección térmica: utilizando agua hirviente, caliente o a vapor
2. Desinfección química: utilizando cloro, ácidos, yodóforos, peróxido de hidrógeno, entre otros.

3.1.1.2 Desinfectantes utilizados en la industria láctea

Los desinfectantes más utilizados en la industria láctea son agentes clorados (Hipoclorito de sodio, hipoclorito cálcico y dióxido de cloro), cloraminas y yodóforos detallados a continuación.

Hipoclorito de sodio: es un agente con carácter oxidante fuerte y actúa como agente de blanqueo y desinfección. Se clasifican en hipoclorito de sodio de uso doméstico con 5 y 5.5% de cloro disponible e hipoclorito de sodio de uso comercial que contiene entre 10 y 15 % de cloro disponible (Ramírez, 2010). Su uso es activo contra una amplia gama de microorganismos (bacterias Gram positivas y Gram negativas, esporas bacterianas y virus) (Amitha & Sathian, 2014).

Hipoclorito cálcico: es empleado en la industria alimentaria como desinfectante, contiene el 30% de cloro disponible, debido a su contenido de cloro provoca irritaciones sobre la piel. Por esta razón las concentraciones a usar deben estar entre 50 y 200 ppm con un tiempo de exposición de 3 a 30 minutos (Forsythe & Hayes, 1999).

Dióxido de cloro: tiene capacidad biocida mayor que el cloro y sus derivados, se usa como blanqueador en la elaboración de papel y en plantas de tratamiento para agua potable (ATSDR, 2004). Además, resulta ser eficaz en la eliminación de bacterias, esporas bacterianas, virus, mohos y levaduras, sumado a esto ayuda a eliminar y prevenir la formación de biopelículas microbianas (Santos et al., 2008).

Cloraminas: son sustancias derivadas del amonio por sustitución de uno, dos o tres átomos de hidrógeno con átomos de cloro (Reyes, 2016). Dentro de este grupo se pueden encontrar cloraminas T, cloramina B y dicloramina T, a pesar que estos compuestos tienen cloro disponible entre 25 y 30% son bactericidas débiles en comparación con los hipocloritos, si el pH es menor a 10 son poco irritantes y tóxicos para la piel y mucosa siendo empleados en la desinfección de equipos (Forsythe & Hayes, 1999).

Yodóforos: La concentración a utilizar de esta sustancia es de 10 a 100 ppm de yodo libre a una temperatura de 45°C como máximo son menos corrosivos que los clorados (Mosquera & Crujeira, 2010). Estos compuestos son efectivos frente a bacterias Gram positivas, Gram negativas, mohos, levaduras y virus. No obstante, son poco activos frente a esporas bacterianas (Almonte, 2019).

Además, estos compuestos pueden ser considerados como desinfectantes o detergentes, son utilizados en la industria láctea debido a que su componente de ácido fosfórico ayuda a controlar la llamada piedra de leche, no son corrosivos, tóxicos ni irritantes (Forsythe & Hayes, 1999). Por otro lado, los yodóforos también son utilizados para desinfectar la ubre de la vaca con el fin de evitar la propagación de patógenos que causan mastitis, en máquinas de llenado y envasado, mangueras de goteo e inmersión manual (Hladik et al., 2016).

Los principales desinfectantes utilizados en la industria láctea se encuentran enumerados en la (Tabla 7):

Tabla 7. Desinfectantes utilizados en la industria láctea.

Desinfectante	<ul style="list-style-type: none"> • Hipoclorito de Sodio NaClO • Hipoclorito de calcio (Ca(OCl)₂) • Cloramina T (CH₃C₆H₄SO₂NCINa) • Cloramina B (C₆H₅CINNaO₂S) • Dicloramina T • Yodóforos (I₂) • Dióxido de cloro (ClO₂)
----------------------	---

3.1.2 Antibióticos

Son un grupo de agentes antimicrobianos o sustancias químicas que matan o inhiben la proliferación de microorganismos patógenos. Estos medicamentos son utilizados en vacunos para combatir enfermedades como mastitis, infecciones y la neumonía (Díaz & Pena, 2019), además son administrados para elevar el crecimiento y rendimiento de estos (Fischer et al., 2011).

La mastitis es una inflamación de las glándulas mamarias de vacas lecheras causadas por bacterias como (Leal, 2016):

- *Staphylococcus aureus*
- *Escherichia coli*
- *Streptococcus dysgalactiae*
- *Streptococcus uberis*
- *Arcanobacterium pyogenes*
- *Klebsiella spp*
- Mycoplasmas, levaduras y algas

Por esta razón el uso frecuente de antibióticos es para el control de esta enfermedad en bovinos. Existen dos tipos de mastitis, la mastitis sub- clínica que no presenta ninguna alteración tanto en las glándulas mamarias como en la leche y la mastitis clínica que presenta inflamación, hinchazón y deformación de las glándulas mamarias, por lo tanto, la leche se presenta alterada con formación de coágulos (Cheng & Han, 2020).

El uso excesivo de antibióticos para combatir la mastitis bovina genera residuos de antibióticos en la leche, los cuales durante el procesamiento afectan los cultivos iniciadores utilizados en la producción de derivados lácteos fermentados como el queso y yogurt puesto que son extremadamente sensibles a bajas concentraciones de antibióticos en la leche (Noa et al., 2021), afectando principalmente a la bacteria láctica *estreptococos* (Alais, 1984).

La aparición de residuos de antibióticos en la leche se debe a que no se respeta los determinados tiempos para su eliminación o por administrar dosis excesivas de estos medicamentos (Salas et al., 2013). En la (Tabla 8) se encuentran detallados los tiempos de retiro de los antibióticos de la familia de los betalactámicos y tetraciclinas (Caracundo, 2019):

Tabla 8. *Tiempos de retiro de antibióticos de la leche.*

Antibiótico	Tiempo
Betalactámicos (penicilina G, sódica y potásica)	5 a 7 días
Oxacilina y nafcilina	4 ordeñadas
Ampicilina	48 horas
Amoxicilina	96 horas
Cloxacilina y dicloxacilina	48 horas
Cefalosporina	Sin residuos
Tetraciclinas	5 a 10 días
Oxitetraciclina	2 días
Ceftiofur	0 días

Entre los antibióticos más importantes aplicados al ganado lechero se encuentran los betalactámicos, tetraciclinas, aminoglucósidos, quinolonas, macrólidos y sulfanomidas. Estos antibióticos son administrados por diferentes vías: vía oral (alimento y agua), vía infusión intramamaria (suministrado en la ubre), vía intrauterina (lavados uterinos), por vía dérmica (piel) y vía parenteral (intramuscular e intravenosa). En todos estos casos pueden aparecer residuos de antibióticos en la leche y productos lácteos (Khaniki, 2007) que dependiendo de su carácter fisicoquímico y capacidad de integrarse con la grasa de la leche, dichos residuos tienden a acumularse más en productos lácteos con mayor contenido de grasa (Shi et al., 2021).

Uno de los antibióticos más usados a nivel mundial son las tetraciclinas las cuales inhiben el crecimiento de bacilos y cocos “Gram positivos” y bacilos “Gram negativos”, además, son muy usados para tratar infecciones, enteritis bacterianas, metritis, entre otras enfermedades del ganado vacuno. Sumado a esto, otro antibiótico más usado son los betalactámicos que

engloba las penicilinas y cefalosporinas, estos son eficaces contra la mastitis que son causadas por bacterias estafilococos y estreptococos (Occhi, 2012).

Por otro lado, las sulfonamidas son antibióticos derivados de la sulfanilamida que tienen poder anfótero, son poco solubles en agua y orina, pero presentan mayor solubilidad en suero. Son aplicados para la prevención y tratamiento de enfermedades bacterianas debido a que son eficaces para tratar las primeras etapas de infecciones agudas (Paredes, 2010). También se emplean antibióticos como los aminoglucósidos que tienen actividad bactericida y actúan frente a bacilos “Gram negativos” aerobios del género *enterobacteriaceae* y bacilos no fermentadores (*pseudomona aeruginosa* y *acinetobacter spp*), además presentan eficiencia frente a algunos micoplasmas y micobacterias (Gasparotti, 2011).

Adicionalmente se emplean macrólidos que resultan eficaces para el tratamiento de infecciones provocadas por cocos “Gram positivos” y debido a su baja toxicidad son los más utilizados para tratamientos de infecciones. Por último las quinolonas que son sustancias anfóteras y liposolubles actúan sobre un amplio espectro de bacterias Gram negativas (*Pseudomonas aeruginosa*) y Gram positivas (*estreptococos*) (Gasparotti, 2011).

En la (Tabla 9) se presenta los diferentes tipos de antibióticos más utilizados en el ganado lechero y las enfermedades que tienden a controlar (Archimbault, 1983; Leal, 2016; Occhi, 2012; Paredes, 2010).

Tabla 9. Clasificación de antibióticos suministrados a los vacunos y enfermedades que controlan.

ANTIBIÓTICOS		ENFERMEDADES QUE CONTROLAN
Betalactámicos		-Mastitis -Artritis -Infecciones respiratorias
Penicilinas Naturales	- Penicilina G: sódica, potásica, procaínica y benzatínica.	
Penicilinas sintéticas	-Ampicilinas, amoxicilina. - Antiéstafilocóccicas: cloxacilina, oxacilina, nafcilina, y meticilina.	

Cefalosporinas	-Cefalotina, cefalonio, cefquinoma, cefapirina, cefalexina, cefaloridina, cefacetilo, ceftiofur, cefadroxilo, y cefoperazona.	
Penicilina de amplio espectro	-Carbenicilina, Piperacilina	
Antibióticos sulfonamidas		
Uso habitual	-Sulfametazina, sulfadiazina y sulfatiazol	Infección del tracto urinario Prostatitis
Muy solubles (urinarias)	-Sulfisoxazol y sulfasomidina	Mastitis Metritis
Poco solubles (Entéricas)	Succinilsulfatiazol y sulfaguanidina	Otitis media Diarrea bacteriana
Potenciadas	Sulfonamidas y diaminopirimidinas.	Neumocistosis Tuberculosis
Uso tópico	Sulfacetamida y sulfadiazina de plata	Infecciones
Antibióticos Tetraciclinas		
Tetraciclinas Naturales	-Oxitetraciclina y clortetraciclina	Enteritis Infecciones urogenitales Mastitis Metritis
Tetraciclinas Semisintéticas	-Tetraciclina, doxiciclina, minociclina, rolitetraciclina, demetilclortetraciclina y metaciclina	Neumonía Bronquitis Infecciones genitourinarias
Quinolonas		
Primera generación	Ácido nalidíxico, ácido pipemídico, ácido oxocínico	Enteritis neonatal Enfermedades respiratorias
Segunda generación	-Flumequina, ciprofloxacina, norfloxacina	Mastitis colibacilar Diarrea
Tercera generación	-Enrofloxacin, danofloxacin y sarafloxacin	
OTROS		
Lincosamidas	-Lincomicina y pirlimicina	Infecciones respiratorias
Macrólidos	-Tilosina, eritromicina, claritromicina, deshidroeritromicina y espiramicina	Infecciones respiratorias y digestivas Tratamiento de difteria Mastitis Metritis Abscesos Hepáticos

Aminoglucósidos	-Estreptomina, gentamicina. dihidroestreptomina, neomicina, kanamicina, tobramicina y apramicina.	Afecciones urogenitales Broncopulmonares Mastitis Diarrea Endometritis Septicemias
------------------------	--	---

Los antibióticos que frecuentemente se encuentran en aguas residuales son: los betalactámicos, las tetraciclinas, los macrólidos, los aminoglucósidos, fluoroquinolonas, entre otros (Cartagena, 2011).

3.1.3 Hormonas

Las hormonas en el ganado vacuno pueden ser administradas con el fin de promover el crecimiento, aumentar la producción de leche y mejorar el rendimiento productivo. Los animales pueden excretar hormonas esteroides dependiendo de la salud, el peso y la preñez (Shi et al., 2021). La aparición de hormonas en granjas lecheras empieza con las vacas lactantes debido a que generan hormonas estrogénicas o por la inyección de otras hormonas, sin embargo, esto trae consecuencias a la salud humana y al medio ambiente (Ruíz, 2014).

Las hormonas se clasifican en naturales y sintéticas, dentro de las hormonas naturales se encuentran la estrona, estradiol, testosterona y progesterona. Entre las hormonas sintéticas se hallan los acetato de trembolona, etinilestradiol y zeranol que pueden ser aplicados a los bovinos para mejorar el crecimiento y mayor engorde (Ivanic, 2022).

Por lo general la leche es la fuente principal de hormonas esteroides ya que generalmente se encuentran en una concentración entre 40 a 500 µg/kg. Las hormonas esteroides entran a los efluentes residuales a través de residuos de leches generados en el procesamiento de productos lácteos (Shi et al., 2021).

Entre las hormonas más empleadas en el ganado vacuno se encuentra la somatotropina bovina (BST), hormona producida por la glándula pituitaria de los bovinos que ayuda en el crecimiento y metabolismo de grasas, proteínas e hidratos de carbono y la BST recombinante

(rBST) que mejora la producción de leche, sin embargo, estudios realizados de rBST han demostrado que aumentan la presencia de mastitis, trastornos alimenticios y reproductivos (Fischer et al., 2011).

3.1.4 Pesticidas

Los insecticidas, herbicidas, rodenticidas, y fungicidas son sustancias aplicadas a los cultivos destinados a la alimentación de los bovinos o para eliminar plagas dentro de una planta de lácteos (Shi et al., 2021). Entre los insecticidas más persistentes en el medio ambiente y resistentes a la biodegradación se encuentra el 1,1,1-tricloro 2,2-bis(4-clorofenil)etano (DDT), endrín y el hexaclorobenceno (HCB) llamados contaminantes orgánicos que pueden ser los principales causantes de cáncer en humanos (Fischer et al., 2011).

Estos compuestos debido a su carácter lipofílico se acumulan en toda la biosfera. Las fuentes principales de estos contaminantes son: el agua, suelo, los alimentos de los animales y los tratamientos de las vacas lecheras. Los plaguicidas se administran ya sea por vía oral, cutánea o por inhalación que en consecuencia, estos compuestos son absorbidos, metabolizados y finalmente excretados en la leche del animal (Fischer et al., 2011). Estos contaminantes entran en las aguas residuales a través de la eliminación de leche residual en la planta procesadora (Shi et al., 2021).

Los plaguicidas utilizados frecuentemente en bovinos son: organofosforados, carbamatos y los piretroides generalmente administrados por vía oral o cutánea, los cuales tienen afinidad por la grasa de la leche que en consecuencia pueden bioacumularse en los productos lácteos. Los residuos de plaguicidas aplicados a los cultivos se acumulan en el medio ambiente por volatilización de sus metabolitos, lixiviación y escorrentías de las aguas que pueden acumularse en las vacas a través de los alimentos o del agua ingerido (Shi et al., 2021).

Los residuos de estos plaguicidas pueden persistir en el medio ambiente y provocar contaminación a lo largo de la cadena alimentaria (Khaniki, 2007). El contacto directo de

plaguicidas al momento de su aplicación o contacto indirecto por ingesta de residuos de plaguicidas provenientes del agua o alimentos causa efectos tóxicos agudos o crónicos en la salud humana, además provocan daños a especies acuáticas cuando estas sustancias entran en aguas subterráneas (Wang et al., 2019).

3.1.5 Microplásticos

Los microplásticos son contaminantes emergentes antropogénicos que, en consecuencia, se encuentran distribuidos en todo el medio ambiente. La procedencia de estos contaminantes es principalmente de las fibras de textiles, procesos industriales y productos de cuidado personal (Shi et al., 2021). La contaminación de los productos lácteos por microplásticos puede presentarse durante el ordeño, en esta etapa el proceso de ordeño consiste en utilizar equipos que están diseñados con tubos PVC que contienen plastificantes (ftalatos) los cuales pueden ser transferidos a la leche (Van et al., 2017).

Además, durante el procesamiento de la leche los posibles riesgos de contaminación de esta por microplásticos pueden producirse por la falta de limpieza de los equipos, el entorno circundante, condiciones de suministro de agua y la manipulación inadecuada de la leche (Kutralam et al., 2020). Adicionalmente la contaminación de productos lácteos con estos contaminantes puede darse durante la etapa de envasado (Costa et al., 2021).

3.2 Fuente de los contaminantes emergentes generados por la industria láctea y su ingreso al medio ambiente.

Todos los compuestos antes mencionados ingresan a la leche y a productos lácteos terminados a través de diferentes vías a lo largo de cada proceso de elaboración y finalmente pueden acumularse en los lodos y/o aguas residuales generados por la industria láctea. Tal es el caso de productos veterinarios aplicados a las vacas lecheras, el uso de plaguicidas para el mantenimiento de pastos y eliminación de insectos, los componentes de estas sustancias pueden ser absorbidos por el bovino y excretados en la leche que posteriormente ingresan a las aguas residuales de la industria láctea después de cada proceso realizado en una planta procesadora de lácteos como se observa en la (Figura 17) (Shi et al., 2021).

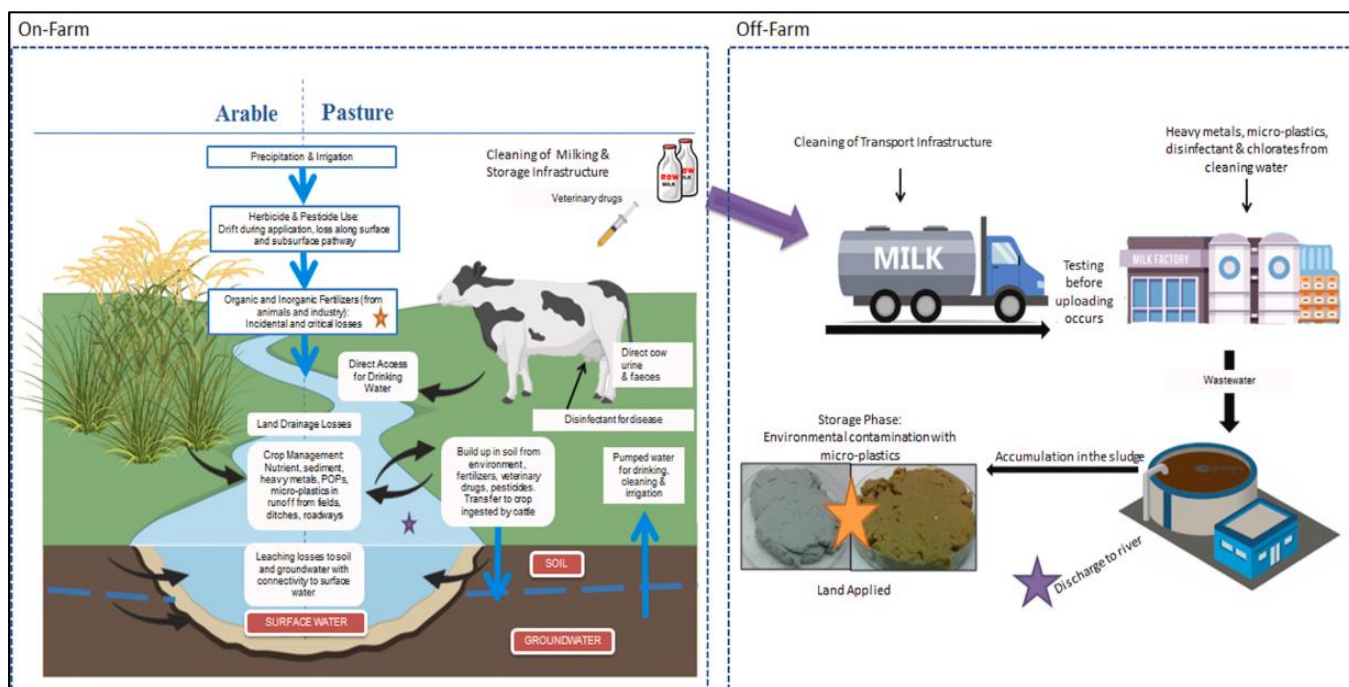


Figura 17. Ruta de los contaminantes emergentes generados por la industria láctea, su fuente e ingreso al medio ambiente.

Fuente: (Shi et al., 2021).

3.2.1 Impactos medioambientales provocados por contaminantes emergentes generados en la industria láctea.

La industria láctea genera impactos negativos al aire, agua, tierra, a la flora y a la fauna,

debido a la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos el cual está asociado de acuerdo al producto lácteo elaborado (Luque et al., 2018). Los indicadores del impacto ambiental dentro de la industria láctea son: gases de efecto invernadero, consumo de agua, consumo de energía, descarga de aguas residuales, uso de productos químicos y la reutilización del agua (Djekic et al., 2014).

Las emisiones de los animales, procesos de cultivo, consumo de energía (desde el proceso de ordeño hasta el almacenamiento de productos lácteos), la gestión de alimentos y desechos generan óxido nitroso y compuestos orgánicos volátiles que conllevan a la contaminación del aire. Además los residuos de las granjas lecheras como los desechos de animales, residuos de antibióticos y hormonas, fertilizantes y pesticidas utilizados para cultivos de alimentos son una fuente de contaminación del agua (Grout et al., 2020).

El consumo de energía total de una industria láctea se reparte en un 80% de energía térmica (combustibles fósiles) y un 20% en energía eléctrica. Dentro de las operaciones con mayor consumo de energía son la pasteurización, esterilización, deshidratación, homogeneización, maduración, batido, amasado entre otros (Canales, 2005).

3.2.2 Etapas generales donde se producen contaminantes emergentes

Las etapas generales que se realizan en la industria láctea constan de: recepción de materia prima, lavado de equipos, envases y materiales, envasado y almacenamiento.

3.2.2.1 Lavado de equipos, envases y materiales

En esta etapa se realiza la limpieza y desinfección de equipos, envases y materiales que se va a utilizar en la fabricación de los distintos productos lácteos, para este proceso se utiliza los detergentes y desinfectantes en concentraciones adecuadas. El agua proveniente de esta etapa contiene residuos alcalinos y químicos, restos de leche, lactosuero, salmuera,

materiales caramelizados de tanques, latas, mantequeras, tinas, tuberías, pisos y paredes (Valencia & Ramírez, 2009).

3.2.2.2 Recepción de materia prima

Este proceso consiste en el vaciado y llenado de la leche en tanques de almacenamiento, en la cual se presentan derrames de leche que pasan a los sistemas de evacuación lo que contribuye a una mayor carga contaminante de aguas procedentes de la industria láctea. La leche es sometida a análisis de calidad y según sea los resultados la leche es aceptada o rechazada, es decir, si la leche no cumple con los requisitos de calidad y existe presencia de sustancias químicas esta es directamente evacuada a los vertidos de aguas residuales (CAR/PL, 2002).

3.2.2.3 Envasado y almacenamiento

En esta etapa se produce la generación de residuos de envases como microplásticos y plastificantes, así como derrames de productos los cuales son arrastrados a aguas residuales después del proceso de limpieza y también el consumo de energía eléctrica es considerable (CAR/PL, 2002).

En la (Tabla 10) se detallan las etapas y requerimientos para llevar a cabo la producción y los residuos contaminantes generados al procesar la leche y elaborar productos lácteos como queso, yogurt y mantequilla.

Tabla 10. Etapas de procesos, sus requerimientos y contaminantes generados en la elaboración de diferentes productos lácteos.

Procesos generales en la industria láctea			
Producto	Etapas de proceso	Requerimiento para el proceso	Contaminantes generados
	Lavado y desinfección de equipos y materiales	Agua Agentes químicos de limpieza Energía térmica Energía eléctrica	-Aguas y lodos residuales -Residuos de detergentes y desinfectantes

-Procesamiento de leche -Queso -Yogurt -Mantequilla			-Envases de agentes de limpieza y desinfección
	Recepción de materia prima	Material para la recepción	Leche derramada con residuos de: -Antibióticos -Pesticidas -Hormonas
	Envasado y Almacenamiento	Energía eléctrica Envases (vidrio, cartón, plástico)	-Microplásticos -Plastificantes

3.2.3 Procesos específicos

Son procesos que se llevan a cabo según el tipo de producto lácteo a elaborar mediante la aplicación de diferentes procedimientos como: pasteurización, esterilización, desuerado, coagulación, etc.

3.2.3.1 Procesos específicos aplicados en la elaboración de productos lácteos y contaminantes generados en cada procedimiento.

El procesamiento térmico de la leche y la elaboración de queso son procesos que causan mayor impacto ambiental. La elaboración de queso es responsable del agotamiento abiótico, agotamiento de la capa de ozono y mayores necesidades energéticas durante el procesamiento, cada etapa de proceso incluido el envasado requiere de aproximadamente 7 a 13 % de energía. (Palmieri et al., 2017). El principal subproducto de la industria láctea es el suero de la quesería que se obtiene luego del proceso de separación o corte de la cuajada. La descarga del lactosuero en el suelo disminuye la producción y genera el fenómeno de lixiviación debido a que el lactosuero contiene nitrógeno soluble en agua lo que afecta a los animales y personas (Valencia & Ramírez, 2009).

En la elaboración de mantequilla, la materia prima más importante es la nata. Durante la fabricación de este producto la crema se centrifuga y el suero de mantequilla se drena

finalmente como agua residual afectando al ecosistema (Kaur, 2021). En la (Tabla 11) se muestran los procesos productivos del procesamiento de leche y productos lácteos (queso, yogurt y mantequilla), sus requerimientos y contaminantes generados durante cada proceso.

Tabla 11. Procesos específicos, requerimientos y contaminantes generados en la elaboración de productos lácteos.

Procesos específicos en la industria láctea			
Producto	Etapas de proceso	Requerimientos para el proceso	Contaminantes generados
Leche tratada térmicamente	Pasteurización	Energía térmica y/o eléctrica	Condensados
	Esterilización y estandarización		
	Ultrapasteurización		
	Homogeneización		
Queso	Temperado	Energía térmica	Condensados
	Inoculación y coagulación	Fermento o enzima Energía térmica	Residuos de: CaCl ₂ , cuajo, colorante sorbato de potasio, nitrato de potasio, carragenina, ácido láctico, lactosuero, cuajada
	Desuerado, moldeado y prensado	Energía eléctrica	Lactosuero
	Salado	Agua Cloruro de sodio	Vertido de salmuera Residuos (sal seca)
Yogurt	Temperado	Energía térmica	Condensados
	Inoculación	Fermento láctico	-----
	Incubación	Energía térmica	Perdida de producto
	Enfriado	Agua de refrigeración Energía eléctrica	-----
Mantequilla	Normalización	Energía eléctrica	Restos de leche
	Neutralización	-----	Restos de NaOH y carbonato sódico
	Pasteurización	Energía térmica y/o eléctrica	Condensados
	Desgasificación	Consumo de energía	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)
	Maduración	Fermentos lácticos Energía eléctrica	-----
	Batido	Energía eléctrica	Mazada
	Desuerado	-----	Suero de mantequilla
	Lavado	Agua	Residuos con restos de mazada
	Amasado	Energía eléctrica Sal y condimentos	Vertido de mazada

Nota: ----- No especifica

3.3 Tratamientos de aguas residuales producidas por la industria láctea

3.3.1 Aguas residuales de la industria láctea

Una de las implicaciones ambientales de mayor connotación dentro de la actividad industrial láctea, es la emanación de grandes cantidades de aguas residuales, efluentes caracterizados por la significativa carga de compuestos contaminantes, que resultan nocivos para el bienestar de todos los organismos vivos asentados en un ecosistema determinado (Valencia & Ramírez, 2009).

La cantidad y las características de las aguas residuales de la industria láctea depende del tamaño de la fábrica, la tecnología aplicada, métodos de limpieza, buenas prácticas de fabricación, entre otros. Es así que más del 90% de sólidos orgánicos de los efluentes provienen de leches derramadas, leches en mal estado, leche desnatada, trozos de cuajada, suero, contaminantes del lavado de camiones de leche, tanques, latas, equipos, botellas y pisos (Kolev, 2017).

Las aguas residuales procedentes de la industria láctea, presentan un elevado contenido graso, fósforo y nitrógeno, por ello, su tratamiento requiere de varias operaciones de nitrificación y desnitrificación que coadyuven de manera efectiva en la remoción de estos efluentes contaminantes (Condorchem, 2018).

El pH de las aguas residuales de la industria láctea está entre un 2 y 12 debido a la cantidad de detergentes ácidos y alcalinos utilizados en la limpieza y desinfección. Si el pH de las aguas residuales se encuentra por debajo de 6,5 o por encima de 10 esta no debe ser descargada en el sistema de tratamiento de aguas residuales debido a que podría causar corrosión en las tuberías (Gosta, 2003). En la (Tabla 12) se muestra el volumen de agua residual generado al procesar un litro de leche ya sea para la elaboración de mantecas, lechería o quesos (Seoáñez, 2003).

Tabla 12. Volumen de las aguas residuales generados por la industria láctea.

Producto	Volumen de agua residual (L) por litro de leche
Centros de recogida	0,5-2
Mantecas	80/Kg de mantequilla
Lechería	1-2
Queso:	
<i>Fabricación</i>	0,6
<i>Limpieza</i>	1-2
<i>Evaporadores</i>	0,6-0,9
<i>Limpieza de instalaciones</i>	0,01

3.3.2 Componentes habituales de las aguas residuales producidas por la industria láctea

Las aguas residuales procedentes de la actividad industrial láctea presentan los siguientes componentes (Kolev, 2017; Tirado et al., 2016):

- Aceites y grasas que derivan de la leche procesada en la elaboración de distintos productos lácteos y el lavado de la mazada que tienen diámetro de gota de 1 a 10 μm .
- Aguas con temperatura variada, por el proceso de refrigeración de varios productos lácteos y sus derivados que varían de entre 17 a 18 °C en invierno y de 22 a 25°C en verano.
- Alta demanda biológica de oxígeno (DBO) oscila de entre 2000 a 3000mg/L y demanda química de oxígeno de 2000 a 4000 mg/L.

En general los componentes de las aguas residuales de la industria láctea son (Seoáñez, 2003):

- Materia orgánica: 63% de la materia seca
- Nitrógeno: 7% de la materia seca
- Ácido fosfórico: 7% de la materia seca
- Potasio: 0,7% de la materia seca
- Metales tóxicos (cantidades mínimas)

3.3.3 Tratamientos de aguas residuales generadas por la industria láctea.

En muchos países los residuos lácteos son evacuados directamente a los ríos provocando un daño considerable al ecosistema. Sin embargo, existen métodos que son aplicados para el tratamiento de aguas residuales generados por la industria láctea tales como: fisicoquímicos, biológicos (Ahmad et al., 2019) y secado de fangos. Cabe recalcar que para aplicar los tratamientos antes mencionados primeramente se debe realizar un pretratamiento.

Pretratamiento

Esta etapa consiste en separar los sólidos gruesos existentes en las aguas residuales que pueden provocar obstrucción, además es necesario el uso de distintos elementos que permitan coagular los contaminantes y controlar el nivel de pH en las aguas residuales, facilitando la separación de los compuestos. Entre los pretratamientos que se debe realizar están (Rodríguez, 2010) :

- Tamizado: consiste en la separación de sólidos gruesos antes del ingreso a las plantas tratadoras de aguas residuales.
- Homogeneización: se instala tanques de tiempo de retención los cuales mezclan aguas residuales acidas y alcalinas.
- Desengrasado: se introduce aire en forma de burbujas en el fondo para que la grasa flote.

Tratamiento fisicoquímico

El desarrollo de este tratamiento destruye y reduce la grasa de la leche y coloides proteicos que están contenidas en las aguas residuales (Kolev, 2017), requiere un ajuste del nivel de pH, para luego ajustar el depósito de regulación y proceder a colocar los reactivos coagulantes y floculantes necesarios en el Flotador con Aire Disuelto. Una vez que ingresen las aguas residuales, estarán expuestas a un sistema de membranas de ultrafiltración (UF), a fin de eliminar de forma completa los aceites y grasas contenidos en dichos efluentes como

se muestra en la (Figura 18) (Condorchem, 2018). Posterior a esto el efluente pretratado se someterá a un tratamiento secundario.

La adición de coagulantes genera la desestabilización de las partículas presentes en aguas residuales, seguida de la colisión de las partículas y formación de flóculos (Ahmad et al., 2019). Entre los coagulantes naturales que se utilizan en la industria láctea para el tratamiento de aguas residuales es la cascarilla de arroz o carbón activado que actúan como bioabsorbentes para la absorción de los efluentes lácteos, además se puede usar coagulantes químicos como el cloruro de polialuminio, cloruro férrico y sulfato de aluminio (Kaur, 2021).

Cuando las aguas residuales pasan al sistema de flotación por aire disuelto se lleva a cabo la separación de materiales no disueltos como sólidos suspendidos, aceites, grasas, partículas floculadas y coaguladas. A través de la formación de burbujas de aire que promueve e incrementa la separación de partículas (SPENA, 2016).

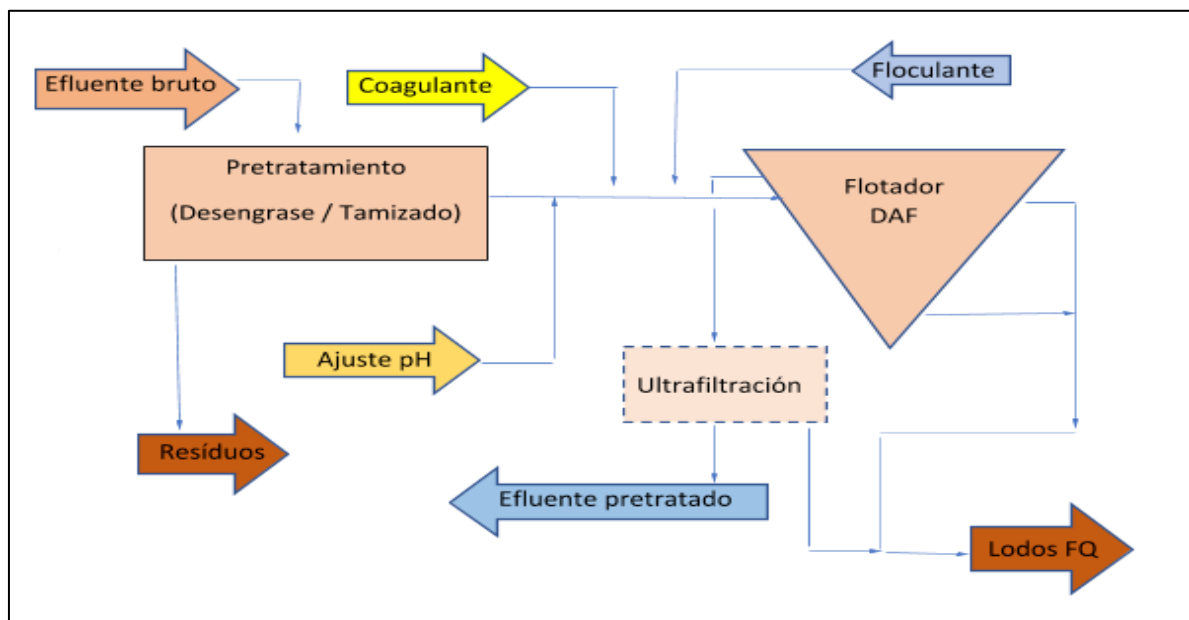


Figura 18. Tratamiento primario de aguas residuales: Desengrase + Tamizado +Fisicoquímico + Ultrafiltración
Fuente: (Condorchem, 2018).

Tratamiento biológico

Es uno de los métodos más confiables para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea. Este tratamiento dependiendo del requerimiento de oxígeno se divide en: proceso aerobio y anaerobio (Kolev, 2017). El proceso aeróbico depende de los microorganismos que se cultivan en presencia de oxígeno, estos oxidan los compuestos orgánicos en dióxido de carbono, agua y material celular. Este método degrada fácilmente el nitrógeno del NH_3 pero es ineficiente en la degradación de fósforo (Ahmad et al., 2019).

Por otra parte en el proceso anaeróbico la materia es transformada por la acción de microorganismos anaerobios y facultativos en gas carbónico y gas metano (Arango & Sanches, 2009). Es un método utilizado para tratar contaminantes orgánicos en aguas residuales de las fábricas lecheras en ausencia de oxígeno. Los tipos de microorganismos anaerobios utilizados en este proceso son cultivos mixtos de bacterias acidogénicas y metanogénicas. El proceso anaerobio tiene ventajas debido a que puede producir energía renovable y son económicos (Joshiba et al., 2019).

En la (Figura 19) se muestra el efluente pretratado obtenido en el tratamiento primario, en esta etapa es tratado anaeróbicamente generando biogás y una menor cantidad de fango biológico. Seguido a esto se lleva a cabo un tratamiento aeróbico con un proceso de nitrificación y desnitrificación liberando nitrógeno, el efluente saliente es sometido a un proceso terciario denominado biorreactores de membrana (MBR).

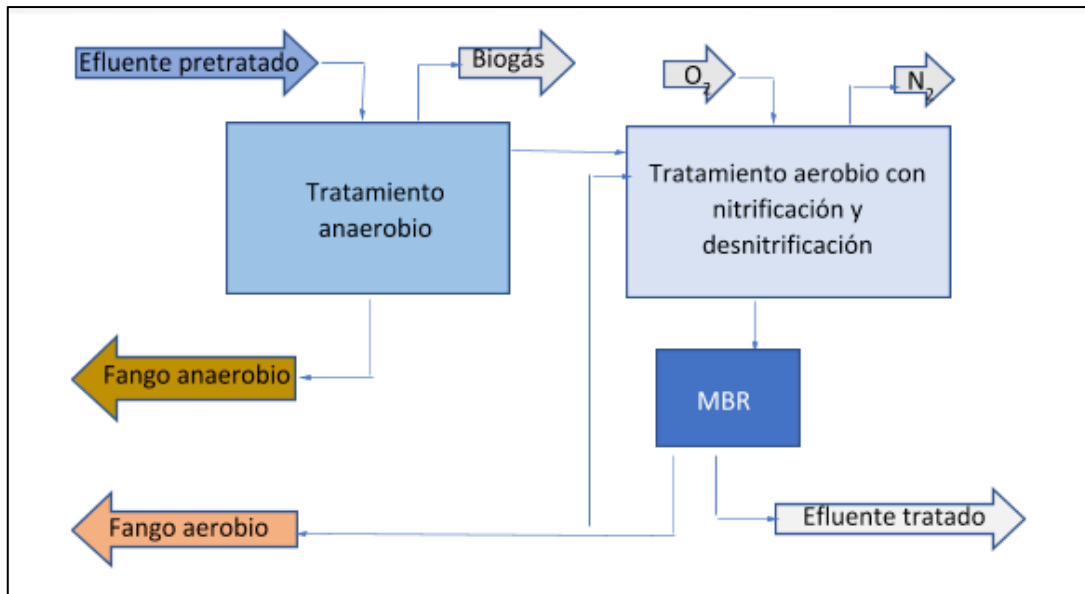


Figura 19. Tratamiento secundario del efluente pretratado: Anaerobio + biológico con nitrificación y desnitrificación + MBR
Fuente: (Condorchem, 2018).

Finalmente, en el tratamiento terciario se hace uso de biorreactores de membrana (MBR) en el caso de disponer, en este sistema se procede a combinar dos etapas de remoción, el primero se centra en la degradación biológica y el segundo en separar los elementos sólidos/líquidos a través de una operación de filtración utilizando distintas membranas dando como resultado un agua más limpia (Fraga et al., 2017).

Secado de fangos

Culminadas las operaciones de pretratamiento, tratamiento fisicoquímico y biológico aerobio/anaerobio se obtienen fangos separados, los cuales son enviados a un espesador común (Condorchem, 2018). Los lodos primarios (lodos fisicoquímicos) y los lodos secundarios (lodos biológicos) son estabilizados de manera biológica, química y térmica con el fin de disminuir del 30 al 35% de sólidos suspendidos y reducir la presencia de patógenos y olores desagradables (Díaz et al., 2015).

A medida que se va manejando el lodo se da una pérdida de agua la cual debe ser drenada con el objetivo de obtener un lodo seco y poroso para que el proceso de deshidratación tenga mayor eficiencia. Dentro de los métodos más utilizados para el secado de lodos están el calentamiento en hornos, incineración y exposición al sol logrando reducir su peso y reducir

microorganismos patógenos, si el tratamiento de lodos se realiza de manera correcta pueden ser utilizados en forma de compostaje como se muestra en la (Figura 20) (Díaz et al., 2015).

Los lodos residuales de la industria láctea pueden ser utilizados en actividades agrícolas debido a su gran contenido de macro y micronutrientes ya que podrían promover un crecimiento saludable en plantas y animales. Sin embargo, al ser esparcido en la tierra tienden a descomponerse rápidamente y generar olores fuertes debido a la presencia de grasas, aceites y sólidos suspendidos totales (Shi et al., 2021).

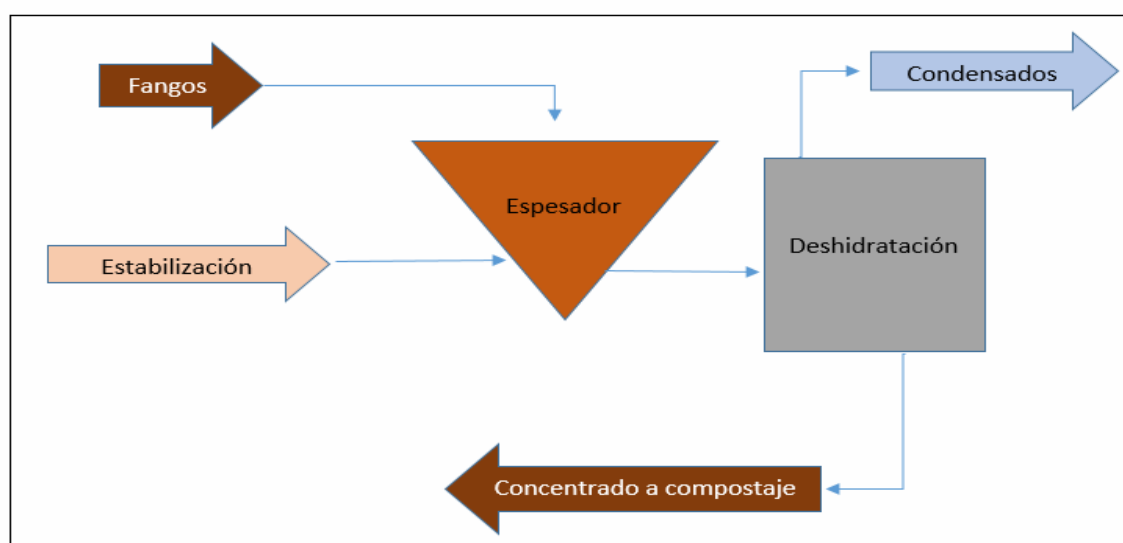


Figura 20. Tratamiento de secado de fangos.
Adaptado de: (Condorchem, 2018).

En este capítulo se describió los principales contaminantes emergentes generados por productos usados en la industria láctea ya sea desde el cuidado del animal hasta la producción y limpieza de la fábrica. Además, se detalló los tratamientos que se deben llevar a cabo para que dichos contaminantes no tengan mayor impacto en el ecosistema ya que la industria láctea genera mayor cantidad de agua residual.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se realizó una investigación bibliográfica sobre los contaminantes emergentes producidos por la industria láctea donde se observó que los contaminantes surgen desde el cuidado del ganado lechero mediante el uso de antibióticos y hormonas para mejorar la producción de leche y mediante el uso de pesticidas para incrementar la calidad de alimentación del ganado y que dichos contaminantes pueden llegar a la leche y productos lácteos por accidente, descuido y uso excesivo de productos veterinarios y agrícolas. Seguido a esto una vez que se realiza la producción se generan contaminantes a partir de los productos limpieza y por el desprendimiento de microplásticos por el uso de los envases que se emplean para los productos elaborados. En base a esto se recomienda que se brinde más información a los ganaderos con respecto a los tiempos establecidos de eliminación de antibióticos en la leche para así evitar que una vez que sea receptada en la industria sea desechada a los efluentes.

Las aguas residuales que provienen de esta industria se generan a lo largo de la línea de producción ya sea por derrames de leche en la recepción de materia prima y elaboración de productos lácteos, la aplicación de procesos de limpieza y desinfección de equipos y materiales con detergentes ácidos, alcalinos, agentes complejantes y surfactantes, los cuales representan los contaminantes emergentes de gran preocupación para el medio ambiente y el ser humano. Por estas razones es muy importante que durante la recepción y procesamiento de la leche se evite derramarla y que los coágulos de leche no sean evacuados directamente a los efluentes, además, al ser una de las industrias que consume más agua y energía se puede optar por el uso de maquinaria, equipos avanzados y la aplicación de una gestión adecuada para cada proceso que conlleva la elaboración de un producto lácteo.

Por otro lado, en el tratamiento de aguas residuales para la industria láctea se observó que es mucho mejor aplicar el tratamiento anaerobio debido a que produce aguas con menos contaminantes y además generan biogás que puede ser ocupado como energía dentro de la misma empresa. Cabe mencionar que la mayoría de empresas lácteas no incluyen un tratamiento terciario para eliminar los contaminantes emergentes, los tratamientos terciarios serían los tratamientos avanzados como: cavitación, oxidación fotocatalítica, fotólisis, química de Fentón y ozonización. Por lo que es necesario que la industria láctea genere y aplique un tratamiento adecuado de sus residuos y que este contemple el uso de un tratamiento terciario.

Finalmente, a lo largo de esta investigación se pudo identificar que la presencia de contaminantes emergentes en la industria láctea se produce debido a la utilización de productos veterinarios y agrícolas, agentes de limpieza, la fuente y tipo de agua que se usa y el tipo de envase empleado durante el proceso de elaboración y envasado de productos lácteos. Además, es muy importante realizar un buen tratamiento a las aguas residuales de esta industria para evitar la contaminación de los diferentes ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdollahi, M., & Khalid, M. (2021). Environmental Distribution of Personal Care Products and Their Effects on Human Health. *20(1)*, 216–253. <https://doi.org/doi:10.22037/ijpr.2021.114891.15088>
- Acero, J., Benitez, J., Real, F., & Teva, F. (2012). Coupling of adsorption, coagulation, and ultrafiltration processes for the removal of emerging contaminants in a secondary effluent. *Chemical Engineering Journal*, *210*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.043>
- Aclimar. (2018). *Contaminantes emergentes: ¿cómo nos afectan? (artículo Consumer)*. <https://aclima.eus/contaminantes-emergentes-como-nos-afectan-articulo-consumer/>
- Acosta, R. (2008). *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos*. https://books.google.com.ec/books?id=g7YIShB-SXsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Adams, C., Wang, Y., Loftin, K., & Meyer, M. (2002). Removal of Antibiotics from Surface and Distilled Water in Conventional Water Treatment Processes. *Journal of Environmental Engineering*, *128(3)*, 253–260. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(2002\)128:3\(253\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(2002)128:3(253))
- AgroShow. (2018). *Marmita Pasteurizadora Industria Lactea*. <https://agroshow.info/productos/ganaderia/equipos-para-lecheria/marmita-pasteurizadora/>
- Agudelo Gómez, D. A., & Bedoya Mejía, O. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación*, *2(5)*, 38–42. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520107>
- Aguirre, P. (2016). Alimentación humana: El estudio científico de lo obvio. *Salud Colectiva*, *12(4)*, 463–472. <https://doi.org/10.18294/sc.2016.1266>
- Ahmad, T., Aadil, R., Ahmed, H., Rahman, U., Soares, B., Souza, S., Pimentel, T., Scudino, H., Guimarães, J., Esmerino, E., Freitas, M., Almada, R., Vendramel, S., Silva, M., & Cruz, A. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*, *88(April)*, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Ahmed, S. F., Mofijur, M., Nuzhat, S., Chowdhury, A. T., Rafa, N., Uddin, M. A., Inayat, A., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Chia, W. Y., & Show, P. L. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, *416(April)*, 125912. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>
- Alais, C. (1984). *Ciencia de la leche Principios de Técnica lechera*.
- Aldaz, J., Galduroz, G., Iriarte, J., Eslaba, F., Múgica, I., Bildarraz, G., Hernandorena, J., Pascual, J., García, D., Iriarte, I., & Dendarieta Jesús. (1997). *Técnicas de producción de leche de calidad en ganado vacuno*. <https://docplayer.es/27466387-Tecnicas-de-produccion-de-leche-de-calidad-en-ganado-vacuno.html>
- Almonte, J. (2019). *Efecto bactericida de un yodóforo sobre una superficie de acero inoxidable [Universidad de Chile]*. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173438/Efecto-bactericida-de-un-yodoforo-sobre-una-superficie-de-acero-inoxidable.pdf?sequence=1>

- Amitha, T., & Sathian, C. T. (2014). Cleaning-In-Place (CIP) System in Dairy Plant- Review. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(6), 41–44. <https://doi.org/10.9790/2402-08634144>
- Arango, O., & Sanches, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(2), 24–31. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Archimbault, P. (1983). Persistence in milk of active antimicrobial intramammary substances. *Veterinary Pharmacology and Toxicology*, 647–657. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6604-8_58
- Asok, A. K., & Jisha, M. S. (2012). Biodegradation of the anionic surfactant linear alkylbenzene sulfonate (LAS) by autochthonous pseudomonas sp. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(8), 5039–5048. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1256-8>
- ATSDR, (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2004). RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Dióxido de Cloro y Clorito. *Public Health Statement*, 656(54), 1–6. <https://www.fundacionfemeba.org.ar/blog/farmacologia-7/post/alerta-racim-productos-a-base-de-clorito-de-sodio-dioxido-de-cloro-solucion-mineral-milagrosa-o-mms-miracle-mineral-solution-47811>
- Badmus, S., Amusa, H., Oyehan, T., & Saleh, T. (2021). Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques. *Environmental Science and Pollution*, 28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-021-16483-w>
- Balseca Escudero, I. J., & Pérez Amores, A. C. (2008). *Proyecto para la producción y comercialización de productos lácteos en Alluriquín* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://docplayer.es/92443272-Universidad-politecnica-salesiana.html>
- Barbero, M. I., & Gutman, G. (2008). La industria láctea ante el proceso de reestructuración de la economía argentina en la década de 1990. *Scielo*, 16(31).
- Barceló, D. (2014). *Los contaminantes emergentes: Descripción y tratamientos*. <https://www.iagua.es/blogs/damia-barcelo/contaminantes-emergentes-descripcion-y-tratamientos>
- Barton, C. (2014). EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid). *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 2, 310–311. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00309-2>
- Barukčić, I., Ščetar, M., Lisak Jakopović, K., Kurek, M., Božanić, R., & Galić, K. (2021). Overview of packaging materials for Dairy packaging. *Hrvatski Časopis Za Prehrambenu Tehnologiju, Biotehnologiju i Nutricionizam*, 16(3–4), 85–93. <https://doi.org/10.31895/hcptbn.16.3-4.5>
- Batra, E. (2021). *Butter Processing: An Insight*. <https://www.pmg.engineering/butter-processing-an-insight/#:~:text=The churning process involves phase,process to form the butter.>
- Baz, L. (2019). *Contaminantes emergentes. Impacto sobre la salud y el medio ambiente* [Universidad Complutense]. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/LAURA BAZ SANZ.pdf>
- Becerril, E. (2009). Contaminantes emergentes en el agua. *Revista Digital Universitaria*, 10(8). https://www.ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/1529/art54_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bello, M., Lizeldi, B., González, E., Manso, A., Nochebuena, X., Quiñonez, E., & Vásquez, C.

- (2004). Productos Lácteos: La Ruta De La Metamorfosis. *Digital Universitaria*, 5(7), 1–14. <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art89/int89.htm>
- Beltrán, C., & Valenzuela, A. (2009). *Evaluación del sistema de limpieza y desinfección de la empresa productos de Antaño S.A.* <http://hdl.handle.net/10554/8210>
- Bertozzi, L. (2017). *El despertar de la industria láctea en América Latina.* <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/10990980-el-despertar-de-la-industria-lactea-en-america-latina>
- BETELGEUX, (Christeysn Food Hygiene). (2019). *Sistemas de limpiezas CIP en la industria láctea.* <https://www.betelgeux.es/blog/2019/09/06/sistemas-de-limpiezas-cip-en-la-industria-lactea/>
- Betoret Valls, N., Pérez Esteve, E., Barrera Puigdollers, M. C., & Castelló Gómez, M. L. (2021). *Operaciones auxiliares de limpieza y desinfección en la industria agroalimentaria.* [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/165529/Betoret%3BPérez%3BBarrera - Lmpeza e hgene en lasndustras agroalimentaras.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/165529/Betoret%3BPérez%3BBarrera-Lmpeza%20e%20hgene%20en%20las%20industrias%20agroalimentarias.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bollaí, C., & Angulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R., & Matsuura, T. (2009). A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239(1–3), 229–246. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.020>
- Boveri, M. (2012). *Catalizadores sólidos ácidos para la síntesis de surfactante* [Universidad Autónoma de Madrid]. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/11361/56605_boveri_marcelo.pdf?sequence=1
- Brajovic, F. (2020). *Todo sobre cromatografía líquida con espectrometría de masas.* Ciencia analítica tecnología cromtek. <https://www.cromtek.cl/2020/07/22/todo-sobre-cromatografia-liquida-con-espectrometria-de-masas/>
- Bravo, M. A. (2017). Coagulantes Y Floculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes Y Metales Pesados En Aguas Residuales. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Briones, E. (2005). *Proceso de elaboración de yogurt* [Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1632/Proceso de elaboración de yogur y su presentacion en pagina web...Pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1632/Proceso%20de%20elaboraci%C3%B3n%20de%20yogur%20y%20su%20presentaci%C3%B3n%20en%20pagina%20web...Pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cáceres, M. (2017). *Manual Práctico de Quesería* (Ayala).
- Calle Macas, E. (2021). *Asesoría al Parque Nacional Galápagos (PNG) para la determinación del nivel de contaminantes emergentes (Microplásticos) en organismos marinos selectos* [Escuela Superior Politécnica Del Litoral]. [http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/50977/1/T-109814 Calle Liseth.pdf](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/50977/1/T-109814_Calle_Liseth.pdf)
- Callejo, A. R. (2013). Refrigeración de la leche en la granja. *Frisona Española*, 1–6. <http://www.revistافرisona.com/Portals/0/articulos/n165/A16503.pdf?ver=2013-04-03-151122-857>

- Calvo Flores, F., Garcéa, J., & Dobado, J. (2018). Surfactants in the Environment. In *Emerging Pollutants: Origin, Structure and Properties*. <https://doi.org/10.1002/9783527691203>
- Canales, C. (2005). *Guía de Mejores Técnicas Disponible en España del sector Lácteo*. [https://prtr-es.es/Data/images/Guía MTD en España Sector Lácteo-EB1D4BEA8B1CEE15.pdf](https://prtr-es.es/Data/images/Guía_MTD_en_España_Sector_Lácteo-EB1D4BEA8B1CEE15.pdf)
- CAR/PL, (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia). (2002). *Prevención de la contaminación en la Industria láctea*. Plan de Acción Para El Mediterráneo. http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf
- Caracundo, E. (2019). Determinación de antibióticos betalactámicos y tetraciclinas en la leche cruda comercializada [Universidad Politécnica Salesiana Cede Cuenca]. In *Carrera De Medicina Veterinaria Y Zootecnia*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17391/1/UPS-CT008305.pdf>
- Carpio Pua, A. S. (2010). Caracterización del consumo de agua de la planta de lácteos , Zamorano. *Universodad Zamorano*, 25. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/551/1/IAD-2010-T022.pdf>
- Carrillo, O., Galindo, G., & García, I. (2012). *Reproducción de cavitación hidrodinámica luminiscente para la limpieza de agua a nivel terciario* [Universidad Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2013/enero/0688967/0688967.pdf>
- Cartagena, C. J. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: Productos farmaceuticos. *Revista Lasallista de Investigacion*, 8(2), 143–153. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69522607016.pdf>
- Castañeta, G., Gutiérrez, A., & Nacaratte, F. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 142–157. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426365043004/>
- Castellanos, S., & Tusarma, M. (2014). *Evaluación fisicoquímica por el método de adsorción-coagulación-floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa textil CO&TEX S.A.S* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://core.ac.uk/download/pdf/71398208.pdf>
- Castillo López, J. (2016). *Elaboración de mantequilla*. <http://derivadoslacteos.com/mantequilla/elaboracion-de-mantequilla>
- Cesaro Perú, E. para la I. (2018). *Pasteurizadores de Leche a Placa*. <https://cesaroperu.com/pasteurizadores-de-leche-a-placa/>
- Chávez Lemus, M. R. (2006). *Planta Procesadora de Lácteos en San José de Pinula* [Universidad Rafael Landivar]. https://www.academia.edu/33852304/Planta_Procesadora_de_Lácteos
- Cheng, W., & Han, S. (2020). *Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments — A review*. 3(2). <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0156>
- Chou Rodrigue, E. M., García Martínez, Y., Chou, Bermúdez, C., & Pisch Vidal, L. (2018). Evaluación de producción más limpia en el proceso de leche y derivados de la soya. *Scielo*, 38(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200019
- Chun Ding, G. K., & Ghosh, S. (2017). Sustainable Water Management—A Strategy for Maintaining Future Water Resources. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 91–103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10171-X>

- Collivignarelli, M., Carnevale, M., Baldi, M., Manzi, S., Abbà, A., & Bertanza, G. (2019). Removal of non-ionic and anionic surfactants from real laundry wastewater by means of a full-scale treatment system. *Process Safety and Environmental Protection*, 132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.10.022>
- Condorchem, E. (2018). *Tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea*. <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Corbatón, M. (2015). *Limpieza de membranas de ultrafiltración aplicadas en la industria alimentaria por medio de técnicas no convencionales y caracterización del ensuciamiento de las membranas* [Universidad Politécnica de Valencia]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/54841/Corbatón - Limpieza de membranas de ultrafiltración aplicadas en la industria alimentaria por med....pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/54841/Corbatón-Limpieza-de-membranas-de-ultrafiltración-aplicadas-en-la-industria-alimentaria-por-med....pdf?sequence=1)
- Costa, P., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R., Carreres, B., Ambuhl, M., Descarrega, J., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-03458-7>
- Creus, J. (1971). *Tratado práctico de refrigeración automática*.
- Cuenca, M. (2019). *Contaminantes emergentes: origen y destino* [Universidad de Alcalá]. https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/41744/TFM_Cuenca_Rompinelli_2019.pdf;jsessionid=3E60F1B9823033F03DEE5F41834212E8?sequence=1
- Dharupaneedi, S. P., Nataraj, S. K., Nadagouda, M., Reddy, K. R., Shukla, S. S., & Aminabhavi, T. M. (2019). Membrane-based separation of potential emerging pollutants. *Separation and Purification Technology*, 210, 850–866. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.003>
- Díaz, A., Veliz, L., & Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–11. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- Díaz, D., & Pena, G. (2019). *Uso de Antibióticos en la Ganadería Lechera*. Dairexnet. <https://dairy-cattle.extension.org/uso-de-antibioticos-en-la-ganaderia-lechera/>
- Díaz, M., Conesa, J., & Fullana, A. (2020). Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. *Rev. Sustainability*, 14(12), 8–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12145514>
- Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., & Tomic, N. (2014). Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production*, 68, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.054>
- EFSA, (Panel on Contaminants in the Food Chain) (CONTAM). (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 14(6). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- Erazo, S., & Lata, M. (2012). *Diseño Y Construcción De Una Marmita Automatizada Para La Elaboración De Queso* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/2516/1/96T00198.pdf>
- ESAMUR, (Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia). (2021). *¿Qué son los contaminantes emergentes? ¿Pueden suponer un riesgo para la salud y para el medio ambiente? ¿Podemos hacer algo para evitarlo?* <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/que-son-los-contaminantes-emergentes-pueden-supone-60iXI>
- Escobar, R., Arestegui, M., Moreno, A., & Sanchez, L. (2015). *Catálogo de maquinaria para*

procesamiento de lacteos 1. 1–36.
https://energypedia.info/images/0/02/Catálogo_Lacteos.pdf

- Esteire, L., Cenzano, E., & Madrid, A. (2014). *Queserías - Nuevo Manual técnico* (A. Madrid (ed.)).
- Etxebarria, S., & Ramos, S. (2017). *¿Cuál es el impacto ambiental de la leche?* <https://www.consumer.es/medio-ambiente/cual-es-el-impacto-ambiental-de-la-leche.html>
- Fait, E., Bakas, L., Garrote, G., Morcelle, S., & Saparrat, M. (2019). Cationic surfactants as antifungal agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(1), 97–112. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9467-6>
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). *Composición de la leche*. <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>
- Farré Rovira, R. (2015). La leche y los productos lácteos: fuentes dietéticas de calcio. *Nutricion Hospitalaria*, 31, 1–9. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup2.8676>
- Fernández, E., Martínez Hernández, J. A., Martínez Suárez, V., Moreno Villares, J. M., Collado Yurrita, L. R., Hernández Cabria, M., & Morán Rey, F. J. (2015). Documento de Consenso: Importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), 92–101. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8253>
- Fischer, W., Schilter, B., Tritscher, A., & Stadler, R. (2011). Contaminants of Milk and Dairy Products: Contamination Resulting from Farm and Dairy Practices. *Encyclopedia of Dairy Sciences: Second Edition*, 887–897. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00104-7>
- Forsythe, S. ., & Hayes, P. (1999). *Higiene de los alimentos, microbiología y HACCP* (3rd ed.).
- Fraga, F., García, H., Hooijmans, C., Míguez, D., & Brdjanovic, D. (2017). Evaluation of a membrane bioreactor on dairy wastewater treatment and reuse in Uruguay. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119, 552–564. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.025>
- Gabilán, N. (2011). *Fabricación de detergente en polvo*. Fabricación de Detergente En Polvo. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13097/Memòria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gągol, M., Przyjazny, A., & Boczkaj, G. (2018). Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation – A review. *Chemical Engineering Journal*, 338, 599–627. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.049>
- Galic, K. (2016). *Packaging materials and methods for dairy applications*. <https://www.newfoodmagazine.com/article/26394/packaging-materials-dairy/>
- García, M., Rodríguez, R., Alarcón, B., Çipa, M., Martín, L., Kauffmann, J., & Zafra, A. (2018). Chromatographic Methods for the Determination of Emerging Contaminants in Natural Water and Wastewater Samples: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 49(2), 160–186. <https://doi.org/10.1080/10408347.2018.1496010>
- García, P. (2021). *Empleo de sustancias tipo húmicas obtenidas a partir de diferentes residuos orgánicos en la eliminación de contaminantes emergentes* [Universidad Politécnica de Valencia]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/177595/Garcia - Empleo de sustancias tipo humicas obtenidas a partir de diferentes residuos organicos en....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/177595/Garcia%20-%20Empleo%20de%20sustancias%20tipo%20humicas%20obtenidas%20a%20partir%20de%20diferentes%20residuos%20organicos%20en....pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Gasparotti, L. (2011). *Detección fotométrica de residuos de antimicrobianos en leche mediante el sistema microbiológico rescreen* [Universidad Nacional de Litoral]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/365/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Ploeg, M., Zee, S., & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición* (2nd ed.). https://books.google.com.ec/books?id=hcwBJ0FNvqYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Gil, M., Soto, M., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Scielo*, 7(2), 52–73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gimferrer Morató, N. (2012). *Alargar la vida útil de la leche pasteurizada*. [https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/alargar-la-vida-util-de-la-leche-pasteurizada.html#:~:text=La leche pasteurizada debe almacenarse,somete a temperaturas muy altas.](https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/alargar-la-vida-util-de-la-leche-pasteurizada.html#:~:text=La%20leche%20pasteurizada%20debe%20almacenarse,somete%20a%20temperaturas%20muy%20altas.)
- Gogate, P. R. (2002). Cavitation: An auxiliary technique in wastewater treatment schemes. *Advances in Environmental Research*, 6(3), 335–358. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(01\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(01)00067-3)
- Gómez, L., Hariz, I., Ramírez, P., Galar, M., Sánchez, J., Guzmán, X., Barrera, G., Zavala, J., Gasca, E., & Dublán, O. (2021). Contribuciones Selectas en Ecotoxicología y Química Ambiental. *AMEQA*, 1. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/111368/Capítulo6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, P. (2019). *Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana*. 1–2. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto_de_los_plaguicidas_en_la_Salud.pdf
- González Pleiter, M., Gonzalo, S., Rodea Palomares, I., Leganés, F., Rosal, R., Boltés, K., Marco, E., & Fernández Piñas, F. (2013). Toxicity of five antibiotics and their mixtures towards photosynthetic aquatic organisms: Implications for environmental risk assessment. *Water Research*, 47(6), 2050–2064. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.01.020>
- Gosta, B. (2003). *Manual de industrias lácteas* (H. S. . Tetra Pak (ed.)).
- Grout, L., Baker, M., French, N., & Hales, S. (2020). A Review of Potential Public Health Impacts Associated With the Global Dairy Sector. *GeoHealth*, 4(2). <https://doi.org/10.1029/2019GH000213>
- Guerrero, A., Ríos, A., Ripolles, C., Zamora, A., Hascoët, A., Felipe, X., Castillo, M., & Rodríguez, J. (2022). Effectiveness of enzymatic treatment for reducing dairy fouling at pilot-plant scale under real cleaning conditions. *Lwt*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112634>
- Guo, W., Ahmed, M., Zhou, J., Ngo, H., Thomaidis, N., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>

- Haddad, A. (2019). *Diseño y dimensionamiento de una planta elaboradora de 90 . 000 Litros / Día de leche UHT en Freijeiro (A Coruña)* [Universidad Politécnica de Madrid]. http://oa.upm.es/56985/1/TFG_ADNANE_EL_HADDAD.pdf
- Herrera, O. (2016). *Estudio de formulaciones detergentes y métodos para la limpieza del almidón en la industria alimentaria utilizando micro/nanopartículas, enzimas y tensioactivos* [Universidad de Granada]. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/44295/26228038.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Hladik, M. L., Hubbard, L. E., Kolpin, D. W., & Focazio, M. J. (2016). Dairy-Impacted Wastewater Is a Source of Iodinated Disinfection Byproducts in the Environment. *Environmental Science and Technology Letters*, 3(5), 190–193. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00109>
- Ivanic, F. (2022). *Contaminantes emergentes de origen ganadero en el ambiente: simulación degradativa en laboratorio*. Hypotheses. <https://jdfa.hypotheses.org/350>
- Jain, S., Mishra, D., & Puja, K. (2021). *Microplastics as an Emerging Contaminant in Environment: Occurrence, Distribution, and Management Strategy*. 281–299. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128222638000105?via%3Dihub>
- Jeirani, Z., Niu, C. H., & Soltan, J. (2017). Adsorption of emerging pollutants on activated carbon. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(5), 491–522. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0027>
- Jernberg, J. (2013). Novel analytical methods for the identification of emerging contaminants in aquatic environments [University of Helsinki Finland]. In *Thesis, 2013*. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39273/novelana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Joshiba, J., Kumar, S., Femina, C., Jayashree, E., Racchana, R., & Sivanesan, S. (2019). Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 160, 94–109. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24194>
- Kamble, S., Bhargava, A., & Patil, P. (2020). Treatment of Dairy Industry Wastewater - Special Reference to Design of Aerated Lagoon. *Journal of Water*, 1, 20–29. <https://doi.org/DOI.10.14302/issn.2769-2264.jw-20-3530>
- Karaca, G., Dolgun, E., Mavuş, R., & Aktaş, M. (2019). High Energy Efficient System Design for Incubation Process and Cooling of Yoghurt. *Journal of Polytechnic*, 0900(3), 779–784. <https://doi.org/10.2339/politeknik.531574>
- Kashif, M., Kashif, A., Fuwad, A., & Choi, Y. (2021). Current advances in treatment technologies for removal of emerging contaminants from water – A critical review. *Coordination Chemistry Reviews*, 442, 213993. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213993>
- Kasonga, T., Coetzee, M., Kamika, I., Ngole-Jeme, V., & Benteke Momba, M. (2021). Endocrine-disruptive chemicals as contaminants of emerging concern in wastewater and surface water: A review. *Journal of Environmental Management*, 277(September 2020), 111485. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111485>
- Kaur, N. (2021). Different treatment techniques of dairy wastewater. *Science Direct*, 14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X21000977>
- Khaniki, J. (2007). Chemical contaminants in milk and public health concerns: A review. In *International Journal of Dairy Science* (Vol. 2, Issue 2, pp. 104–115). <https://doi.org/10.3923/ijds.2007.104.115>

- Kolev, S. (2017). General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater – A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 53(2), 237–242. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>
- Koswig, K. (2012). Surfactants. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 35, 431–505. https://doi.org/DOI: 10.1002/14356007.a25_747
- Kovačič, A., Škufca, D., Zupanc, M., Gostiša, J., Bizjan, B., Krištofelc, N., Dolenc, M. S., & Heath, E. (2020). The removal of bisphenols and other contaminants of emerging concern by hydrodynamic cavitation: From lab-scale to pilot-scale. *Science of the Total Environment*, 743, 140724. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140724>
- Krisnaningsih, A., Radiati, L., Purwadi, Evanuarini, H., & Rosyidi, D. (2019). The effect of incubation time to the physicochemical and microbial properties of yoghurt with local taro (*Colocasia esculenta*(L.) schott) starch as stabilizer. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(2), 547–554. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.2.23>
- Kutralam, G., Pérez, F., Elizalde, I., & Shruti, V. (2020). Branded milks – Are they immune from microplastics contamination? *Science of the Total Environment*, 714, 136823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823>
- Lactoequipos. (2017a). *Equipos para la industria Láctea - Marmitas*. <https://lactoequipos.wordpress.com/2017/11/12/marmitas/>
- Lactoequipos. (2017b). *Equipos para la industria láctea - Tanques de almacenamiento*. <https://lactoequipos.wordpress.com/2017/11/12/tanques-de-almacenamiento/>
- Leal, M. (2016). Therapeutic efficacy of Chymotrypsin in acute bovine mastitis. *Revista MVZ Cordoba*, 21(2), 5416–5425. <https://doi.org/10.21897/rmvz.607>
- LIPA, (Laboratorio de Investigación en Productos Agroindustriales). (2020). *Introducción a la elaboración de quesos*. Universidad Nacional de La Plata. <https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Guia-QUESOS.pdf>
- López, L., & Pedregosa, Á. (2020). Instalaciones Y Maquinaria En La Industria Láctea. *Junta Andalucía*. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yAtv1SMsYKAJ:https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/bb5b94e6-fdd1-4c06-8585-1ca55e4117d5/download&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- López, R. (2015). *Monitoreo de fármacos por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas en el laboratorio clínico del hospital nacional psiquiátrico*. 29(1), 17–22. <https://www.binasss.sa.cr/bibliotecas/bhp/cupula/v29n1/art03.pdf>
- Lorenzo, M. (2017). *Efecto Del Contaminante Bisfenol A, a Distintas Temperaturas, Sobre La Microalga Marina* [Universidad de Coruña]. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/21321>
- Luján, D. (2015). Nuevas tecnologías para el análisis de contaminantes emergentes. In *Instituto Universitario del agua y las ciencias ambientales*. <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm09/tfm09-duna-lujan-calap.pdf>
- Luque, A., Caseres, J., & Masaquiza, V. (2018). *La gestión de residuos de las industrias lácteas: el caso de Ecuador*. [https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gestión Residuos Industria Lactea.pdf](https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gestión%20Residuos%20Industria%20Lactea.pdf)
- Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., & Schuck, P. (2011). *Productos lácteos industriales*.
- Mancuso, G., Langone, M., Di Maggio, R., Toscano, A., & Andreottola, G. (2022). Effect of

- hydrodynamic cavitation on flocs structure in sewage sludge to increase stabilization for efficient and safe reuse in agriculture. *Bioremediation Journal*, 26(1), 41–52. <https://doi.org/10.1080/10889868.2021.1900055>
- Manrique López, A., & Vargas Rojas, A. (2016). Mapa de competitividad en diseño: validación en empresas del sector lácteo. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 25(1). <https://doi.org/10.18359/rfce.2659>
- Martínez, I., Soto, J., & Lahora, A. (2020). Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 29(3), 2070. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2070>
- Masli, H. (1962). Detergents for the dairy farm. *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia*, 3(6). https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=3306&context=journ_al_agriculture4#:~:text=Modern dairying detergents are based,phate%2C soaps%2C and organic wetting
- Mauck, J., Holley, R., & Jakubowski, J. (2001). *Guidelines for Cleaning and Sanitizing in Fluid Milk Processing Plants*. https://health.maryland.gov/phpa/OEHFP/OFPCHS/Milk/Shared Documents/DPC029_Cleaning_Sanitizing_Fluid_Milk_Plants.pdf
- Mayta, J., Trujillo, A. J., & Juan, B. (2020). La homogeneización a ultra-alta presión (UHPH). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 31(2), e17934. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17934>
- Mejía López, A., Rodas, S., & Baño, D. (2017). La desnaturalización de las proteínas de la leche y su influencia en el rendimiento del queso fresco. *Enfoque UTE*, 8(2), 121–130. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261627010/html/>
- Meléndez, J., García, Y., Galvan, V., Díaz, L., Vargas, K., Mejía, J., & Flores, R. (2020). Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Revista De Salud Ambiental*, 20(1), 53–61. <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1033/960>
- Mesa, A. (2017). *Protocolo para elaboración de mantequilla artesanal y suave QC. 4*. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00TMDM.pdf
- Molins, D. (2017). *Productos de cuidado personal y medioambiente: presencia, destino y efectos* [Universitat Politècnica de Catalunya - Barcelonatech]. <http://www.tdx.cat/handle/10803/461951%0Ahttps://upcommons.upc.edu/handle/2117/115992>
- Montes Grajales, D., Fennix Agudelo, M., & MirandaCastro, W. (2017). Occurrence of personal care products as emerging chemicals of concern in water resources: A review. *Science of the Total Environment*, 595, 601–614. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.286>
- Mosquera, G., & Crujeira, Y. (2010). *Higiene, limpieza y desinfección en la Quesería Artesanal 1*. <http://portal.oas.org/LinkClick.aspx?fileticket=V3ZIT2fwL90=>
- Moura, F., Rios, R., & Galvão, B. (2018). Emerging contaminants removal by granular activated carbon obtained from residual Macauba biomass. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(26), 26482–26492. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2713-8>
- Muñoz Lucas, S., & Sanchez García, R. (2018). El agua en la industria alimentaria. *Boletín Sociedad Española Hidrología Médica*, 33(2), 157–171.

<https://doi.org/10.23853/bsehm.2018.0571>

- NCBI, N. C. for B. I. (2022). *Nitritotriacetic acid*. PubChem Compound Summary for CID 8758. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nitritotriacetic-acid>
- Neira, M., Girardi, E., & Laruelle, C. (2017). *Contaminantes Emergentes: ¿Cómo enfrentar los nuevos desafíos ambientales y sanitarios?* <https://www.planet.veolia.com/es/contaminación-emergente-riesgo-sanitario-OMS>
- Noa, M., Ruvalcaba, S., Torres, J., Reynoso, R., & Jaime, T. (2021). Control de residuos de antibióticos en leche cruda en una empresa lechera en Jalisco México: Estudio Retrospectivo. *E-CUCBA*, 16, 1–5. <http://e-cucba.cucba.udg.mx/index.php/e-Cucba/article/view/190/165>
- Nogal, A. (2020). *La industria láctea es contaminación y maltrato*. <https://lacontaminacion.org/industria-lactea-contaminacion-y-maltrato/>
- NTC, (Norma Técnica Colombiana). (2004). *Práctica de limpieza y desinfección para plantas y equipos utilizados en la industria láctea*. <https://pdfslide.net/documents/ntc5245-limpieza-y-desinfeccion-industria-lactea.html?page=1>
- Occhi, H. (2012). *Métodos para la detección de residuos de antibióticos en leche para ser utilizado en el Tambo* [Universidad Nacional del Litoral]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/417/tesis.pdf?sequence=3>
- Palmieri, N., Forleo, M., & Salimei, E. (2017). Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 140, 881–889. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616308721>
- Parada, C. (2011). *Elaboración de mantequillas tecnológicamente modificadas para obtener propiedades sensoriales similares a la mantequilla fermentada* [Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/fap222e/doc/fap222e.pdf>
- Paredes, V. (2010). *Farmacología Veterinaria II* (Editronic,). <https://repositorio.una.edu.ni/2460/1/nl70p227fa.pdf>
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordoñez, S. (2014). Microcontaminantes emergentes en aguas: tipos y sistemas de tratamiento. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 5(2), 1–20. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323631115001.pdf>
- PCC Group, (Fabricante de especialidades químicas). (2021). *Carbonato de sodio: ¿un componente de los agentes de lavado ecológicos?* [https://www.products.pcc.eu/es/blog/carbonato-de-sodio-un-componente-de-los-agentes-de-lavado-ecologicos/#:~:text=El carbonato de sodio \(Na,como como componente de minerales.](https://www.products.pcc.eu/es/blog/carbonato-de-sodio-un-componente-de-los-agentes-de-lavado-ecologicos/#:~:text=El carbonato de sodio (Na,como como componente de minerales.)
- Peñalver Romero, M. (2020). *Eliminación de los contaminantes emergentes ibuprofeno , diclofenaco y paracetamol mediante procesos de membrana* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/9016/tfg-peñeli.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pereda, J. (2009). Utilización de la ultra alta presión por homogenización como alternativa al tratamiento de pasteurización para la obtención de leche en consumo [Universidad Autónoma de Barcelona]. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/5704>
- Petrović, M., Gonzalez, S., & Barceló, D. (2003). Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 22(10), 685–696. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01105-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01105-1)

- Phadnis, K. (2021). *Hydrodynamic Cavitation assisted Emulsification and its utilization in manufacturing of Acrylate Copolymer Nano-Emulsion: A review* . 8(5), 111–117. <https://www.jetir.org/papers/JETIR2105678.pdf>
- Piñeiros, M. (2009). *Optimización de la producción de la planta procesadora de lácteos en el colegio técnico agropecuario Carlos Ubidia Albuja de Otavalo* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1685/1/CD-2263.pdf>
- Poblet, C. (2017). *Diseño de una instalación de membranas sintéticas para la eliminación/concentración de contaminantes emergentes procedentes de un EDAR de 1000 hab/día*. [Universidad Politécnica de Valencia]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85682/29219070P_TFG_14994196259877403496198174035862.pdf?sequence=2
- Poggio Ruiz, T. (2015). *Recepción y almacenamiento de la leche y otras materias primas* (5th ed.). https://books.google.com.ec/books?id=5oFXDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Portuguez, R. (2019). *Tensoactivos y coadyuvantes en el control químico de malezas*. Laica. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/TlazSviCXNtbTzolKdoGgfaOVjilMsuT>
- Prado, D. (2013). *Valoración de Impactos Ambientales generados en la Industria Láctea y Cárnica en la ciudad de Cuenca* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3265/1/10039.pdf>
- Prochteca, materias primas. (2021). *Metasilicato de sodio pentahidratado, usos y aplicaciones*. <https://tienda.pochteca.com.mx/blog/post/metasilicato-de-sodio-pentahidratado-usos-y-aplicaciones.html>
- PROQUINSA, P. Q. I. S. . (2021a). *El metasilicato de sodio y los detergentes*. <https://proquinsa.com/en/productos/metasilicato-de-sodio/el-metasilicato-de-sodio-y-los-detergentes/>
- PROQUINSA, P. Q. I. S. . (2021b). *La industria alimentaria y el Bicarbonato de Sodio*. <https://proquinsa.com/productos/bicarbonato-de-sodio/la-industria-alimentaria-y-el-bicarbonato-de-sodio/#:~:text=Aunado a esto%2C el bicarbonato,de quesos%2C mantequillas y natas.>
- Ralph, E. (2000). *Tecnología de los productos lácteos* (Segunda Ed).
- Ramírez, C., & Vélez, J. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos*, 2(6), 131–148. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Ramirez-Lopez-et-al-2012.pdf>
- Ramírez, J., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: Clasificación, Uso, Toxicología Y Medición De La Exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*, 4(2), 67–75. <http://www.scsmt.cat/Upload/TextCompleto/2/1/216.pdf>
- Ramírez, M. (2006). *Manual Práctico de quesería II* (EDICIONES).
- Ramírez Roldan, D. F. (2010). *Elaboración de Yogurt* (1st ed.).
- Ranganatham, M. (2012). *Lesson 17. Pasteurized Milk*. Packaging of Milk and Milk Products. <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=148005#:~:text=Polyethylene%2C particularly LDPE has been used for packing milk.>
- Reinoso Carrasco, J. del C., Serrano Delgado, C. Y., & Orellana Cobos, D. F. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de La Facultad de Ciencias*

- Médicas de La Universidad de Cuenca*, 35(2).
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/1723/1325>
- Revilla, A. (1982). *Tecnología de la leche - Procesamiento Manufactura y Análisis* (T. Saraví (ed.); 2nd ed.).
https://books.google.com.ec/books?id=miAPAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Reyes, C. (2008). *Propuesta para tecnificar la producción artesanal de yogur probiótico* [Universidad San Carlos de Guatemala].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1094_Q.pdf
- Reyes, M. (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas:desinfección y formación de subproductos* [Instituto Politécnico Nacional].
https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis_Gpe_Reyes.pdf
- Richardson, J., Fitsanakis, V., Westerink, R., & Anumantha, K. (2019). Neurotoxicity of pesticides. *Acta Neuropathologica*, 138(3), 343–362. <https://doi.org/10.1007/s00401-019-02033-9>
- Robelo, J. (2005). *Compendio de agentes químicos de limpieza y sanitización y su evaluación en la industria láctea*.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a75127cb-9e8b-440a-8be6-947b57625a2f/content>
- Rocha, A., Peralta, M. del R., & Zabala, F. (2015). Revisión global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3).
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300010
- Rodríguez, D. (2020). *Evaluación de la toxicidad residual en el tratamiento de contaminantes emergentes presentes en aguas residuales y su posible impacto en los ecosistemas*. [Universidad Javeriana].
https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52063/Trabajo_de_grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, N. (2010). *Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea* [Instituto Politécnico Nacional].
https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/13037/1/Tesis_Nadia_V.Rodriguez_Hdz..pdf
- Rogers, L., & Evans, F. (1936). Cleaning Dairy Equipment with Trisodium Phosphate. *Journal of Dairy Science*, 19(12), 733–738. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(36\)96054-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(36)96054-X)
- Roque, L. (2020). *SPAN 80: Estudios de extracción y caracterización* [Universidad de Burgos].
https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/5587/Roque_Viadas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rossner, A., Snyder, S. A., & Knappe, D. R. U. (2009). Removal of emerging contaminants of concern by alternative adsorbents. *Water Research*, 43(15), 3787–3796.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.009>
- Ruíz, A. (2014). *Eliminación de hormonas persistentes en aguas residuales* [Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico y Electroquímica S.A.].
https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/348/1/Eliminación_de_hormonas_persistentes_en_aguas_residuales.pdf

- Ruiz Rojas, L. J., Gutiérrez, R., Orantes Zebadua, M. A., & Cruz, A. M. (2017). Contaminación por micotoxinas de la leche y derivados lácteos. *Quehacer Científico En Chiapas*, 12(1), 90–101. https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/2017-ener-jun/12._Contaminacion_por_micotoxinas.pdf
- Sahu, O., & Singh, N. (2019). Significance of bioadsorption process on textile industry wastewater. In *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology* (Vol. 13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102491-1.00013-7>
- Salager, L. (1988). *Detergentes, componentes, fabricación y formulas*. Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos. https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S332A_Detergentes.pdf
- Salas, P., Calle, S., Falcón, N., Pinto, C., & Espinoza, J. (2013). Determinación de residuos de antibióticos betalactámicos mediante un ensayo inmunoenzimático en leche de vacas tratadas contra mastitis. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 24(2), 252–255. <https://doi.org/10.15381/rivep.v24i2.2519>
- Salustiano, V., Andrade, N., Ribeiro, J., Fernandes, P., Lopes, J., Bernardes, P., & Portugal, J. (2010). Controlling *Bacillus cereus* adherence to stainless steel with different cleaning and sanitizing procedures used in dairy plants. *Animal Science and Technology and Inspection of Animal Products*, 62(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000600026>
- Sánchez, A. (2015). Elaboración de un manual de operaciones para el proceso de fabricación de queso fresco de calidad en la empresa Aychapicho Agro'S S.A [Escuela Politécnica Nacional]. In *Escuela politecnica nacional*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10471/1/CD-6193.pdf>
- Santos, A., Sá, J., Teodoro, V., & Pinto, M. (2008). Utilização De Dióxido De Cloro Estabilizado Em Solução Aquosa No Tratamento De Salmouras. *Revista Do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 63(364), 19–26. <https://rilct.emnuvens.com.br/rilct/article/view/60>
- Santos Ortiz, Z., Duran Cortez, M., Ortiz Rodríguez, I., Córdoba Iturbide, M. J., & López Juárez, G. (2019). *Método de conservación pasteurización*. <https://uvp.mx/uvpblog/metodo-de-conservacion-pasteurizacion/>
- Sbarbati, N. (2020). Residuos plásticos en Argentina. Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular. *Libro Digital, PDF - (Publicaciones Científicas; 16)*. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/126960/CONICET_Digital_Nro.9e595676-baf5-40ba-a649-583cb22354f1_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Schacht, P. (2021). *What All Dairy Processors Using Membranes Should Know About NPES*. ECOLAB. <https://www.ecolab.com/articles/2021/04/what-all-dairy-processors-using-membranes-should-know-about-npes>
- Senthil, R., Senthil, K., & Show, P. L. (2021). A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research. *Journal of Hazardous Materials*, 409, 124413. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124413>
- Seoáñez, C. (2003). *Manual de tratamiento reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias* (Mundi-Pre).
- Shi, W., Healy, M. G., Ashekuzzaman, S. M., Daly, K., Leahy, J. J., & Fenton, O. (2021). Dairy processing sludge and co-products: A review of present and future re-use pathways in agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 314, 128035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128035>

- SIN, (Sistema Integrado de Consulta de Clasificaciones y Nomenclatura). (2012). *Ficha técnica de productos químicos*. https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_quimico.php?id=34240.05.02
- Sitges, M. (2021). *Nuevos materiales sostenibles para el envasado de queso* [Universidad del País Vasco]. https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/54293/TFG_Sitges.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sobhani, Z., Lei, Y., Tang, Y., Wu, L., Zhang, X., Naidu, R., Mallavarapu, M., & Fang, C. (2020). Microplastics generated when opening plastic packaging. *Scientific Reports*, 10, 4841. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61146-4>
- Sosa, Z., Mahugo, C., & Santana, J. (2012). New Developments in Liquid Chromatography Mass Spectrometry for the Determination of Micropollutants. *Chromatography Research International*, 2012, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2012/748989>
- Souza, R., Gimenes, M., Costa, S., & Müller, C. (2008). Eliminación de grasas del suero de queso para obtener proteínas y lactosa. *Información Tecnológica*, 19(2), 41–50. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642008000200006>
- SPENA, G. (2016). *Tratamiento de aguas residuales en la industria láctea*. <https://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-la-industria-lactea/>
- TAUBER, (Food Industry Equipment). (2021). *Mantequillera industrial 100 kg*. <https://tauber.mx/wp-content/uploads/2021/08/Mantequillera-Industrial-para-100kg.pdf>
- Tejada, C., Quiñonez, E., & Peña, M. (2014). Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. *Universidad Militar Nueva Granada*, 10(1), 80–101. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/341/137>
- Thanekar, P., & Gogate, P. (2018). Application of hydrodynamic cavitation reactors for treatment of wastewater containing organic pollutants: Intensification using hybrid approaches. *Fluids*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/fluids3040098>
- Tipán, M., & Flores, D. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de pasteurizadora para el procesamiento de 50 litros de leche/hora* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15180/4/UPS-KT01484.pdf>
- Tirado, D., Gallo, L., Acevedo, D., & Mouthon, J. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción + Limpia*, 11(1), 171–184. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n1a16>
- Torrecilla, O. (2011). *Importancia de la limpieza química en la Industria Láctea*. Lechería. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/limpieza-en-la-industria-lactea-t29004.htm>
- Torres, C. (2021). *Estudio del impacto ambiental y a la salud humana provocado por edulcorantes artificiales como contaminantes emergentes* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24626/1/FCQ-CQA-TORRES-CAMILA.pdf>
- Torres Hidalgo, B. A. (2021). *Estudio de los microplásticos como contaminantes emergentes en la cadena productiva alimentaria continental* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24215/1/UCE-FCQ-TORRES-BYRON.pdf>
- Valbuena, E., Castro, G., Lima, K., Acosta, W., Bríñez, W., & Tovar, A. (2004). Calidad microbiológica de las principales marcas de leche pasteurizada distribuidas en la ciudad de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de*

La Universidad Del Zulia, 14(1).

- Valencia, E., & Ramírez, M. (2009). La industria de la Leche y la contaminación del Agua. *Redalyc*, 16(73), 27–31. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411996004>
- Van, A., Van, G., & Te, M. (2002). Monitoring system for improving cleaning efficiency of cleaning-in-place processes in dairy environments. *Food and Bioproducts Processing: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part C*, 80(4), 276–280. <https://doi.org/10.1205/096030802321154772>
- Van, E., Van der Fels-Klerx, H. J., Marvin, H. J. P., van Bokhorst-van de Veen, H., & Groot, M. N. (2017). Overview of Food Safety Hazards in the European Dairy Supply Chain. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 59–75. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12245>
- Vega, S., Coronado Herrera, M., Gutiérrez Tolentino, R., García Hernández, L., & Díaz González, G. (2006). Un aporte sobre la industria láctea orgánica y la innovación tecnológica. *Revista Mexicana de Agronegocios*, X(19), 0. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14101908.pdf>
- Venegas, D. (2011). *Automatización de equipo proflow modelo prohx- sn de pasteurización de la industria lechera Carchi S.A."ILCSA"* [Universidad Técnica de Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1047/1/Tesis.pdf>
- Viera, S., & Santana, J. (2013). Técnicas analíticas avanzadas para la extracción y preconcentración de contaminantes emergentes en muestras líquidas. *Revista de La Academia Canaria de Ciencias*, 25(2), 77–95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5907418&info=resumen&idioma=ENG> <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5907418&info=resumen&idioma=SPA>
- Vilanoba, G., & Sogorb, M. (2015). *Técnicas analíticas de contaminantes químicos Aplicaciones toxicológicas, mediambientales y alimentarios*. (Díaz de Sa).
- Vlková, H., Babák, V., Seydlová, R., Pavlík, I., & Schlegelova, J. (2008). Biofilms and hygiene on dairy farms and in the dairy industry: Sanitation chemical products and their effectiveness on biofilms - A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(5), 309–323. <https://doi.org/10.17221/1128-cjfs>
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). Freshwater Microplastics Emerging Environmental Contaminants? In *Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 58). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>
- Wan, N., Wan, I., & Umairah Mokhtar, S. (2020). *Various Methods for Removal, Treatment, and Detection of Emerging Water Contaminants*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93375>
- Wang, R., Yuan, Y., Yen, H., Grieneisen, M., Arnold, J., Wang, D., Wang, C., & Zhang, M. (2019). A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns. *Science of the Total Environment*, 669, 512–526. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.141>
- WHO, (World Health Organization). (1996). *Nitritotriacetic acid in Drinking-water*. 2. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/nitritotriaceticacid.pdf?sfvrsn=cd479867_4
- Wille, K., Brabander, H. F., Vanhaecke, L., Wulf, E., Van Caeter, P., & Janssen, C. R. (2012). Coupled chromatographic and mass-spectrometric techniques for the analysis of

- emerging pollutants in the aquatic environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 35, 87–108. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.12.003>
- WingChing Jones, R., & Mora Chaves, E. (2016). Composición de la leche entera cruda de bovinos antes y después del filtrado. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 203–207. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43726204019>
- Zhou, C., & Wang, Y. (2019). Structure–activity relationship of cationic surfactants as antimicrobial agents. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 45, 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2019.11.009>
- Zorrilla, P. (2018). Planta Procesadora de Lácteos. *Concebir*, 01(01), 1–104. <https://doi.org/10.18259/conc.2018017>
- Zupanc, M., Kosjek, T., Petkovšek, M., Dular, M., Kompare, B., Širok, B., Blažeka, Ž., & Heath, E. (2013). Removal of pharmaceuticals from wastewater by biological processes, hydrodynamic cavitation and UV treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1104–1112. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.12.003>