

Aguas residuales industriales en Iberoamérica

Julián Carrera Muyo
María Eugenia Suárez-Ojeda
(Coordinadores)



Red CYTED 316RT0508

Este libro es el resultado del trabajo colaborativo de diversos grupos de investigación iberoamericanos en el marco de la red temática "Tratamiento y reciclaje de aguas industriales mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos, TRITÓN" del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED.

El objetivo de la red TRITÓN es promover el tratamiento y reciclaje de aguas residuales de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) iberoamericanas mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos. Para contribuir a este objetivo, el presente libro presenta un exhaustivo informe sobre las características de las aguas residuales producidas en diversos sectores industriales iberoamericanos en los que las PYMES juegan un rol esencial.

Aguas residuales industriales en Iberoamérica

Julián Carrera Muyo
María Eugenia Suárez-Ojeda
(Coordinadores)



Red CYTED 316RT0508

Coordinadores generales:

©Julián Carrera Muyo y María Eugenia Suárez-Ojeda

Autorías:

Julián Carrera Muyo, María Eugenia Suárez-Ojeda, Raquel Montes Martínez, Claudia Echebehere, Laura Pramparo, Andrea Paola Bautista Duarte, Edgardo Contreras, Martha Lacayo, Anielka Dávila, Albert Redecillas, Christophe Bengoa, Manuel Alejandro Cuautle Marín, Germán Buitrón Méndez, João C. G. Sousa, Ana R. Ribeiro, Adrián M. T. Silva, Rolando Chamy, Estela Tapia.

Diseño gráfico: Anna Julià

♦ ♦ ♦

© Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental

Universitat Autònoma de Barcelona

C/ de les Sitges ♦ Cerdanyola del Vallès, Barcelona

Teléfono: 935 812 141

www.uab.cat

♦ ♦ ♦

© Red TRITÓN (316RT0508)

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)

www.triton-cyted.com

www.cyted.org



♦ ♦ ♦

Primera edición: octubre de 2019

ISBN: 978-84-09-13405-2

Depósito legal: B 22936-2019

Impreso en España

Impreso en Gràfiques Bassó

♦ ♦ ♦

No part of this work may be reproduced, distributed, communicated to the public, or transformed without prior authorization from its rights-holders, except as otherwise provided by law. To photocopy or scan a fragment of this work, contact (d.eng.quimica@uab.cat).

No part of this book may be reproduced, processed in a computer, or otherwise transmitted under any circumstances by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording, or other means) without written permission from the copyright holders.

Presentación

El agua es un recurso absolutamente imprescindible para la vida en nuestro planeta y, por ende, para los seres humanos. A pesar de la abundancia de agua en la Tierra, tan solo el 2,5% del total es agua dulce. Si restamos el agua dulce contenida en glaciares, hielos perpetuos y capas subterráneas, el agua dulce más accesible (ríos, lagos y embalses) solo representa el 0,3% del agua dulce total. Actualmente, el constante incremento de la población mundial, junto a los problemas medioambientales, están provocando graves problemas de disponibilidad de agua con suficiente calidad para las diversas actividades humanas.

El agua utilizada en esas actividades se contamina transformándose en lo que denominamos aguas residuales. Estas aguas residuales deben ser depuradas adecuadamente antes de ser devueltas a las masas naturales de agua (mares, ríos, acuíferos o lagos) ya que si no, provocan serios problemas medioambientales. Sin embargo, el 80% de las aguas residuales producidas en el planeta no son tratadas de forma adecuada por lo que se hace necesario tomar medidas más eficaces que las desarrolladas hasta la actualidad.

Una de las actividades humanas que consume más agua y que, por consiguiente, genera más aguas residuales es la actividad industrial. Las aguas industriales son muy heterogéneas y sus características varían mucho según el sector industrial que las produce. Además, el grado de depuración de las aguas residuales industriales no es homogéneo en todo el planeta. Mientras que en los países desarrollados se ha avanzado mucho en el tratamiento y reutilización de este tipo de aguas, en los países en vías de desarrollo, el tratamiento de estas aguas es bastante deficiente. Este problema se agrava cuando el proceso industrial es realizado por pequeñas y medianas empresas (PYMES) que tienen menos recursos económicos que las grandes empresas para afrontar la correcta depuración de sus aguas residuales.

En Iberoamérica hay diversos sectores industriales en los que la actividad de las PYMES es esencial y, en muchos casos, la depuración de las aguas residuales de estos sectores industriales es un problema ambiental importante. El primer paso hacia la adecuada implementación de medidas correctoras de esta contaminación es hacer un buen diagnóstico del problema y para ello se requiere información objetiva y contrastada.

Así pues, el presente libro pretende ayudar en ese diagnóstico presentando un exhaustivo informe sobre las características de las aguas residuales producidas en diversos sectores industriales iberoamericanos en los que las PYMES juegan un rol esencial.

Este libro es el resultado del trabajo colaborativo de diversos grupos de investigación iberoamericanos en el marco de la red temática "Tratamiento y reciclaje de aguas industriales mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos, TRITÓN" del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED. El objetivo de la red TRITÓN es promover el tratamiento y reciclaje de aguas residuales de las PYMES iberoamericana mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos.

Dr. Julián Carrera Muyo
Universitat Autònoma de Barcelona (España)
Coordinador de la red TRITÓN



Sumario

Industria del aceite de oliva	7
Industria cárnica vacuna	27
Industria del curtido	43
Industria láctea	61
Industria minera del oro	85
Industria pesquera y conservera	101
Industria química del plástico	123
Industria textil (Indústria têtil)	143
Industria vitivinícola	159



Escola d'Enginyeria (UAB). Bellaterra, Barcelona (Espanya).



Industria del aceite de oliva

Raquel Montes
María Eugenia Suárez-Ojeda
Julián Carrera

Escola d'Enginyeria
Universitat Autònoma de Barcelona
(Barcelona, España)



Universitat Autònoma de Barcelona
Escola d'Enginyeria

Índice

1. Contextualización de la industria aceitera en la Península Ibérica y en Latinoamérica	11
2. Sistemas de producción de aceite de oliva	11
3. Evolución de la producción de aceite de oliva	15
4. Caracterización y producción de los residuos en la elaboración de aceite de oliva.....	18
4.1 Consumo de agua en la producción de aceite de oliva	19
4.2 Características del agua residual producida en la elaboración de aceite de oliva	22
5. Bibliografía	25



1. Contextualización de la industria aceitera en la Península Ibérica y en Latinoamérica

El sector del aceite de oliva reviste una importancia notable a nivel internacional [1]. El olivo es uno de los cultivos históricos más importantes de la cultura mediterránea, y hoy en día supone una de las mayores fuentes de riqueza agrícola en los países del sur de la Unión Europea (España, Italia, Portugal y Grecia), norte de África (Marruecos y Túnez) y Próximo Oriente (Turquía y Siria) [2].

En la última década, la producción de aceite de oliva a nivel mundial se ha incrementado en aproximadamente un 40%. España es el principal productor y exportador del mundo de aceite de oliva, y en concreto en la región de Andalucía (que produce el 80% del total nacional y el 20% mundial), el sector oleícola tiene una importancia primordial. En Latinoamérica, Argentina y Chile son los principales productores de aceite de oliva [3].

Precisamente, debido a la elevada producción de aceite de oliva, es de vital importancia conocer la tipología de los residuos generados y realizar una correcta depuración de los mismos tras la obtención del aceite de oliva. Por ejemplo, en España se generan cada año más de 1 millón de metros cúbicos de aguas residuales procedentes de las almazaras, solo en el proceso del lavado de la aceituna [4].

El proceso de extracción del aceite en almazara genera gran cantidad de subproductos y residuos (orujos y alpechines) que exigen una gestión específica con objetivos de minimización, valorización o atenuación de su potencial impacto ambiental negativo [5].

2. Sistemas de producción de aceite de oliva

El proceso de elaboración del aceite de oliva ha evolucionado significativamente a lo largo de los años. En la **Figura 1** se muestra un esquema general del proceso de obtención del aceite de oliva en que se observan los productos, subproductos y residuos generados en el mismo.

La producción de aceite de oliva mediante la técnica tradicional en las almazaras consiste en molturar la aceituna en molinos de piedra (llamados empiedros), batir la pasta en una batidora y extraer el aceite prensando la pasta obtenida de las etapas anteriores. El sistema tradicional es la técnica más antigua y generalizada para la obtención del aceite de oliva a partir del procesado de la aceituna.

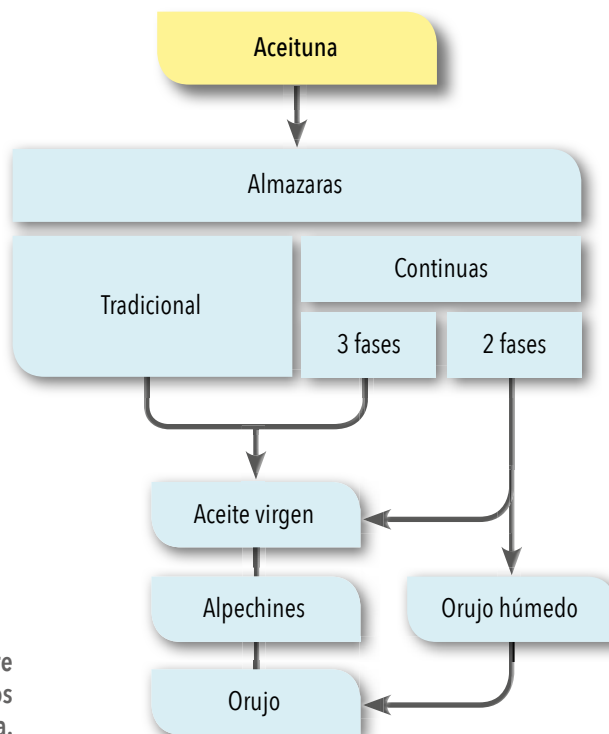


Figura 1. Esquema general sobre productos, subproductos y residuos en la industria del aceite de oliva.

En la **Figura 2** se muestra un esquema del proceso de elaboración del aceite de oliva mediante el sistema tradicional. Esta técnica requiere de equipamiento económico, es sencilla y genera poco residuo. Sin embargo, es un proceso en discontinuo y presenta un elevado coste de mano de obra. En los años 70 se comenzaron a aplicar nuevas tecnologías a la extracción del aceite con la instalación en las almazaras de los sistemas continuos. A pesar de que las razones económicas empujaron al abandono del sistema tradicional, esta técnica aún se sigue utilizando, como por ejemplo en Italia y Portugal.

En los sistemas en continuo, se sustituyen las prensas tradicionales por centrífugas horizontales, denominadas *decanter*s, que permiten extraer el aceite del resto de la pasta mediante centrifugación. Además, los empiedros son sustituidos por molinos metálicos que permiten operar en continuo. Este nuevo método presenta las siguientes ventajas: mejora la calidad del aceite, simplificación de la mecánica, elaboración en continuo, menor necesidad de mano de obra y menor superficie ocupada por la instalación.

En la **Figura 3** se muestra un diagrama de elaboración del aceite de oliva del sistema de extracción de tres fases. En la figura se puede observar que estos *decanter*s presentan tres salidas de producto:

- ♦ Aceite.
- ♦ Alpechín (fase acuosa).
- ♦ Orujo (fase sólida).

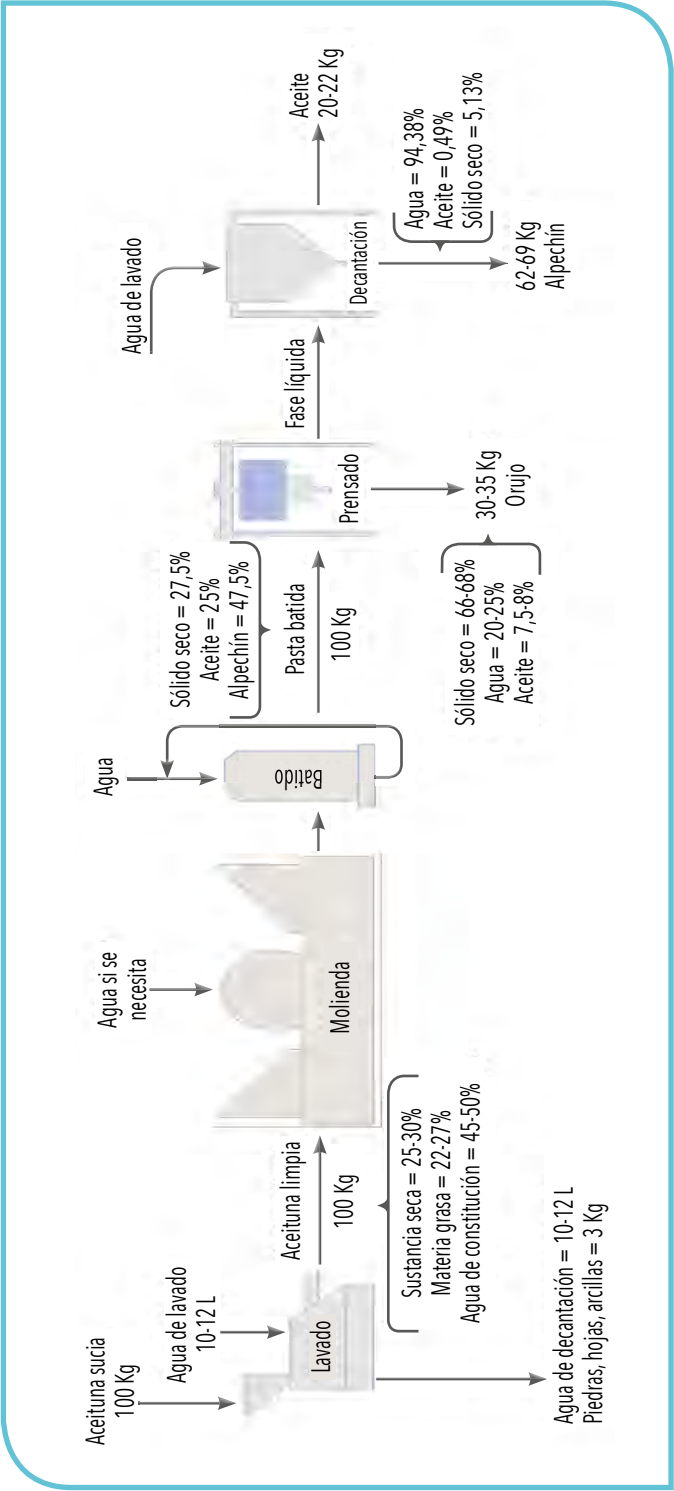


Figura 2. Diagrama de elaboración del aceite de oliva y balance de materia aproximado del sistema tradicional.
Adaptado de: Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL), Plan de Acción para el Mediterráneo [7].

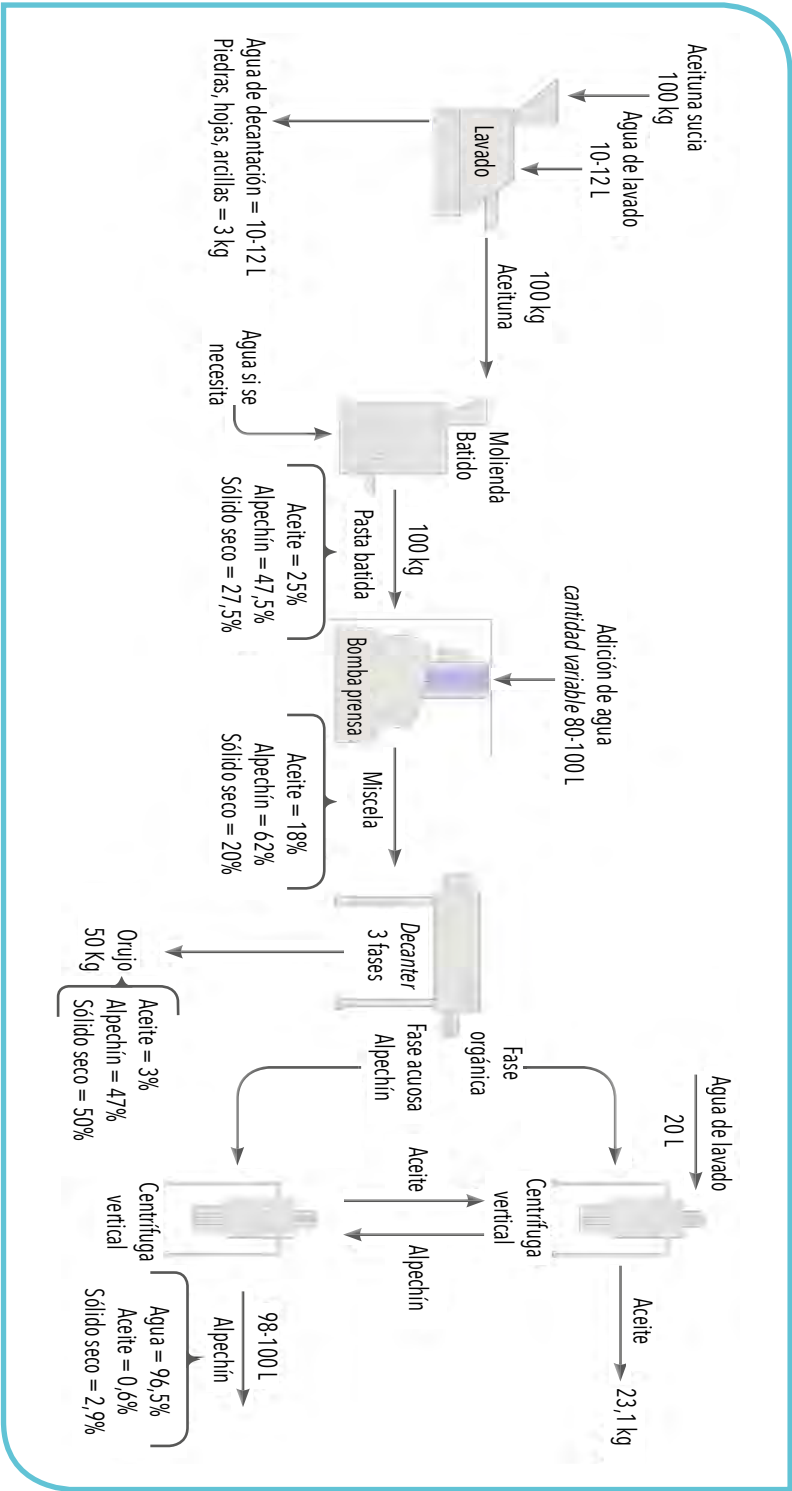


Figura 3. Diagrama de elaboración del aceite de oliva y balance de materia aproximado del sistema de extracción de tres fases.
Adaptado de: Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL), Plan de Acción para el Mediterráneo [7].

El sistema de tres fases requiere de una gran cantidad de agua y genera una gran cantidad de alpechín, lo que conlleva un gran problema medioambiental. A pesar de estas desventajas, este método es el más usado en la producción de aceite de oliva, especialmente en países en que se produce una gran cantidad de aceitunas en un período de tiempo muy corto. En los últimos años, se han introducido unidades de extracción de aceite con el sistema de tres fases en Italia, Grecia y Portugal [6]. Concretamente, en Grecia, el 70% de la producción de aceite de oliva se realiza con este sistema.

La gran cantidad de residuos generados en el proceso de extracción del aceite por el método de tres fases, junto con la cada vez más exigente legislación respecto al tratamiento y gestión de los residuos de almazara en algunos países, potenciaron el desarrollo de nuevas tecnologías. A principios de los años 90 se introduce un nuevo tipo de *decanter* de dos fases, por lo que no es necesaria la adición de grandes cantidades de agua en el mismo, razón por la cual prácticamente no se producen alpechines. Con este sistema de extracción se reduce un 75% la producción de residuos.

En la **Figura 4** se muestra el diagrama del proceso de elaboración del aceite de oliva del sistema de extracción de dos fases. En la figura se puede observar que este sistema presenta dos salidas:

- ◆ Aceite (fase oleosa).
- ◆ Alpeorujo u orujo de dos fases (alpechín + orujo).

Este sistema de dos fases es más eficiente, genera menos residuos y consume menos agua, por lo que produce menos cantidad de aguas residuales. En general, el proceso de producción de aceite de oliva, ya sea de dos o tres fases, consta de los siguientes pasos:

- ◆ **Labores previas** de recepción, limpieza y lavado.
- ◆ **Preparación de la pasta oleosa** por molturación.
- ◆ **Extracción del aceite** por termobatido, centrifugación y decantación.
- ◆ **Almacenamiento** en depósitos.

Actualmente, desde la introducción del sistema de dos fases, la producción de aceite de oliva se realiza a escala industrial preferentemente siguiendo este proceso. En España, el 90% de la producción de aceite de oliva se realiza con el sistema de dos fases.

3. Evolución de la producción de aceite de oliva

En este apartado se muestra la evolución de la producción de aceite de oliva por países en los últimos años. Concretamente se muestran los datos para España, Argentina, Chile y Perú.

Como ya se ha comentado antes, España es uno de los principales países productores de oliva del mundo. En la **Figura 5** se muestra la producción de aceite de oliva en España desde 2001 hasta 2011. Para el período mostrado, la media en la producción es

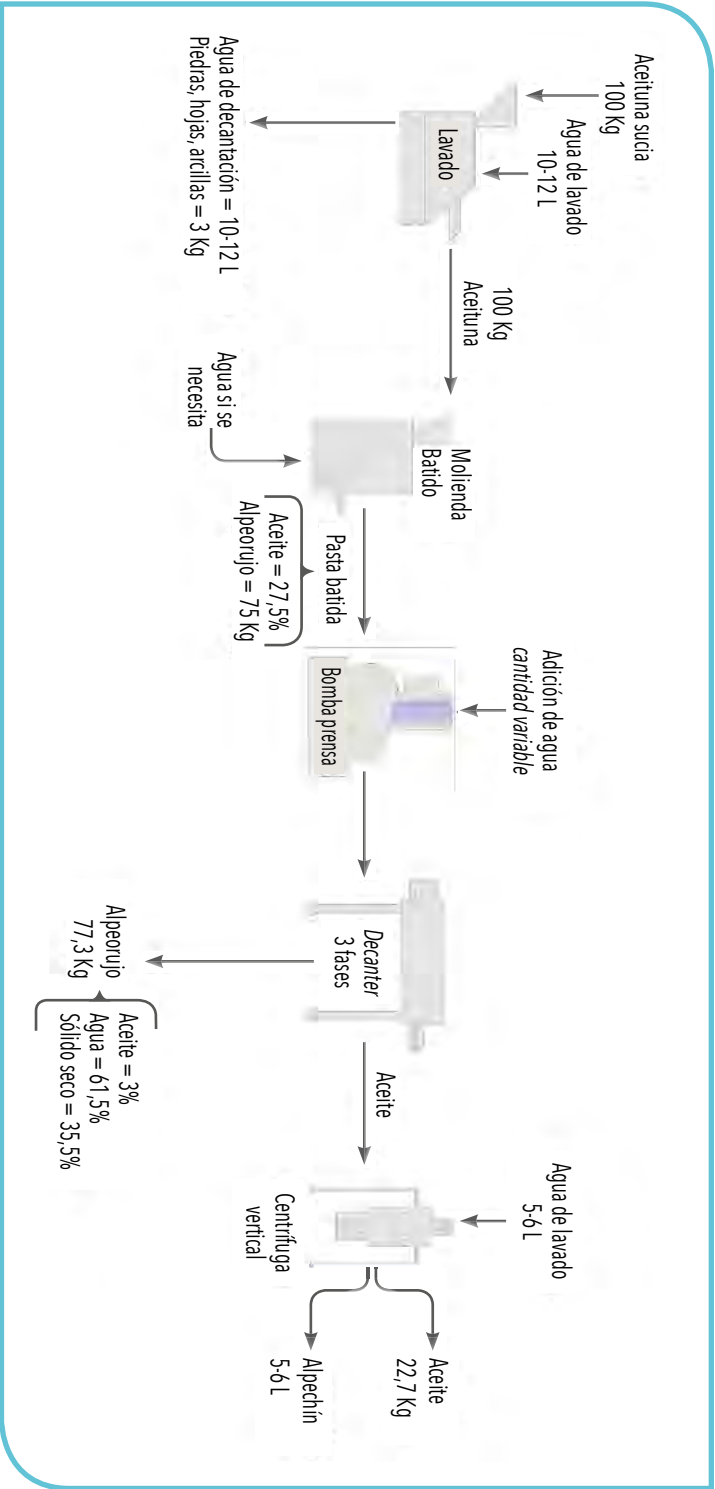


Figura 4. Diagrama de elaboración del aceite de oliva y balance de materia aproximado del sistema de extracción de dos fases. Adaptado de: Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL), Plan de Acción para el Mediterráneo [7].

de 1.094 miles de toneladas. Las oscilaciones en la producción se deben a la cantidad de aceituna cosechada, que varía en función de las condiciones climáticas cada año.

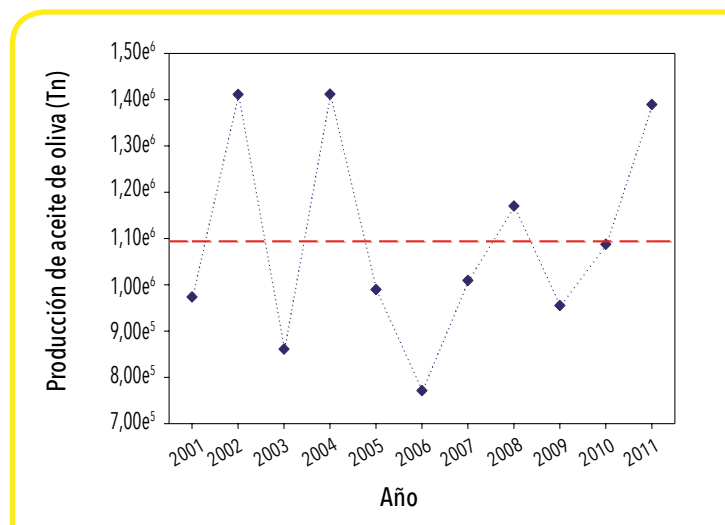


Figura 5. Evolución de la producción de aceite de oliva en España. En línea discontinua el valor medio de la producción para el período reportado.

Fuente: Informe Sectorial de Alimentos: Aceite de Oliva, Marzo 2012 y Competencia y Cadena de Valor de la producción y distribución del Aceite de Oliva en Andalucía, Analistas económicos de Andalucía [8-11].

En la **Figura 6** se muestra la producción de aceite de oliva en Argentina entre los años 2000 y 2012. Argentina es uno de los principales productores de aceite de oliva en Latinoamérica. Para este período, la media en la producción de aceite de oliva es de 17 mil toneladas.

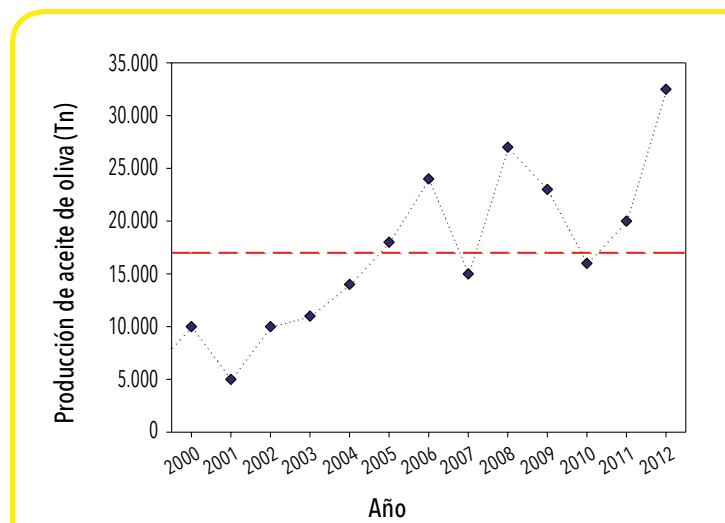
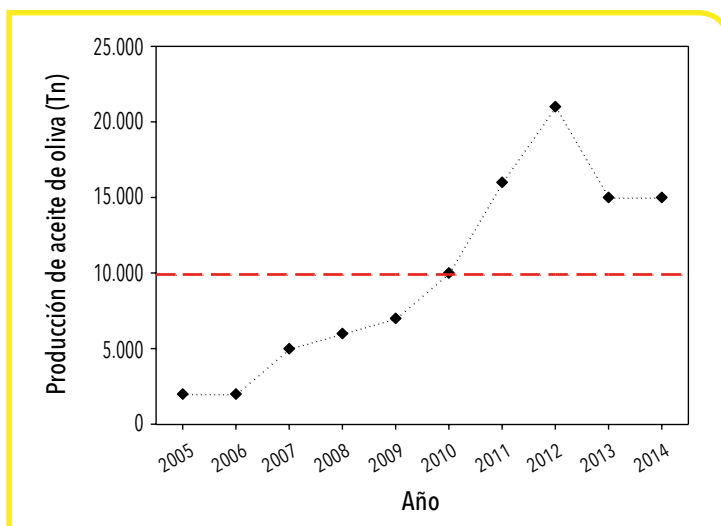


Figura 6. Evolución de la producción de aceite de oliva en Argentina. En línea discontinua el valor medio de la producción para el período reportado.

Fuente: Análisis de Ramas Productivas. Aceite de Oliva. Facultad de Ingeniería. Departamento de Gestión. 2012 y Consejo Oleícola Internacional (COI) [4].

Chile es el segundo productor latinoamericano de aceite de oliva. En la **Figura 7** se muestra la evolución en la producción de aceite de oliva para Chile entre los años 2005 y 2014. Para este período, la producción media de aceite de oliva es 9.900 toneladas.

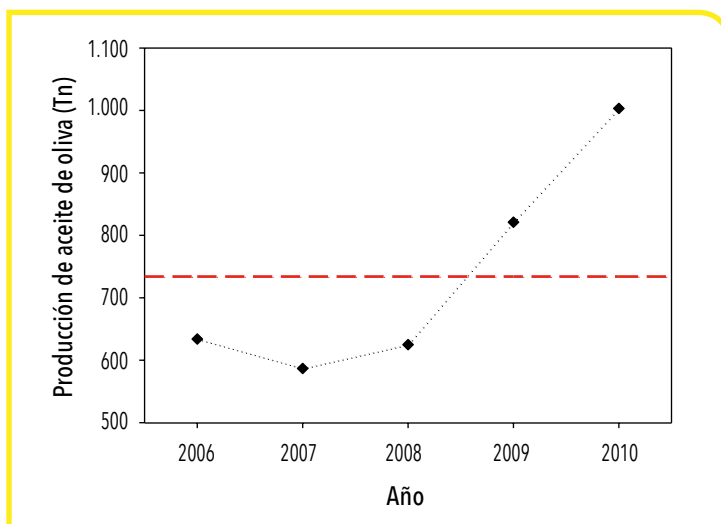
Figura 7. Evolución de la producción de aceite de oliva en Chile. En línea discontinua el valor medio de la producción para el período reportado.



Fuente: *El aceite de Oliva, Mayo 2015*. ODEPA, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile [12].

Finalmente, en la **Figura 8** se muestra la producción de aceite de oliva en Perú para el período comprendido entre el 2006 y el 2010. La producción media para este período es de 734 toneladas.

Figura 8. Evolución de la producción de aceite de oliva en Perú. En línea discontinua el valor medio de la producción para el período reportado.



Fuente: ICEX. *Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Lima, 2013* [13].

4. Caracterización y producción de los residuos en la elaboración de aceite de oliva

De media, el procesado de 100 kg de aceituna proporciona unos 20 kg de aceite. En función del proceso de producción (sistema tradicional, sistema continuo de dos fases o sistema continuo de tres fases) los efluentes y subproductos obtenidos pueden variar.

En general, los principales subproductos y residuos generados en el proceso de extracción del aceite de oliva son los siguientes:

a) Residuos líquidos

- ♦ Generados en el proceso de preparación de la aceituna para su molturación:
 - aguas de lavado del fruto.
 - aguas de escurrido de las tolvas de almacenaje.
- ♦ Generados en el proceso de extracción:
 - aguas de vegetación de la propia aceituna.
 - aguas de limpieza del aceite.
 - agua añadida en el proceso.

El conjunto de estos residuos constituye los que se denomina comúnmente alpechines.

b) Residuos sólidos

- ♦ Orujo convencional, procedente de los sistemas de prensa o continuo de tres fases.
- ♦ Alpeorujo, orujo húmedo o de dos fases.
- ♦ Restos vegetales y terrosos y piedras generados en el proceso de limpieza de aceituna de cosecha.

4.1 Consumo de agua en la producción de aceite de oliva

El consumo de agua varía en función del sistema de elaboración del aceite de oliva que se utilice:

a) Sistema tradicional

En este sistema, el consumo de agua es aproximadamente de 10-12 L por cada 100 kg de aceituna procesada, y se utiliza esencialmente para el lavado de la aceituna en la almazara.

b) Sistema de tres fases

En este sistema, el consumo de agua es notablemente superior al del sistema tradicional, aproximadamente de 100-130 L por cada 100 kg de aceituna. La distribución del consumo de agua en las almazaras es el siguiente:

- ♦ En el lavado, que suele ser en ciclo cerrado, el consumo es del orden de 10-12 L por cada 100 kg de aceituna.
- ♦ En la molienda, en ocasiones, se debe añadir agua caliente para evitar la adhesión de la pasta a la superficie, con un consumo medio de aproximadamente 25 L/kg de aceituna.
- ♦ En el batido se utiliza agua caliente en circuito cerrado.
- ♦ En la etapa de separación o centrifugado en *decanter* es donde se utiliza la mayor cantidad de agua, que debe estar caliente para facilitar el transporte. El gasto se produce en las etapas previas a la centrifugación con un gasto alrededor de 80-100 L/kg de aceituna. Para la propia centrifugación se añaden aproximadamente 20 L agua /100 kg de aceituna con el propósito de mejorar la separación.

En este proceso se obtiene aproximadamente unos 20 kg de aceite por cada 100 kg de aceituna utilizada y como subproducto 98-100 L de alpechín con un contenido en agua del 96,5%.

c) Sistema de dos fases

El consumo de agua en el sistema de dos fases es aproximadamente de 10-18 L de agua por cada 100 kg de aceituna. En el lavado el consumo es del orden de 10-12 L de agua por cada 100 kg de aceituna. Para la centrifugación se añaden aproximadamente 5-6 L de agua por cada 100 kg de aceituna.

En este proceso se obtiene aproximadamente unos 20 kg de aceite (22,7 kg de aceite) y como subproductos 77,3 kg de alpeorujo que contienen un 61,5% en agua y de 5-6 L de alpechín.

En la **Tabla 1** se muestra la comparativa de los tres sistemas utilizados en la producción de aceite de oliva donde se muestra el balance de materia y energía de acuerdo a los diagramas de flujo anteriores (ver **Figuras 2-4**). Se puede observar que el sistema continuo de tres fases es el proceso de elaboración que genera una mayor cantidad de aguas residuales derivadas del agua de lavado, así como también el que genera una mayor cantidad de alpechines.

Tabla 1. Balance de materia y energía en los tres sistemas de elaboración de aceite de oliva.

Sistema	Entradas	Cantidad	Salidas	Cantidad
Tradicional	Aceituna	1 Tn	Aceite Orujo (26% agua, 7% aceite) Alpechines (88% agua)	200 kg
	Agua lavado	100 - 120 L		400 - 600 kg
3 Fases	Consumo de energía	40 - 60 kW/h	Alpechines (94% agua, 1% aceite)	400 - 600 L
	Aceituna	1 Tn		200 kg
	Agua lavado	100 - 120 L		500 - 600 kg
	Agua añadida	800 - 1.000 L		1.000 - 1.200 L
2 Fases	Consumo de energía	90 - 117 kW/h	Aceite Alpeorujo (60% agua, 3% aceite) Agua limpieza aceite	200 kg
	Aceituna	1 Tn		800 kg
	Agua lavado	100 - 120 L		100 - 150 L
	Consumo de energía	<90 - 117 kW/h		

Fuente: Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL). Plan de Acción para el Mediterráneo [7].

En el apartado 3 se han mostrado los datos sobre la producción de aceite de oliva en diferentes países. A partir de la producción media de cada uno de estos países se puede calcular la generación de aguas residuales en la producción de aceite de oliva en función del sistema de producción utilizado (sistema continuo de tres fases, **Figura 2**, o de dos fases, **Figura 3**). Los resultados obtenidos son los que se muestran en las **Tablas 2 y 3**. A partir de los datos presentados, la elaboración del aceite de oliva por el sistema de dos fases generaría un 74,5% menos de aguas residuales comparado con las que se generarían en la elaboración mediante el sistema de tres fases.

Tabla 2. Estimación de la generación de aguas residuales en la producción del aceite de oliva mediante un sistema de tres fases.

País	Etapas del proceso	Agua residual generada en el sistema de tres fases (m ³)
España (1.094.000 Tn/año)	Lavado	$5,45 \cdot 10^9$
	Alpechines	$4,52 \cdot 10^9$
	Total (m³)	$9,97 \cdot 10^9$
Argentina (17.000 Tn/año)	Lavado	$8,46 \cdot 10^7$
	Alpechines	$7,03 \cdot 10^7$
	Total (m³)	$7,75 \cdot 10^7$
Chile (9.900 Tn/año)	Lavado	$4,93 \cdot 10^7$
	Alpechines	$4,09 \cdot 10^7$
	Total (m³)	$4,51 \cdot 10^7$
Perú (734 Tn/año)	Lavado	$3,65 \cdot 10^6$
	Alpechines	$3,04 \cdot 10^6$
	Total (m³)	$3,35 \cdot 10^6$

Tabla 3. Estimación de la generación de aguas residuales en la producción del aceite de oliva mediante un sistema de dos fases.

País	Etapas del proceso	Agua residual generada en el sistema de dos fases (m ³)
España (1.094.000 Tn/año)	Lavado	$6,27 \cdot 10^8$
	Alperorrujo	$2,29 \cdot 10^9$
	Total (m³)	$1,46 \cdot 10^9$
Argentina (17.000 Tn/año)	Lavado	$9,74 \cdot 10^6$
	Alperorrujo	$3,56 \cdot 10^7$
	Total (m³)	$2,27 \cdot 10^7$
Chile (9.900 Tn/año)	Lavado	$5,67 \cdot 10^6$
	Alperorrujo	$2,07 \cdot 10^7$
	Total (m³)	$1,32 \cdot 10^7$
Perú (734 Tn/año)	Lavado	$4,20 \cdot 10^5$
	Alperorrujo	$1,54 \cdot 10^6$
	Total (m³)	$9,80 \cdot 10^5$

4.2 Características del agua residual producida en la elaboración de aceite de oliva

La composición de los alpechines es muy variable y depende de multitud de factores entre los que hay que destacar el tipo de aceituna, el proceso de cultivo, el tiempo de almacenaje de la oliva, el clima y el proceso de elaboración del aceite [3]. En general, los alpechines, además de agua tienen como componentes mayoritarios compuestos fenólicos, azúcares y compuestos orgánicos. Además, también contienen minerales (especialmente potasio).

En el sistema tradicional y en sistema continuo de tres fases se generan una gran cantidad de alpechines. En ambos sistemas, este alpechín está compuesto principalmente por agua (94 y 97%, respectivamente). En el sistema continuo de dos fases la cantidad de alpechín generada es mucho menor, aunque igualmente está compuesto esencialmente por agua, 96%.

La composición media de los alpechines obtenidos por el sistema tradicional y el sistema continuo de tres fases es la que se muestra en la **Tabla 4**. Los alpechines generados por el sistema tradicional y el sistema continuo de tres fases presentan valores de pH

similares. Sin embargo, el sistema tradicional presenta una mayor carga contaminante ya que tanto la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) como la demanda química de oxígeno (DQO) son superiores a las generadas con el sistema de tres fases.

Tabla 4. Datos comparativos de la composición de los alpechines en función del sistema de elaboración de aceite de oliva.

Parámetro	Sistema tradicional	Sistema continuo de tres fases
pH	4,5 - 5,0	4,7 - 5,2
DBO ₅ (g/L)	120 - 130	45 - 60
DQO (g/L)	90 - 100	35 - 41
Sólidos en suspensión (g/L)	1	9
Sólidos totales (g/L)	120	60
Sales minerales (g/L)	15	5
Sustancias volátiles (g/L)	105	55
Grasa (g/L)	0,5 - 1,0	3 - 10
Polifenoles (%)	1,0 - 2,4	0,5
Densidad (g/cm ³)	0,99	0,99

Fuente: Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL). Plan de Acción para el Mediterráneo. Enero 2000 [7].

En el sistema continuo de dos fases, como ya se ha comentado, la generación de alpechines es más baja que en los otros dos sistemas de producción. Sin embargo, se genera un subproducto de consistencia pastosa denominado alpeorujo. Este residuo está constituido por un 61,5% de agua, un 35,5% de sólido seco y un 3% de aceite. Este residuo es más difícil de tratar que los alpechines ya que la carga contaminante está más concentrada. Por este motivo, a pesar de presentar ciertas ventajas respecto a los otros métodos, la problemática en el tratamiento de este residuo hace que los otros sistemas de producción se sigan utilizando [6].

Finalmente, en la **Tabla 5** se muestra las características del alpeorujo obtenido en un sistema de dos fases. Este alpeorujo presenta un valor de pH ligeramente superior al de los alpechines. El contenido en materia orgánica de este alpeorujo es superior al del alpechín obtenido por el sistema continuo de tres fases.

Tabla 5. Composición media del alpeorujo obtenido en el sistema continuo de dos fases [14].

Parámetro	Valor
pH	5,38
Conductividad (dS/m)	4,64
Contenido en materia orgánica (g/L)	94,80
Contenido en carbono (g/kg)	486,0
Contenido en nitrógeno (g/kg)	13,4
NH ₃ ⁺ (mg/kg)	63
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	16
Lignina (g/kg)	344,7
Celulosa (g/kg)	178,7
Hemicelulosa (g/kg)	350,3
Potasio (g/kg)	10,4
Grasas (g/kg)	99,2



5. Bibliografía

- [1] Albuquerque, J., 2004. Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology* 91, 195-200.
- [2] Roig, A., Cayuela, M. L., Sánchez-Monedero, M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorisation methods, *Waste Management* 26, 960-969.
- [3] Cano Marchal, P., Gómez Ortega, J., Aguilera Puerto, D., Gámez García, J., 2011. Situación actual y perspectivas futuras del control del proceso de elaboración del aceite de oliva virgen, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 8, 258-269.
- [4] Consejo Oleícola Internacional (COI), <http://www.internationaloliveoil.org>, (2017).
- [5] Wiesman, Z., 2009. Olive-mill wastes : treatment and product biotechnologies, in: *Desert Olive Oil Cultivation: Advanced Biotechnologies*, Elsevier, pp. 243-255.
- [6] Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Mouliti-Mati, F., Michaud, P., 2013. Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry* 48, 1532-1552.
- [7] Centro de Actividad Regional para el Consumo y la Producción Sostenibles (SCP/RAC), <http://www.cprac.org>, (2017).
- [8] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, <http://www.magrama.gob.es/es/>, (2017).
- [9] Agencia para el Aceite de Oliva, <http://aplicaciones.mapa.es/pW/AgenciaAO/General.aao>, (2017).
- [10] Asociación Nacional de Industriales Envasadores y Refinadores de Aceites Comestibles, <http://www.anierac.es>, (2017).
- [11] Asociación Española de la Industria y el Comercio Exportador del Aceite de Oliva (ASOLIVA), <http://asoliva.es>, (2017).
- [12] Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile (ODEPA), <http://www.odepa.gob.cl>, (2017).
- [13] Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX), <http://www.icex.es>, (2017).
- [14] G. Tortosa, J. A. Albuquerque, G. Ait-Baddi, J. Cegarra, The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two-phase olive mill waste ("alperujo"), *J. Clean. Prod.* 26 (2012) 48-55. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.008.



Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE). Montevideo (Uruguay).

Industria cárnica vacuna

Claudia Etchebehere

Instituto de Investigaciones Biológicas
Clemente Estable
(Montevideo, Uruguay)



Índice



1. Contextualización de la industria cárnica vacuna en la Península Ibérica y en Latinoamérica	31
2. Sistemas de producción involucrados en la industria cárnica vacuna	32
3. Evolución de la producción de carne	35
4. Caracterización y producción de los residuos en la industria cárnica vacuna	36
4.1 Consumo de agua en la producción de carne vacuna	37
4.2 Características del agua residual producida en la producción de carne vacuna	38
5. Bibliografía	41

1. Contextualización de la industria cárnica vacuna en la Península Ibérica y en Latinoamérica

A partir del establecimiento de la industria frigorífica, la producción y el consumo de carne a nivel mundial ha ido creciendo continuamente. El tipo de carne que más se consume a nivel mundial es la porcina, seguida de la avícola y de la vacuna. Con respecto a la producción de carne vacuna, los principales países productores a nivel mundial son EE.UU., Brasil, China e India (**Figura 1**) [1].

La India se ha incorporado recientemente al mercado de carne de búfalo. En Europa los principales productores son Alemania y Francia, mientras que en Latinoamérica, el líder es Brasil y le siguen México, Argentina, Paraguay y Uruguay (**Figura 2**) [1].

Los países de Iberoamérica, por su parte, producen el 27% de la carne a nivel mundial con una fuerte participación de Brasil (**Figura 3**). En la Península Ibérica la producción de carne vacuna es del orden de 700 mil toneladas mientras que en Latinoamérica es de 1.500 miles de toneladas [1].

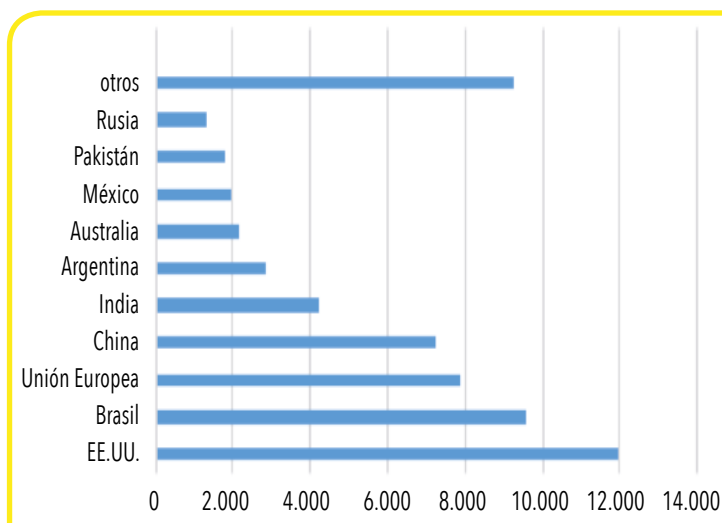


Figura 1. Producción de carne vacuna a nivel mundial en miles de toneladas métricas.

Fuente: USDA informe abril 2018 [1].

Figura 2. Producción de carne vacuna en Iberoamérica en miles de toneladas métricas [1].

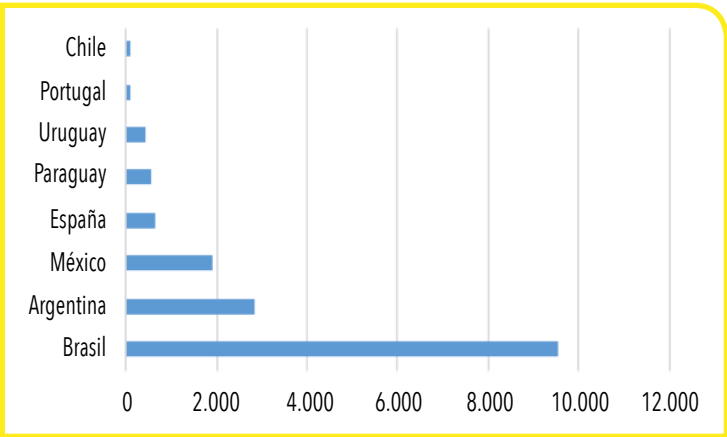
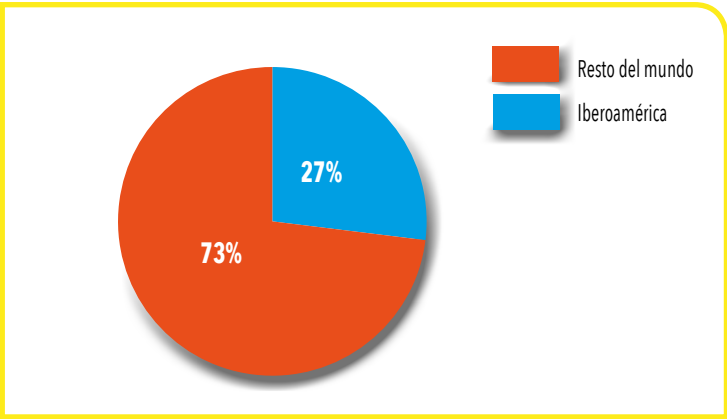


Figura 3. Porcentaje de carne vacuna producida por Iberoamérica con respecto al resto del mundo [1].



2. Sistemas de producción involucrados en la industria cárnica vacuna

La primera etapa de producción es la etapa de cría y engorde de animales. En Latinoamérica este proceso se desarrolla principalmente en campo, por lo cual el ganado se encuentra disperso. Debido a ello el impacto ambiental es disperso y no se generan residuos en forma concentrada, por lo cual no se incluye esta etapa en el estudio.

El proceso posterior a la cría de ganado ocurre en las industrias de faenado y frigoríficas llamadas también mataderos, en las cuales se procesa el ganado para producir la carne vacuna industrializada.

El proceso consta de las siguientes etapas (**Figura 4**) [2]:

1. Recepción de ganado y corrales

En esta etapa, el ganado se recepciona en corrales especiales donde se deja reposar el animal previamente al sacrificio. Aquí se genera un residuo constitui-

do principalmente por estiércol y las aguas de lavado, se forma un efluente que constituye parte de las llamadas aguas verdes.

2. Evaluación veterinaria

Los animales son sometidos a un estudio veterinario que permite eliminar los animales considerados enfermos. En esta etapa puede haber descarte de animales que deben ser incinerados.

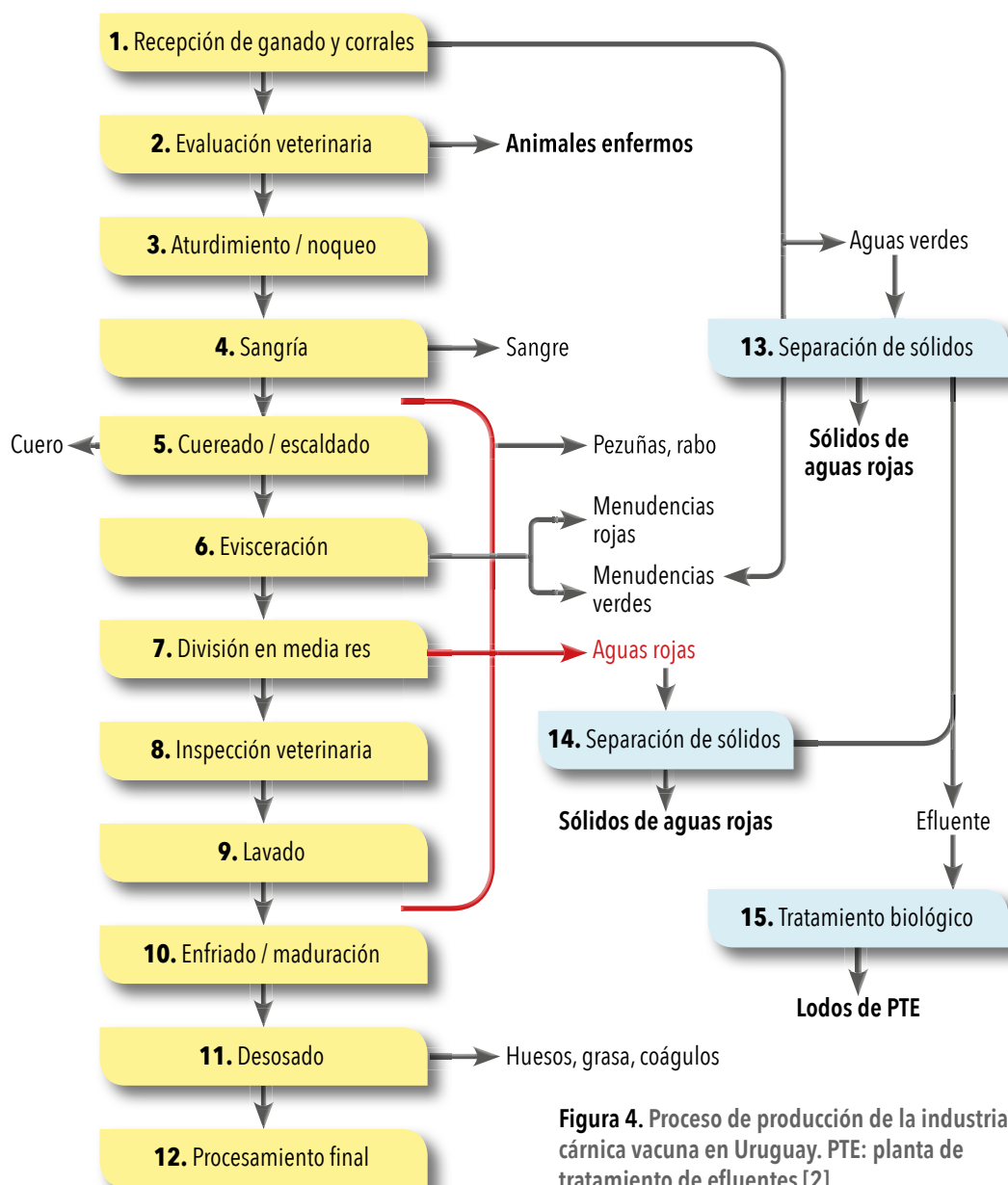


Figura 4. Proceso de producción de la industria cárnica vacuna en Uruguay. PTE: planta de tratamiento de efluentes [2].

3. Aturdimiento/noqueo

Esta es la etapa previa a la muerte del animal, en general se utiliza un disparo con pistola neumática o una descarga eléctrica o ambos procesos de manera que el animal no sufra en la etapa de muerte por sangrado.

4. Sangría

Se realiza un corte en las arterias del cuello de manera que el animal muere por desangrado. Dependiendo del destino de la carne, este proceso puede requerir un ritual especial como es el caso de la carne Kosher y la carne destinada a mercados musulmanes.

5. Cuereado/escaldado

En esta etapa se corta las extremidades del animal y los cuernos para realizar el cuereado o escaldado. Se separa la cabeza del animal que es lavada e inspeccionada.

6. Evisceración

El animal se corta longitudinalmente para extraer las menudencias que se separan en rojas y verdes. Aquí se genera una corriente de aguas verdes y otra de aguas rojas.

7. División en media res

El animal es cortado con sierra eléctrica a lo largo de la columna de manera de generar dos canales o carcasas. Se llama canal al cuerpo del animal sacrificado, sangrado, desollado, eviscerado, sin cabeza ni extremidades. La canal es el producto primario; es un paso intermedio en la producción de carne, que es el producto terminado.

8. Inspección veterinaria

Se realiza la inspección sanitaria y de calidad de las canales, vísceras y cabezas. Si no cumplen con la calidad requerida, se eliminan por desnaturalización de manera que no puedan ser utilizadas como alimento.

9. Lavado

Posteriormente las canales se lavan y se pesan. Hasta esta etapa se generan lo que se llaman aguas rojas como efluentes provenientes principalmente del lavado.

10. Enfriado/maduración

En esta etapa las canales se enfrían en condiciones controladas para facilitar su procesamiento posterior. Las piezas de carne se pueden vender enteras, en canal o pueden pasar antes por una etapa de despique a partir de la cual se obtienen piezas más pequeñas. Además, dependiendo del estado del mercado, las canales o las piezas de carne se pueden almacenar durante un tiempo en las cámaras de congelación para posteriormente pasar a la venta.

II. Desosado

Se realiza luego la eliminación de huesos y exceso de grasa, por lo tanto en esta etapa se genera grasa y huesos como subproductos. Parte de estos subproductos son utilizados.

12. Procesamiento final

Esta es la etapa final del proceso donde las carnes se cortan y se deshuesan para generar los diferentes productos. Se puede incluir también el envasado al vacío, enfriamiento y congelado dependiendo de cómo se vaya a comercializar el producto final.

3. Evolución de la producción de carne

La producción mundial de carne bovina se está expandiendo entre los principales países productores, en base a aumentos en EE.UU. y América del Sur. Para 2017, el USDA proyectó un incremento de 1,4% interanual, hasta 61,5 millones de toneladas, marcando un récord histórico [3]. Desde 1960 el mercado cárnico se incrementó en un 161% [3]. En la **Figura 5** se observa el aumento de la producción en los últimos 10 años. En Latinoamérica esta evolución esta mediada por Brasil, gracias al incremento de su stock vacuno. Brasil ha demostrado a lo largo del período 1993-2013 un crecimiento del 71,24%. Lo mismo que para la última década, cuando el crecimiento fue de 31,01% y los últimos dos años del 3,95% [4].

Esto se verá acompañado por una fuerte demanda de exportaciones, dado el soporte de un real brasileño relativamente débil y una mejora en el acceso a China, Arabia Saudita y EE.UU. [3].

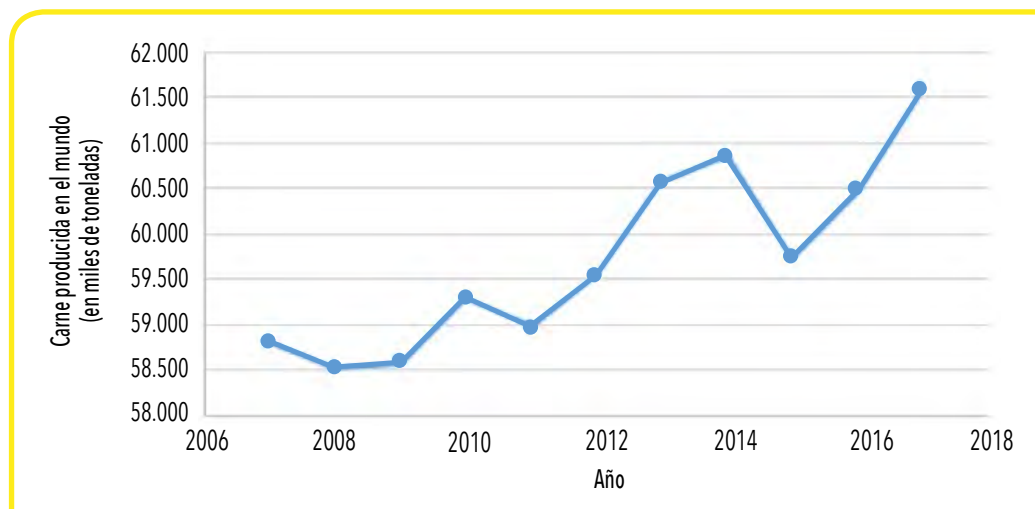


Figura 5. Evolución de la producción de carne a nivel mundial en los últimos 10 años (en miles de toneladas) [3].

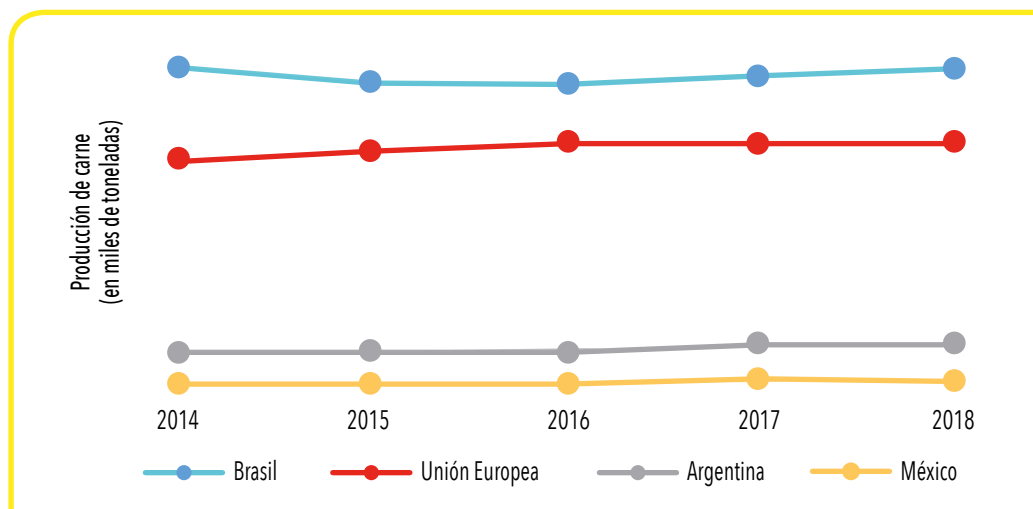


Figura 6. Evolución de la producción de carne vacuna en los principales países de Latinoamérica y en la Unión Europea en los últimos 4 años [1] y [3].

4. Caracterización y producción de los residuos en la industria cárnica vacuna

a) Residuos líquidos

Se clasifican en dos corrientes, aguas verdes y aguas rojas que se producen de forma separada. Las aguas verdes se generan en el lavado de los corrales y en la etapa de eliminación de vísceras. Las aguas rojas se generan durante el desangrado del animal y el lavado del procesamiento posterior de la carne. En algunos establecimientos los dos tipos de aguas no van por corrientes separadas [2].

b) Residuos sólidos

Los residuos sólidos generados resultan del tratamiento de las aguas verdes, el estiércol, el contenido ruminal y los sólidos generados durante el tratamiento de las aguas rojas. Un residuo importante son los animales que se descartan por no cumplir con los controles de sanidad y de calidad. Estos animales deben ser incinerados junto con los restos de sistema nervioso.

De acuerdo a información de Instituto Nacional de Carnes de Uruguay (INAC), por cabeza bovina se generan 36 kg de contenido ruminal. A esto debemos sumar 5 kg por cabeza de estiércol recolectado en corrales y 4 kg por cabeza de sólidos separados en la línea de aguas rojas. En el contenido ruminal, el contenido medio de sólidos secos es del 13%, de los cuales el 90% son sólidos volátiles. Para el resto de los sólidos se asume un 15% de sólidos secos con 80% de sólidos volátiles. La práctica más extendida para disponer estos residuos es su vertido

en el campo, aunque existen otras prácticas como la quema, el uso por parte de ladrilleras y para alimento de cerdos [2].

4.1 Consumo de agua en la producción de carne vacuna

El consumo de agua en la producción de carne es variable según el establecimiento, sin embargo, se estima que por kilo de carne procesada se utilizan unos 5 litros de agua en promedio [5]. De acuerdo a la cantidad de carne producida en cada país es posible estimar la cantidad de agua que se utiliza en la industria cárnica (Tabla 1). Según estas estimaciones en el país con mayor producción de Iberoamérica, que es Brasil, se generan un total de 8,5 millones de m³ de efluentes. Si se toma en cuenta la extensión del país, y dividimos el volumen de agua residual generada entre esta superficie, el más afectado por esta industria es Uruguay, seguido de Paraguay y España (Tabla 1). Esto indica una gran incidencia de estas aguas residuales en estos países que tienen menor tamaño y una gran producción cárnica.

Tabla 1. Estimación del volumen de efluentes líquidos generados en la industria cárnica vacuna en los principales países productores de Iberoamérica. Los valores de la producción de carne fueron tomados de [1], para determinar el volumen de efluente generado se estimó un consumo promedio de 5 litros de agua por kilo de carne producida.

	Volumen de carne producida (miles de toneladas)	Volumen de efluente líquido producido (m ³)	Superficie del país (km ²)	Volumen de efluente generado por superficie del país (m ³ /km ²)
España	640.000	3.200.000	505.990	6,3
Portugal	91.100	4.55.500	92.212	4,9
Paraguay	550.000	2.750.000	406.752	6,8
Uruguay	442.631	2.213.155	176.215	12,6
Chile	84.306	421.530	756.102	0,6
Argentina	2.850.000	14.250.000	2.780.000	5,1
México	1.910.000	9.550.000	1.964.000	4,9
Brasil	9.620.000	48.100.000	8.500.000	5,7

De acuerdo con la distribución del consumo de agua en esta industria un gran porcentaje del agua proviene de la limpieza de las instalaciones según se muestra en el ejemplo tomado de la industria en el Reino Unido (Tabla 2) (6). Las características de estas aguas residuales dependerán de la etapa del proceso en la cual se genere esta corriente de agua.

Tabla 2. Distribución del uso de agua en las diferentes etapas de la industria cárnica vacuna en el Reino Unido según “BREF on BATs in the Slaughterhouses and Animal Byproducts Industries” [5].

Etapas del proceso	Consumos relativos de agua en % de peso vivo de animal
Limpieza de instalaciones y equipos	33
Limpieza de vehículos	5
Limpieza de establos	3
Esterilización de utensilios	5
Lavado de producto	31
Escaldado	7
Agua de refrigeración	6
Aguas sanitarias	10

4.2 Características del agua residual producida en la producción de carne vacuna

Por lo general, el agua arrastra moderadas cantidades de purines, restos de carne, sangre, pelos, trozos de vísceras y grasa superficial entre otros residuos, que en su conjunto hacen que el agua tenga un elevado contenido de materia orgánica, materias en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno (amoniaco y orgánico), fosfatos y detergentes y desinfectantes de las limpiezas. Además, la carga de las aguas residuales varía en gran medida en función del día e incluso hora a hora [6].

Las etapas del proceso en las cuales se generan efluentes líquidos son las siguientes:

a) Estabulación

Las aguas generadas provienen del lavado de los corrales y están compuestas por las deyecciones y orines de las reses. Este agua residual tiene alto contenido de amonio y de materia orgánica. Se estima unos 20,3 kg de estiércol por animal por día con una DBO₅ de 544 g/día [5].

b) Desangrado

En esta etapa se vierte una gran cantidad de sangre con alto contenido de materia orgánica (C) y nitrógeno (N). La sangre aporta una DQO total de 375 g/L con una relación C/N de 3:4. Como parte de la sangre se aprovecha en el propio proceso, se estima que entre un 15 y 20% de la sangre va a parar al efluente final.

c) Escaldado

En esta etapa se realiza el pelado de la res, por lo que el vertido tendrá pelos, sangre, grasa y otros sólidos en suspensión.

d) Evisceración

En esta fase se producen una gran cantidad de sólidos en suspensión como trozos de vísceras, grasas, sangre y contenido ruminal. El volumen de agua utilizada en esta etapa es bajo en relación a las otras etapas.

e) Lavado de las canales

En esta etapa se utiliza gran cantidad de agua, el residuo tiene alto contenido en materia orgánica así como de productos desinfectantes y detergentes.

f) Limpieza de equipos

También se utiliza una gran cantidad de agua que contiene materia orgánica, detergentes y desinfectantes.

En la **Tabla 3** se muestran los parámetros estimados del agua residual de la industria cárnica (mataderos y frigoríficos). Se destaca el alto contenido de materia orgánica y el alto contenido de amonio. En cuanto a la composición química estará formada por proteínas y grasas fundamentalmente, además de pequeñas cantidades de detergentes y desinfectantes. También contienen hidratos de carbono como glucosa y celulosa, y generalmente detergentes y desinfectantes. Cabe destacar que estas corrientes presentan un contenido de microorganismos patógenos importante [5].

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de los parámetros característicos del agua residual generada en la industria cárnica vacuna [5].

	Parámetros valor (mg/L)	
	Mínimo	Máximo
DQO	3.000	6.000
DBO ₅	500	3.000
Sólidos en suspensión	1.000	2.500
pH (unidades de pH)	6,8	8,0
Aceites y grasas	500	1.500
NTK	150	300
Nitrógeno amoniacal	65	80
Fosfato	20	25

En cuanto a los componentes de las diferentes aguas residuales generadas que aportan para esos parámetros, se puede ver en la **Tabla 4** que gran parte de la materia orgánica la aportan la sangre, aguas de escaldado, purín, estiércol y contenido ruminal. También se observa un aporte importante de la sangre, purines, estiércol en el contenido de nitrógeno de estas aguas, lo que confiere una característica importante de este tipo de agua residual.

Tabla 4. Principales fuentes de los contaminantes de las aguas residuales de la industria cárnica [5].

Parámetros	Principales fuentes
Materia orgánica (DQO, DBO ₅)	Sangre, aguas de escaldado, purín, estiércol, contenido ruminal.
Sólidos en suspensión	Purín, estiercol, contenido ruminal, pelos, restos de carne.
Aceites y grasas	Aguas de escaldado, lavado de canales.
Fosfatos, nitrógeno y sales	Purín estiércol, contenido runimal, sangre, detergentes, desinfectantes.
Detergentes y desinfectantes	Detergentes y desinfectantes utilizados en el lavado.
Conductividad eléctrica	En los casos de mataderos que incluyan alguna etapa de salado.



5. Bibliografía

- [1] USDA informe 2018. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- [2] Identificación de residuos en el Uruguay posibles de ser valorizados por digestión anaerobia y estimación de su potencial de metanización. Elaborado por Grupo BioProA, Facultad de Ingeniería, UDELAR. <http://biovalor.gub.uy/documents/20182/34669/Identificación+de+residuos+en+Uruguay/8e36c715-075b-4588-b2a3-672d6d7d49a8>
- [3] <https://www.valorcarne.com.ar/fuerte-dinamismo-del-mercado-mundial-de-carne-en-2017/>
- [4] Análisis del mercado mundial de carnes, Mg. Valeria Errecart, Escuela de Economía y Negocios, Universidad de San Martín. http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/CERE%20-%20Mayo%20-%202015.pdf
- [5] Los vertidos de mataderos en industrias cárnicas. Jose Antonio Andrades Balao Escuela Organización Industrial. Sevilla. Abril 2008. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19962/los-vertidos-de-los-mataderos-e-industrias-carnicas>.
- [6] <http://aguasindustriales.es/origen-y-composicion-de-las-aguas-residuales-en-mataderos/>



Universidad Militar Nueva Granada (UMNG). Bogotá (Colombia).

Industria del curtido

Paola Andrea Bautista
Laura Pramparo

Universidad Militar Nueva Granada
(Bogotá, Colombia)



Índice

1. Contextualización de la industria del curtido en la Península Ibérica y en Latinoamérica	47
2. Sistemas de producción de curtido	48
2.1 Etapa de <i>ribera</i>	49
2.2 Etapa de curtido	49
2.3 Etapa de acabado en húmedo	50
2.4 Etapa de acabado en seco	51
3. Evolución de la producción de curtido en Colombia	51
4. Caracterización y producción de agua residual en la producción del curtido	53
4.1 Consumo de agua	53
4.2 Características del agua residual producida en el proceso de curtido	54
4.3 Producción más limpia en la industria del curtido	58
5. Bibliografía	59



1. Contextualización de la industria del curtido en la Península Ibérica y en Latinoamérica

El sector curtiembre se especializa en el curtido de pieles de animales vacunos, ovinos y caprinos para transformarlas en materiales duraderos en el tiempo, flexibles, y que sea la materia prima para la industria marroquinera, talabartera, calzado, entre otros [1]. El curtido es una técnica antigua que busca la estabilización de la materia orgánica, para que de esta manera se evite los procesos de descomposición y, por tanto, es necesario el uso de diferentes sustancias químicas para su preservación [2].

Países como Venezuela, Perú, Colombia, Ecuador y Argentina han sido grandes exportadores de cuero a lo largo de la historia. En el caso de Argentina, se conoce que la industria de las curtiembres inicia en el siglo XVII cuando se comienza la exportación a Europa. La zona donde hay mayor concentración de esta industria se encuentra cercana a la cuenca de Matanza-Riachuelo, en la provincia de Buenos Aires [3]. Para Argentina se conoce que existen cerca de 170 compañías que se dedican a las curtiembres y las consideran responsables de casi el 50% de los procesos de degradación ambiental en el país. Se estima que el proceso utiliza cerca de 1 m³ de agua por cada metro de cuero a tratar; dentro de los efluentes que se generan se encuentra: cromo, altos contenidos de materia oxidable, desechos sólidos como son elementos putrescibles, residuos de piel, emisiones de compuestos orgánicos volátiles, H₂S, NH₃, entre otros [3].

Para el caso de Venezuela, no se tiene claridad sobre el número de empresas que se dedican al sector curtiembre, sin embargo, se conoce que la actividad se realiza de manera artesanal y sin la infraestructura adecuada para reducir los impactos ambientales [4]. En Perú, la oferta de la industria de curtiembres se caracteriza por realizar una sobreproducción de material para la demanda del mercado, se considera que se realiza de manera informal, donde la inversión en maquinaria tecnificada es mínima y el control sobre los vertimientos es inadecuado [5].

Para México, en el estado de Guanajuato las curtiembres datan desde el siglo XVII y han seguido operando de manera tradicional. En la actualidad, específicamente para la ciudad de León del estado en mención, el 86% de su PIB corresponde a la industria del curtido. El 60% de la producción se utiliza para la industria automotriz y el 40% para la producción de muebles y zapatos. Como en la mayoría de los países latinoamericanos, el 90% de las empresas se encuentran organizadas en micro, pequeña y media industria y bajos procesos de innovación, mejoramiento de tecnología y alto impacto a nivel ambiental [6].

En Nicaragua, durante la década de los años 60 y 70, la industria del curtido estuvo en crecimiento constante hasta que en los años 80 por factores internos se paralizó el desarrollo industrial en el país y en los años 90 se reactiva la economía. Tomando en cuenta lo anterior, la maquinaria con la que cuenta la industria de las curtiembres, en muchos casos, datan de los años 70, siendo obsoletas [7].

En cuanto a la industria del curtido de España, se conoce que la producción nacional es baja, con respecto a la importación que se realiza de otros países. Durante el año 2015 se registró un total de 1.599 empresas que se dedicaban al sector curtido incluyendo curtiembres y marroquinerías, ubicadas en zonas tradicionales como Andalucía, Valencia, Cataluña, Murcia, entre otros. En general, el cuero producido se dedica a la fabricación de bolsos (50%), seguido de prendas de vestir (18%) y el resto se dedica a los accesorios [8]. En general, para los países iberoamericanos el desarrollo del sector curtiembre se presenta a nivel de pequeña y mediana empresa, con excepción de Argentina que cuenta con un gran desarrollo tecnológico.

Las curtiembres en Colombia inician en los años veinte como una actividad productiva en el municipio de Antioquia principalmente. Más tarde, en los años cincuenta la movilización de habitantes al departamento de Cundinamarca donde se instalan diversas familias que se dedican a las curtiembres, más exactamente en los municipios de Villapinzón y Chocontá ubicados en la cuenca alta del río Bogotá. En los años sesenta se presentan en el área de San Benito, cercano al río Tunjuelito, nuevas curtiembres en el departamento [3]. Las curtiembres en Colombia se pueden categorizar como: empresas formales que procesan cerca del 48% del total de pieles curtidas; y cerca del 26% pueden relacionarse a medianas empresas que cuentan con procesos artesanales de producción mientras que el porcentaje restante se atribuye a pequeñas empresas, algunas familiares y que no se encuentran legalmente constituidas [9].

Según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, para el año 2016 en su informe de gestión, se conoce que hay cerca de 664 curtiembres en el país, donde el mayor porcentaje se encuentran ubicadas en el departamento de Cundinamarca (81,33%), seguido del departamento de Nariño (9,64%), Quindío (4,07%), Valle del Cauca (3,31%), y una baja participación en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Risaralda entre otros [3].

2. Sistemas de producción de curtido

Normalmente, las empresas dedicadas al curtido de pieles emplean insumos químicos similares y la cantidad en que se utiliza varía según la calidad de las pieles a tratar y el conocimiento de la persona que realice el curtido. En general, el proceso inicia luego del sacrificio del animal y su comercialización puede darse como pieles frescas o pieles saladas [10].

El proceso de curtido se realiza en cuatro etapas [11]:

1. *Ribera*.
2. Curtido.
3. Acabado en húmedo.
4. Acabado en seco.

2.1 Etapa de *ribera*

En esta etapa se inicia con la preparación de la piel para ser curtida, sea una piel fresca o salada, debe limpiarse y acondicionarse, hasta que se obtengan dos capas [16]. Los pasos dentro de esta operación unitaria son (Figura 1):

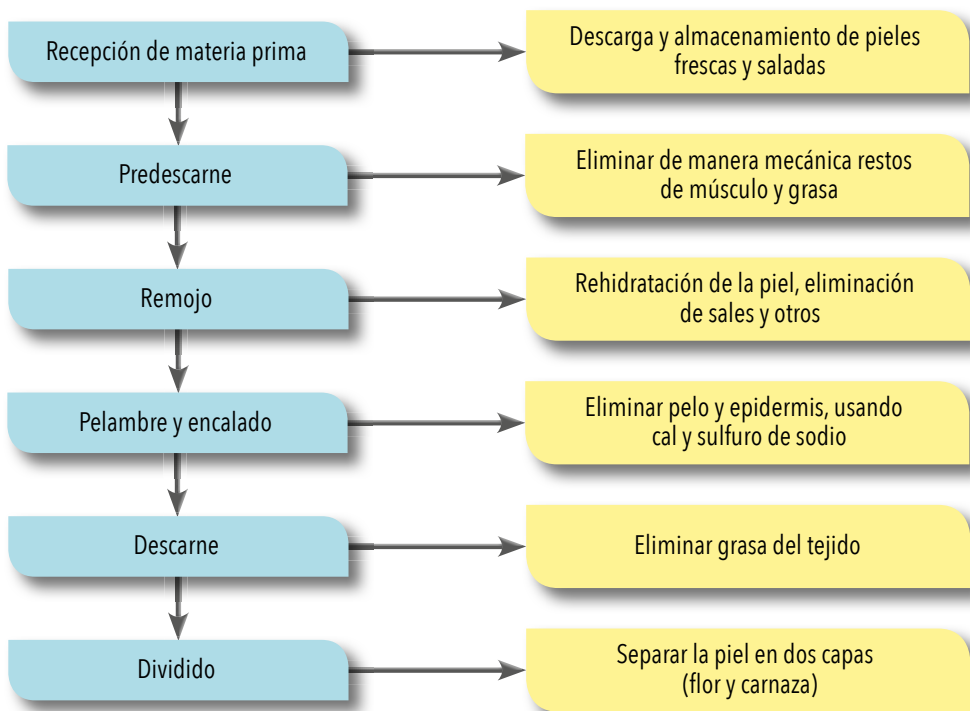


Figura 1. Procesos etapa de *ribera* [11], adaptado por los autores.

En la etapa de *ribera* es fundamental eliminar las impurezas de las pieles, que puede darse de manera manual o por medio de lavados, donde se adicionan sustancias como sulfuro de sodio, cal humectante y óxido de calcio.

2.2 Etapa de curtido

En la etapa de curtido se busca preparar las pieles para ser reformadas en materiales con una resistencia mayor al de su estado inicial, que puedan soportar los procesos de

degradación, y por tanto, se hace necesario el uso de agentes curtientes que se adhieran a las fibras de colágeno que tiene la piel, generando enlaces entre las sustancias químicas y las fibras para convertirse en un material más rígido [11]. En esta etapa se utilizan, generalmente, sales de cromo por su eficiencia. Los pasos dentro de esta operación unitaria son (Figura 2):

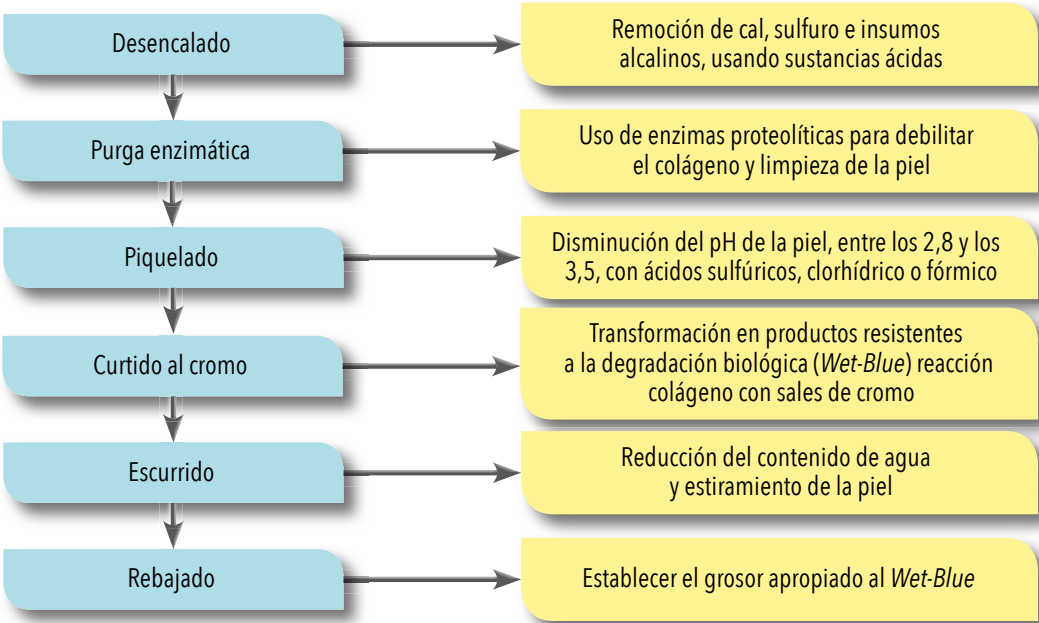


Figura 2. Procesos etapa de curtido [11], adaptado por los autores.

2.3 Etapa de acabado en húmedo

En esta fase del proceso, lo que se busca es brindarle al cuero características físicas relacionadas con la suavidad, color y textura, los cuáles serán requeridos para cada clase de cuero según las necesidades para tener el producto final [11]. En esta etapa se identifican los siguientes procesos y operaciones (Figura 3):

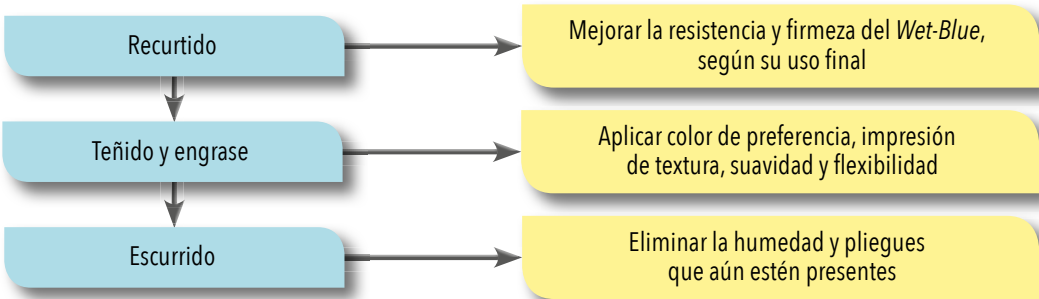


Figura 3. Procesos etapa acabado en húmedo [11], adaptado por los autores.

2.4 Etapa de acabado en seco

Esta es la etapa final del proceso, la cual contiene 9 pasos y lo que se pretende es eliminar todas las imperfecciones que aún tiene el cuero luego de las etapas anteriores. Se busca generar brillo al cuero, mejorar el color y hacer los últimos ajustes a su textura [11]. En esta etapa se identifican los siguientes procesos y operaciones (Figura 4):

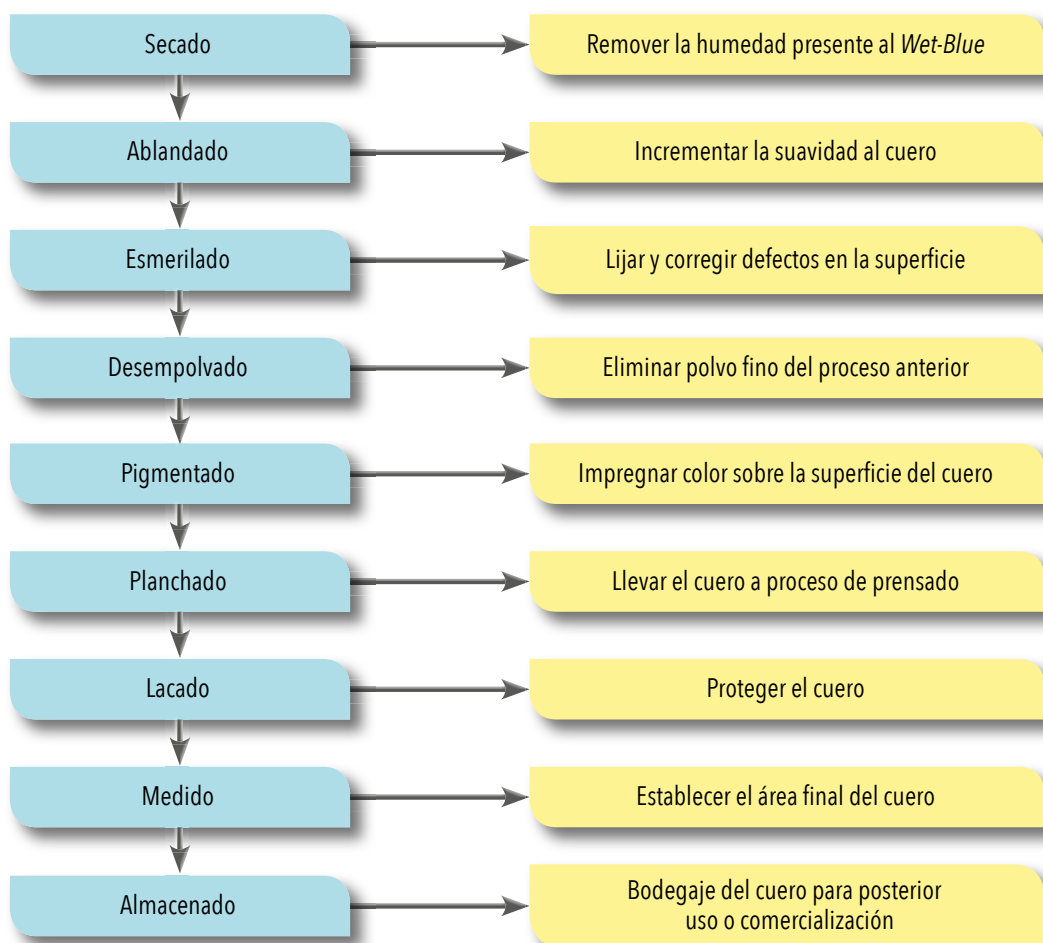


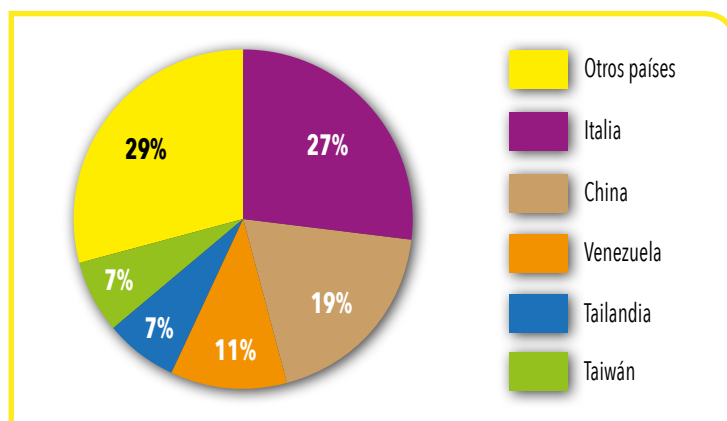
Figura 4. Procesos etapa acabado en seco [11], adaptado por los autores.

3. Evolución de la producción de curtido en Colombia

Según la Encuesta Anual Manufacturera para el período 2013-2016, la producción bruta anual para el sector se encuentra en un rango entre el -0,2% y 11,9%, siendo el año 2014 donde se presenta el mayor porcentaje de ingreso a las empresas dedicadas a la producción de curtiembres [12].

En cuanto a las exportaciones de piel y curtido como materia prima (salada y *Wet-Blue*), en los años 2008 al 2013 incrementó sus ingresos de manera notoria pasando de cerca a los 10 millones de dólares para el 2008, llegando a sobrepasar los 70 millones de dólares en el año 2013 [13]. En el primer semestre del año 2015, del cual se tiene información, se estimó que las exportaciones de Colombia en cuanto a piel salada y *Wet-Blue* sobrepasaron los 99 millones de dólares, y los países que son los principales clientes corresponden a Italia, China y Venezuela, entre otros (Figura 5). Dentro de los departamentos que hacen mayores exportaciones para el caso de *Wet-Blue* se conoce que fueron Atlántico (31%), Antioquia (30%), Bogotá y Cundinamarca (24%) [11].

Figura 5. Exportación de curtidos Colombia año 2015 [11].



Fuente: DANE. Cálculos de ACICAM.

En el departamento de Cundinamarca, la actividad de las curtiembres data desde mediados de los años cincuenta, ubicándose principalmente en los municipios de Villapinzón y Chocontá; puesto que en estas zonas están ubicadas en la cuenca alta del río Bogotá, presentando una alta oferta hídrica, bajo costo de materia prima y mano de obra [14]. Actualmente, el oficio de las curtiembres en estos municipios se aprende de manera generacional, cerca del 90% de las personas que trabajan en este sector poseen un bajo nivel educativo, su única fuente de ingreso corresponde a lo que obtienen de las curtiembres, dando como resultado a que la economía de la región se base en tecnologías viejas y obsoletas. Años después se desplazó hacia la ciudad de Bogotá, estableciéndose en su gran mayoría en el barrio San Benito en la localidad de Tunjuelito.

En general, las curtiembres de Villapinzón y Chocontá se les señala por ser las principales fuentes de contaminación al río Bogotá, afectándolo desde el nacimiento por el aporte de aguas residuales que incluyen elementos como cloruros, sulfatos, cromo, residuos sólidos, entre otros. La actividad en esta zona está distribuida a lo largo de 7 Km del río Bogotá, en el sur del casco urbano de Villapinzón y al norte del casco urbano de Chocontá y pueden ser clasificados los curtidores de la siguiente manera [15]:

- ♦ **Curtidores tipo 1:** poseen una planta de tratamiento de vertidos, que se adapta a las necesidades, participan en talleres y diálogos técnicos, relacionados a proceso

de producción más limpia, se encuentran asociados y se relacionan adecuadamente con las autoridades ambientales.

- ♦ **Curtidores tipo 2:** poseen plantas de tratamiento, sin embargo, sus diseños no son óptimos y con bajo nivel técnico.
- ♦ **Curtidores tipo 3:** se caracterizan por ser empresas medianas, pueden tener los recursos económicos para realizar inversiones en el mejoramiento de sus prácticas, sin embargo, no es su interés principal.
- ♦ **Curtidores tipo 4:** no se encuentran debidamente organizados ni regulados, generalmente trabajan en la clandestinidad e incumplen la normativa ambiental.

Según la Secretaría de Ambiente de la Gobernación de Cundinamarca (2014), el censo realizado a las curtiembres de ésta área, estableció que el 89% son curtiembres organizadas como empresas familiares, calificadas como Micro, Pequeña y Mediana Empresa-MI-PYME, más del 95% no cuentan con permisos ambientales, cerca del 44% se encuentran en la informalidad y tienen una baja capacidad para cumplir con la normativa ambiental vigente, poca tecnificación y bajos recursos financieros.

4. Caracterización y producción de agua residual en la producción del curtido

A nivel mundial la industria de las curtiembres se considera como una de las más contaminantes, y los esfuerzos que deben realizarse para reparar el daño causado hacen que la inversión en procesos de reparación y restauración sea alta.

4.1 Consumo de agua

Se conoce que por cada 1.000 kg de piel que ingresa al proceso de curtiembre, se utiliza entre 15 a 40 m³ de agua y cerca de 450 kg de sustancias químicas en el proceso. Lo anterior genera 200 kg de cuero acabado y listo para usar, cerca de 40 kg de sustancias químicas emitidas a la atmósfera y más de 600 kg de residuos sólidos [1]. Se estima que el agua que se requiere para el procesamiento de una tonelada de piel vacuna oscila entre los 20 y 40 m³, para una tonelada de piel ovina entre los 130 a 250 litros, y el consumo de productos químicos se encontró que estuvo entre los 400 a 900 kg por tonelada de piel [16].

En general, los efluentes de las curtiembres se caracterizan por tener altas concentraciones de cloruros, sulfuros y cromo que resultan como desecho de dicha actividad. Los residuos que se obtienen en la etapa de *ribera* son altamente alcalinos con contenidos elevados de sulfuros, nitrógeno, sólidos, aceites y grasas, y altas concentraciones de DBO₅ y DQO [17]. En la etapa de curtido, por ejemplo, se generan efluentes con grandes cantidades de ácido sulfúrico, ácidos orgánicos, formiato de sodio [15], y se conoce que pueden aportar valores de DBO₅ en valores cercanos a los 14.000 mg/L. Además, se

estima que el 62% de los residuos sólidos generados son llevados a rellenos sanitarios sin ningún tipo de tratamiento. Algunas curtiembres, reciclan estos residuos en forma de compost y grasas.

4.2 Características del agua residual producida en el proceso de curtido

En el año 1982, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (Colombia) realizó un monitoreo en la zona de San Benito, donde hay una alta actividad de curtiembres (Tabla 1).

Tabla 1. Valores mínimos y máximos para diferentes parámetros en varios efluentes de curtiembres en San Benito [17].

Variable	Unidad	Mínimo	Máximo
Aceites y grasas	mg/L	2,4	10,6
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	9,2	108,5
Cloruros	mg/L	1,1	37,9
DBO ₅	mg/L	335	5.190
DQO	mg/L	681	7.812
Nitrógeno total	mg/L	2,6	74,0
Sólidos sedimentables	mg/L	2,0	320,0
Sólidos suspendidos	mg/L	456	1.956
Sulfuros	mg/L	105,0	711,0
Cromo total	mg/L	1,7	145,0

La **Tabla 2** presenta datos del año 2001, tomados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, con los valores mínimos y máximos reportados en cerca de 104 expedientes de curtiembres evaluadas en el área de Villapinzón y Chocontá, en el departamento de Cundinamarca (Colombia) [10].

Tabla 2. Valores mínimos y máximos para 104 expedientes del diagnóstico ambiental de Villapinzón y Chocontá (Colombia) [10].

Variable	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
Aceites y grasas	mg/L	1.473	0,0	21.345
Conductividad	S/cm	33.408	524	158.200
Cloruros	mg/L	9.235	185	78.587
DBO ₅	mg/L	9.834	15,0	9.834
DQO	mg/L	20.019	67,3	322.207
Nitrógeno total	mg/L	974	0,2	14.606
Sólidos sedimentables	mg/L	55,7	0,2	3.050
Sólidos suspendidos	mg/L	13.832	45,0	103.900
Sulfuros	mg/L	355	0,2	7.845
Cromo total	mg/L	316	0,2	72.180
Temperatura	°C	15,0	11,0	21,0
pH		11,5	3,2	13,9

Como se mencionó anteriormente en Villapinzón y Chocontá (Colombia) se presentan la mayor cantidad de curtiembres de la zona de Cundinamarca, algunas con procesos tecnificados de producción y otras de manera artesanal, por tanto, es de esperar encontrar valores muy dispares en la **Tabla 2**. Por ejemplo, el pH generalmente se estabiliza con cal pero en algunas de las curtiembres monitoreadas no hacía este proceso y, por tanto, se obtienen algunos valores de pH tan bajos como 3,2. Por otro lado, es preocupante el promedio de cromo total reportado (3.916 mg/L) puesto que supera ampliamente los límites establecidos por la legislación nacional.

Otros autores [18] realizan la evaluación de expedientes de curtiembres en el área de Villapinzón (Colombia) en el año 2015, donde se revisan los valores de cromo en el efluente para 79 expedientes (**Tabla 3**). Se puede establecer que el valor de cromo oscila enormemente entre un mínimo reportado de 5,2 mg/L y un valor máximo reportado de 24.150 mg/L. Sin embargo, comparado con la legislación nacional colombiana (valor límite de vertido entre 0,015 y 1,5 mg/L), los 79 expedientes incumplen con los límites máximos permisibles establecidos, impactando fuertemente a las aguas del río Bogotá.

En la **Tabla 3** se presentan los resultados de monitoreos para 9 curtiembres de Villapinzón (Colombia), en el año 2017 [19]. Se puede establecer que los expedientes analizados

Tabla 3. Valores de cromo en efluentes de 79 expedientes analizados para empresas de curtido en Villapinzón (Colombia) [18].

cromo (mg/L)	Expediente	cromo (mg/L)	Expediente	cromo (mg/L)	Expediente	cromo (mg/L)	Expediente	cromo (mg/L)	Expediente
466	2.210	468	1.827	19.625	1.921	278	1.789	99,8	1.945
431	1.847	1.690	1.824	10.560	1.802	970	1.911	143	1.731
670	1.805	1.006	1.748	12.170	1.774	480	1.799	9.180	1.735
828	1.733	602	1.776	345	1.783	1.486	1.790	376	1.963
2.380	1.736	1.200	1.885	324	1.960	1.142	1.756	333	1.924
558	1.628	1.995	1.807	446	1.922	288	1.732	746	1.796
958	1.715	742	1.749	1.730	1.920	420	1.724	7.538	1.944
1.820	1.863	1.282	1.910	1.688	1.942	7.56	1.785	6.809	1.852
271	1.848	85,1	2.343	345	1.896	4.488	1.739	3.958	1.806
224	1.781	324	1.720	1.770	1.787	1.378	1.719	3.586	1.961
928	763	225	1.762	1.290	1.906	174	1.752	9.113	1.791
5.320	1.829	326	1.718	954	1.950	5,2	1.784	20.080	1.765
1.396	1.759	1.408	1.887	141	1.825	259	1.900	18.280	1.751
2.755	1.775	1.202	1.859	359	1.939	67,7	1.819	22.235	1.962
478	1.769	1.270	1.772	1.150	1.734	113	1.797	19.880	1.717
7.709	1.771	24.150	1.886	409	1.809	187	1.714		

Tabla 4. Resultados de monitoreos a curtiembres de Villapinzón (Colombia) de 9 expedientes [19]. * <LD: por debajo del límite de detección de la técnica.

	Unidades	EXP 49.646	EXP 46.990	EXP 49.649	EXP 49.647	EXP 49.933	EXP 50.154	EXP 49.661	EXP 49.683	EXP 49.790
pH	Unidades	7	6,95	3,6	7,7	7	7,4	7,3	7	7,2
DQO	mg O ₂ /L	56,1	147	24,1	97	138	1.567	357	255	1.530
DBO ₅	mg O ₂ /L	197	85	2,3	51,2	NR	1.361	NR	13,3	175
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	16,5	12	<LD	4	5,5	36	7,5	<LD	66
Cloruros	mg/L	1112	22	360	215	636	2.636	28,3	<LD	3.153
Sulfatos	mg SO ₄ /L	377	17,7	434	80,7	317	45,1	50	8,2	1707
Sulfuros	mg S/L	2,4	9,9	<LD	3,4	48,4	35,5	5,8	<LD	<LD
Cromo Total	mg/L	0,030	<LD*	<LD	0,011	0,017	<LD	<LD	108	0,16

cumplen con los límites permisibles establecidos para el pH, con excepción de un caso que presentó un valor de pH de 3,6 unidades, probablemente porque no se estabilizan sus efluentes con cal antes de verter. Por otro lado, para el cromo, que es uno de los mayores contaminantes de la industria, se reportan valores por debajo del límite legal de vertido para todos los casos excepto para uno, el que con valores de 108 mg/L, supera los límites de vertido establecidos por la legislación nacional, probablemente por una inadecuada gestión de los residuos.

4.3 Producción más limpia en la industria del curtido

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la producción más limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente. Se busca entonces realizar un uso racional de los recursos naturales, el aprovechamiento adecuado de la materia prima, mejoramiento en los sistemas de tratamiento de los residuos para la reducción de los contaminantes y emisiones que se generen en la salida del proceso [11].

Dentro de las motivaciones propuestas para la implementación de procesos enfocados a la producción más limpia, se sugiere que puede mejorarse la competitividad dentro del sector, aumentar la eficiencia en el proceso productivo y cumplir con la normatividad ambiental. En Colombia, la Alcaldía de Bogotá propone como estrategia la realización de 7 acciones que se presentan en la **Figura 6**. Dentro de esta estrategia de producción más limpia se plantean acciones como: el uso de medidores de agua para conocer el consumo, aprovechamiento de las aguas lluvia, uso de elementos de protección personal, mejoramiento en el control de procesos monitoreando diferentes parámetros físico-químicos, entre otros.

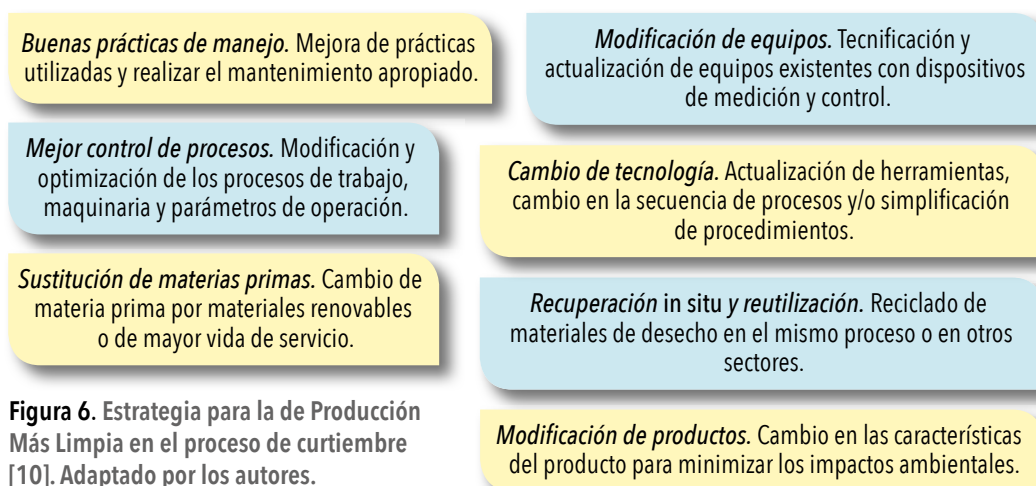


Figura 6. Estrategia para la de Producción Más Limpia en el proceso de curtiembre [10]. Adaptado por los autores.



5. Bibliografía

- [1] Benítez-Campo, N., Perafán, A., 2016. Tanneries of El Cerrito (Valle del Cauca): a look about your environmental and socioeconomic reality. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19(2), 457-466.
- [2] Faouzi, M., Merzouki, M., Benlemlih, M., 2013. Contribution to optimize the biological treatment of synthetic tannery effluent by sequencing batch reactor. *Journal of Materials and Environmental Science* 4, 532-541.
- [3] Martínez, S. Y., Romero, J. A., 2018. Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión* 26(1), 113-124.
- [4] Peña, J., 2010. Gestión ambiental del agua en las empresas de curtiembres. Congreso Nacional del Medio Ambiente-CONAMA. Universidad del Táchira, Venezuela. <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/gestion-ambiental-del-agua-en-las-empresas-de-curtiembre>
- [5] Miller, S., Gagnet, A., Worden, R., 1999. Reporte técnico para la Industria de Curtiembres en el Perú. Lima CONAM. <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/conam/conam.pdf>
- [6] González, G. C., Alonso, A. A., Torre-Marín, G. C., 2017. Innovación tecnológica y curtiduría en el estado de Guanajuato. *Economía Informa* 402, 66-79.
- [7] Herrera, L. E., 2016. *Capacidad de internacionalización de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES) del sector cuero en ciudad de Estelí en el período 2015-2016*. Tesis Máster en Gestión Sostenibilidad y Calidad de las MIPYMES, Departamento de Ciencias Económicas, Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. <http://repositorio.unan.edu.ni/2879/>
- [8] Asociación Española de Fabricantes de Marroquinería, 2015. Datos Sectoriales Marroquinería. <http://asefma.com/wp-content/uploads/2013/04/ANUARIO-DE-LA-PIEL-2016.pdf>
- [9] Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Bogotá. El mercado del cuero y marroquinería en Colombia, 2004. Notas Sectoriales http://www.exportapymes.com/documentos/productos/le2129_colombia_cuero_marroquineria.pdf
- [10] Secretaría Distrital de Ambiente-SDA, 2010. Guía para la gestión y manejo integral de residuos. Industria Curtiembres y Tenerías. Bogotá D.C. http://www.dama.gov.co/Residuos/curtiembres/files/guia_curtiembres.pdf
- [11] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2015. Guía de producción más limpia para el sector de curtiembres de Bogotá: Enfoque en vertimientos y residuos. <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987253/Gu%C3%ADa+de+producci%C3%B3n+m%C3%A1s+limpia+para+el+sector+curtiembres+de+Bogot%C3%A1.+Enfoque+en+vertimientos+y+residuos.pdf>

- [12] Departamento Nacional de Estadística-DANE. Encuesta Anual Manufacturera. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>
- [13] Departamento Nacional de Estadística-DANE. Cuentas trimestrales –Colombia, Producto Interno Bruto (PIB). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/historicos-producto-inter-no-bruto-pib>
- [14] Sánchez, L. J., Ramírez, J. C., 2016. *Propuesta del parque eco-eficiente industrial del cuero: como elemento urbano que contribuye a la disminución de vertimientos causados por los procesos industriales de las curtiembres en los municipios de Villapinzón y Chocontá, Cundinamarca*. Tesis Especialización en Gestión Ambiental Urbana, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Piloto de Colombia. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003635.pdf>
- [15] Briceño, L., 2015. *De la informalidad a los grados de cumplimiento normativo en las curtiembres de Villapinzón y Chocontá. Análisis de la interacción entre actores gubernamentales y unidades productivas*. Tesis Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/50983/1/1032433135.2015.pdf>
- [16] Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, 2003. Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector curtidos. <http://www.prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Curtidos-B7544ED82E0077B6.pdf>
- [17] Corredor, J. L., 2006. El residuo líquido de las curtiembres estudio de caso: cuenca alta del río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 16(2), 14-26.
- [18] Chaves, C.M., 2016. *Caracterización y modelación del transporte de Cromo total en la cuenca Alta del río Bogotá tramo – stock- Puente Hacienda Clarita*. Tesis pregrado Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia. <http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/33461>
- [19] Agencia Nacional de Licencias Ambientales-ANLA, 2018. Expedientes de curtiembres en Villapinzón.

Industria láctea



Edgardo Contreras

Instituto de Investigaciones en
Ciencia y Tecnología de Materiales
Universidad Nacional de Mar del Plata
(Mar del Plata, Argentina)



I N T E M A



Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA).
Mar del Plata (Argentina).

Índice



1. Contextualización de la industria láctea en la Península Ibérica y en Latinoamérica	65
2. Sistema de producción de la industria láctea	67
2.1 Producción de leche fluida para consumo directo	67
2.2 Producción de quesos	71
2.3 Producción de leche en polvo	74
2.4 Operaciones auxiliares en la industria láctea	76
3. Caracterización y producción de las aguas residuales en la producción láctea	78
3.1 Consumo de agua en la industria láctea	78
3.2 Características del agua residual producida en la industria láctea	78
3.3 Reducción de volumen y carga orgánica de las aguas residuales en la industria láctea	80
4. Bibliografía	82



1. Contextualización de la industria láctea en la Península Ibérica y en Latinoamérica

El sector lácteo de la Península Ibérica y en Latinoamérica hace una importante contribución a la economía de la región, a la producción y exportación de productos de origen animal de alto valor nutricional y a la seguridad alimentaria y nutricional de comunidades urbanas y rurales. Su importancia económica y social es cada vez mayor en razón a la creciente demanda de leche y derivados lácteos [1].

Esta creciente demanda impulsó un incremento en la producción mundial de leche, debido al creciente protagonismo de países como India, China y Paquistán, principales productores de leche de búfala. Sin embargo, la leche de vaca continúa siendo la principal fuente de leche en el mundo, con un 82% del total producido. En términos relativos, en 2016, Asia aportó casi el 30% de la producción mundial de leche, seguido de la Unión Europea (24%) y Norte y Centro América (18%). En este sentido, Latinoamérica es un actor menor en la producción mundial de leche, con un aporte del 9,3% [2]. En la **Tabla 1** se muestran los principales países productores de leche en Iberoamérica.

Tabla 1. Producción de leche en España y en Latinoamérica en 2016 [2].

País	Producción anual (en millones de litros)
Brasil	33.800
México	11.700
Argentina	9.900
España	6.900
Chile	2.500
Uruguay	2.100

El destino o uso que se da en cada país a la leche producida depende de varios factores, tales como la demanda del mercado interno, los gustos y costumbres regionales y posibilidad de exportación de diferentes productos lácteos. En términos generales, una importante fracción de la leche producida es destinada a la producción de leches fluidas en sus diversas formas (pasteurizada, esterilizada, entera o desnatada). Por ejemplo, en

2016, aproximadamente el 46% de la leche producida en España fue empleada para la producción de leches fluidas, seguido de yogures y leches fermentadas (12%), quesos (6%), nata y otros productos [3]. De acuerdo a los datos disponibles en el sitio del Ministerio de Hacienda de la República Argentina [4], el 18% se consume como leches fluidas, mientras que un 75% se destina a la elaboración de productos tales como quesos (40%) o leche en polvo (28%).

Otros productos en importancia decreciente son mantequilla, yogur, dulce de leche y con menor participación postres y flanes, y leche condensada. Una vez satisfecha la demanda interna, las exportaciones afectan fuertemente el destino de la leche en cada país. Por ejemplo, a pesar de que México produce aproximadamente 5 veces más leche que Uruguay (Tabla 1), Uruguay es el tercer exportador mundial de leche en polvo entera (LPE), seguido de México y Argentina (Tabla 2).

Tabla 2. Principales países exportadores de leche en polvo entera (LPE) durante 2017 [2].

Puesto	País	Toneladas exportadas de LPE
1	Nueva Zelanda	1.342.999
2	UE-28	393.142
3	Uruguay	97.515
4	México	73.319
5	Argentina	70.842
6	Australia	54.746
7	Singapur	51.946
8	Hong Kong	36.690
9	Bielorrusia	29.349
10	USA	27.491

Una situación que se repite, en mayor o menor medida en los principales países productores de la región, es que unas pocas empresas procesan gran parte de la leche producida. Por ejemplo, el sector industrial lechero en Argentina está compuesto por aproximadamente 1.100 empresas registradas, que incluyen desde grandes industrias con un fuerte carácter exportador hasta pequeños tambos-fábrica que procesan solo la leche que producen.

Los datos indican que la industria láctea en Argentina está fuertemente concentrada ya que aproximadamente el 75% del total de la leche producida en el país es procesada por medianas y grandes empresas (MyGE), las cuales representan apenas el 10% del

total [4]. Una situación similar se observa en España ya que, según los últimos datos disponibles en 2015, las 15 industrias más grandes de España procesaron el 63% de la producción de leche del país [5].

A diferencia de las pequeñas empresas, las MyGE incorporan la problemática ambiental a su modelo de negocio. Esto se debe a que estas empresas están obligadas a cumplir las normas internacionales de calidad y de política ambiental para poder ingresar en mercados externos, así como también exhibir cierto grado de responsabilidad social para evitar conflictos con la población. Por esta razón, las MyGE presentan una mayor facilidad de adopción de nuevas tecnologías respecto de los pequeños establecimientos.

2. Sistema de producción de la industria láctea

Existe una gran variedad de productos y procesos productivos relacionados con el procesamiento de la leche cruda. En este capítulo solamente serán tratados los procesos de fabricación de los productos más importantes, teniendo en cuenta el volumen de leche procesada y el impacto ambiental asociado:

1. Leche fluida para consumo directo.
2. Quesos.
3. Leche en polvo.

Además, debido a su importancia ambiental, se incluyen en un apartado especial las principales operaciones de limpieza de equipos.

2.1 Producción de leche fluida para consumo directo

Debido a la facilidad de la leche para sufrir un rápido deterioro, es necesario someterla a un tratamiento que permita aumentar el tiempo de conservación y eliminar posibles contaminaciones antes de ser consumida (**Figura 1**). Una vez recibida, la leche se almacena temporalmente en tanques refrigerados hasta su entrada en proceso. A continuación, la leche se filtra para eliminar los sólidos visibles y se clarifica para eliminar todo tipo de suciedad y coágulos de proteína.

Posteriormente, se procede a un desnatado para separar la nata de la leche y se realiza la normalización para ajustar el contenido graso final de la leche que se va a producir (leche entera, semidesnatada o desnatada). La leche normalizada en su contenido graso se somete a una homogeneización para reducir el tamaño de las partículas y distribuirlas uniformemente mejorando su emulsión.

Por último, se procede al tratamiento térmico de estabilización microbiológica, que en función de las condiciones de tiempo-temperatura podrá considerarse como pasteurización, esterilización o tratamiento UHT. Tras el tratamiento térmico, la leche se almacena en condiciones refrigeradas hasta su envasado final.

A continuación se detallan estas etapas:

a) Recepción

Normalmente la leche llega hasta la planta en camiones cisterna. Tras la recepción, la leche se suele almacenar en condiciones refrigeradas hasta su entrada en línea. En esta etapa se producen pérdidas de leche debido a las operaciones de vaciado y llenado de los depósitos, pudiendo llegar a los sistemas de evacuación de aguas residuales y así, contribuyendo a aumentar la carga orgánica contaminante de las mismas.

Además, en esta etapa puede detectarse leche que no cumpla con los requisitos de calidad requeridos, por lo que puede dar lugar a un rechazo de la leche recibida. En esta etapa se realiza también la limpieza de los camiones o tanques de recogida de la leche antes de realizar el siguiente transporte. La limpieza de los camiones y tanques se describe con mayor detalle en el apartado correspondiente a las operaciones de limpieza.

b) Filtración/clarificación

En primera instancia se puede realizar una filtración para eliminar las partículas más grandes. Posteriormente tiene lugar la clarificación de la leche, donde se eliminan las partículas orgánicas e inorgánicas y los aglomerados de proteínas utilizando centrífugas.

En esta operación se generan los llamados lodos de clarificación, los cuales son residuos semipastosos formados por partículas de suciedad, componentes sanguíneos, gérmenes y por otras sustancias principalmente de tipo proteico. También se producen pérdidas de leche que pueden ser arrastradas junto con las aguas residuales hasta el vertido final.

c) Desnatado y normalización

En el desnatado se produce la separación de la materia grasa (nata) del resto de componentes de la leche (leche desnatada). Generalmente se realiza empleando centrífugas que separan la nata, con aproximadamente un 40% de grasa, de la leche, con aproximadamente un 0,5% de materia grasa.

Posteriormente, se realiza la normalización del contenido graso de la leche, que consiste en añadir nata a la leche desnatada en distintas proporciones en función del tipo de leche que se desea obtener (entera, semidesnatada o desnatada). La nata sobrante se destina a la elaboración de otros productos como nata para consumo o mantequilla. El proceso de separación de la nata por centrifugación genera unos lodos o fangos con un contenido menor de componentes sanguíneos y bacterias que en el caso de la leche cruda.

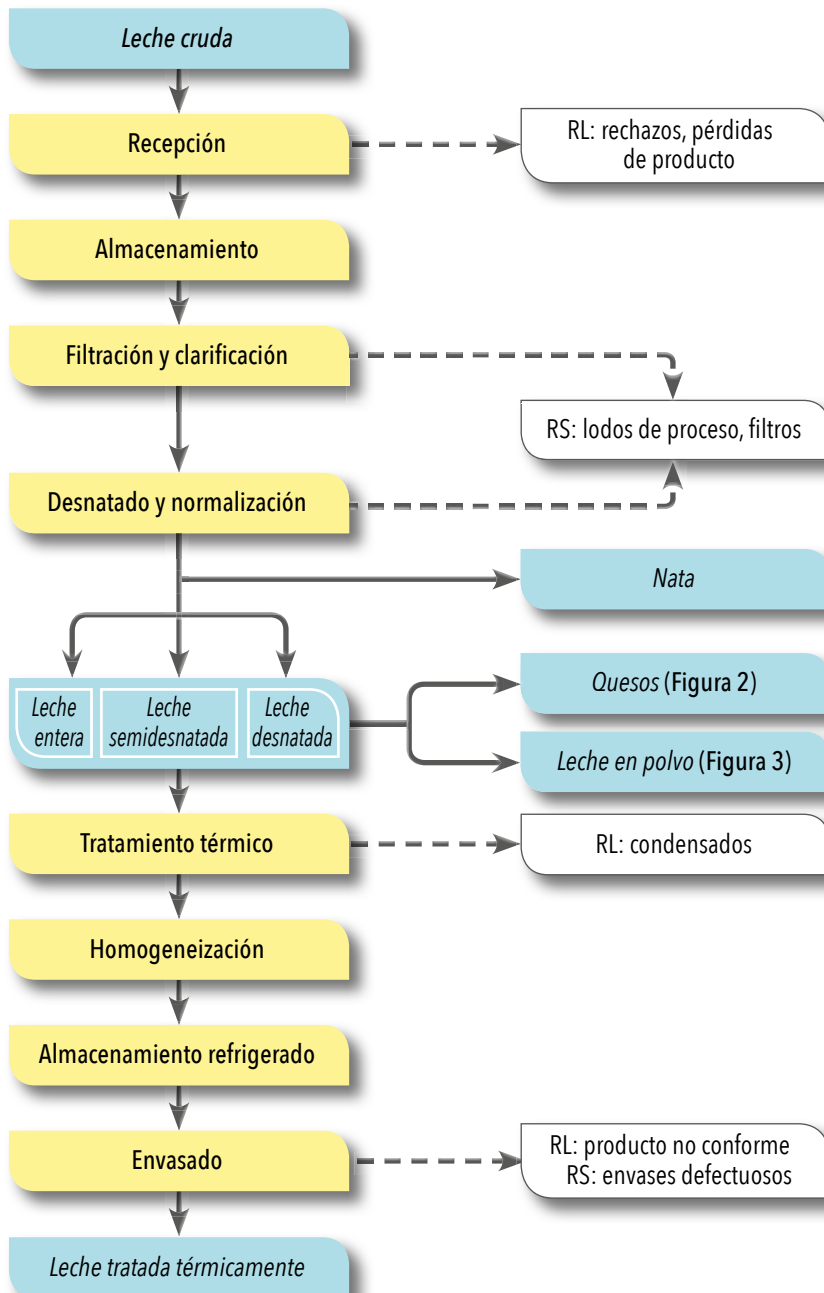


Figura 1. Etapas en la elaboración de leche tratada térmicamente.
RL: Residuo líquido. RS: Residuo sólido. Adaptado de [6].

d) **Tratamiento térmico**

El propósito del tratamiento térmico es la destrucción casi completa de los microorganismos de la leche. Un efecto adicional es la inactivación en mayor o menor grado de las enzimas lácteas. Cabe destacar que el consumo energético de esta etapa es uno de los más elevados del proceso. En función de las características del binomio temperatura-tiempo utilizado en el tratamiento térmico podemos distinguir:

♦ **Pasteurización**

Es un tratamiento térmico con unos valores de tiempo y temperatura que oscilan entre 15-30 segundos a 72-85 °C. La pasteurización no garantiza la destrucción de todos los gérmenes de la leche por lo que para su conservación debe mantenerse refrigerada hasta su consumo.

♦ **Esterilización**

Dentro de la esterilización nos encontramos la esterilización propiamente dicha, que es un tratamiento térmico capaz de destruir todos los microorganismos patógenos e inactivar las enzimas. Se realiza a 100-120 °C durante 20 minutos. Por otro lado, el tratamiento UHT se basa en la aplicación de una temperatura muy elevada (135-150 °C) durante un tiempo muy corto (2,5 segundos).

e) **Homogeneización**

Tiene como objetivo la reducción del tamaño de los glóbulos grasos favoreciendo una distribución uniforme de la materia grasa a la vez que se evita la separación de la nata. En los homogeneizadores se hace pasar la leche a elevada presión a través de estrechas hendiduras cuyas medidas sean menores que las de los glóbulos grasos, de esta forma se reduce el diámetro de los glóbulos grasos manteniéndose éstos en suspensión.

f) **Almacenamiento refrigerado**

La leche, una vez tratada y refrigerada se almacena en tanques hasta su envasado. Este almacenamiento refrigerado permite controlar la calidad de la leche antes de su envasado e independizar esta etapa del proceso de producción. El principal aspecto medioambiental producido en esta etapa se debe al consumo energético necesario para mantener la leche refrigerada, así como las posibles pérdidas de leche que pueden darse durante su estancia en los tanques de almacenamiento.

g) **Envasado**

El envasado es la última etapa del proceso y consiste en el llenado de los envases con el producto. La condición indispensable para conseguir la conservación del producto durante un largo período de tiempo es mantener las condiciones asépticas durante el envasado. A la hora de elegir un determinado tipo de envase deberán tenerse en cuenta tanto aspectos relacionados con la conservación del producto como aspectos económicos y medioambientales. Los tipos de envases más habituales para la leche son los de vidrio, plástico y cartón. En el envasado el consumo energético de los equipos es elevado y se produce también la generación de residuos de envases por defectos de fabricación, así como pérdidas de producto por problemas durante el envasado.

2.2 Producción de quesos

La **Figura 2** muestra un diagrama general de elaboración de quesos. Antes de comenzar con las operaciones de fabricación de queso, la leche debe ser tratada y preparada para acondicionar sus características físicas, químicas y biológicas (filtración, clarificación, normalización) al producto deseado.

Debe destacarse que los quesos se pueden fabricar, tanto a partir de leche cruda, como de leche tratada térmicamente. Una vez lista para iniciar la etapa de coagulación, la leche se lleva a la temperatura adecuada y se añaden los fermentos y/o enzimas encargados de la formación del gel o coágulo. Terminada la coagulación, se corta la cuajada en pequeños cubos para favorecer el desuerado. Después de separar el suero, se introduce la cuajada en los moldes y en algunos casos se prensa. Una vez estabilizada la forma del queso, se sala y se procede a la maduración. En algunos quesos el proceso termina con el desuerado y envasado sin que tenga lugar la etapa de maduración (quesos frescos).

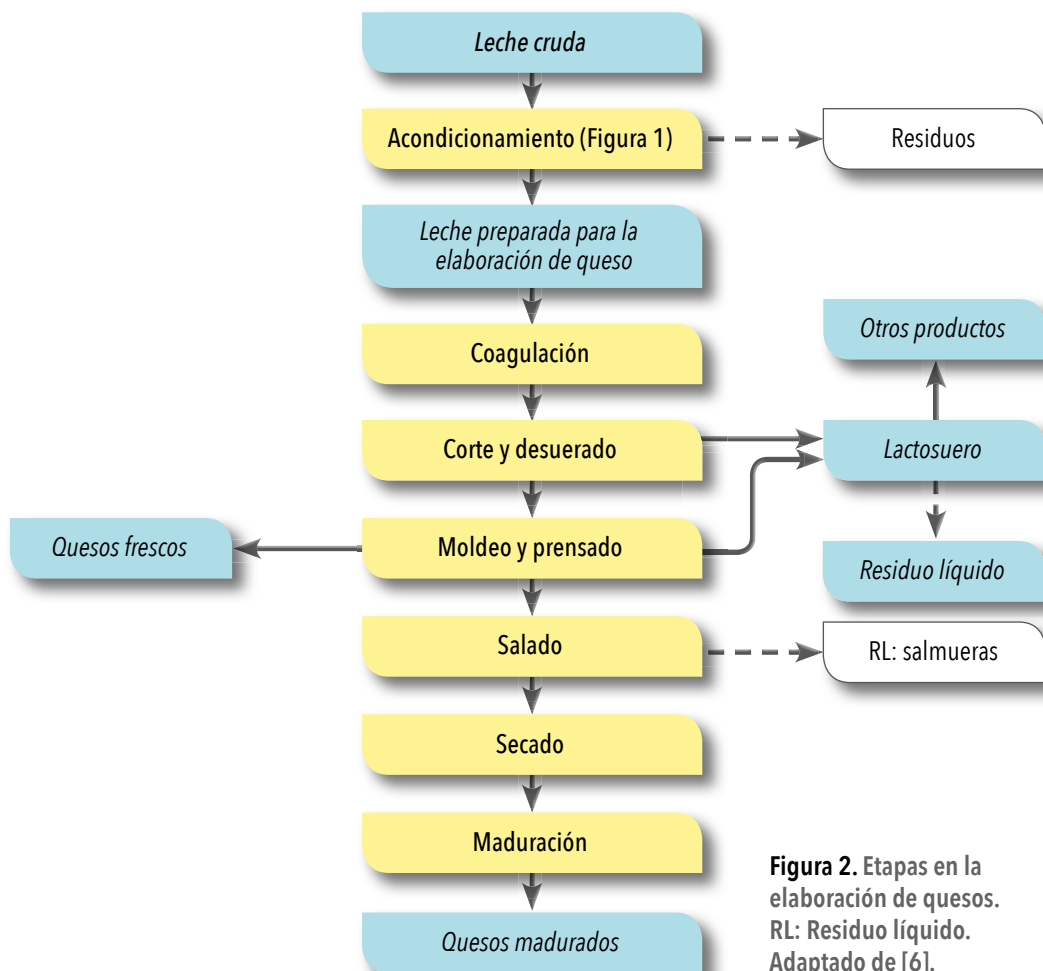


Figura 2. Etapas en la elaboración de quesos. RL: Residuo líquido. Adaptado de [6].

A continuación se detallan estas etapas:

a) **Coagulación**

La operación de coagulación consiste en provocar la alteración de la caseína y su precipitación, dando lugar a una masa gelatinosa que engloba todos los componentes de la leche. La coagulación puede realizarse de tres formas:

♦ **Coagulación ácida**

Es la que se produce mediante ácidos, generalmente por la acción de bacterias lácticas que producen la transformación de la lactosa en ácido láctico. La formación de ácido láctico reduce el pH de la leche provocando la alteración del complejo caseína-calcio, liberando progresivamente el calcio de este complejo. Cuando el pH alcanza un valor de 4,6 se produce la precipitación de la caseína, la cual queda nadando en la fase líquida (*lactosuero ácido*).

♦ **Coagulación enzimática**

Es el sistema de coagulación más empleado en la elaboración de queso, se produce mediante la adición de enzimas tipo proteasas. El cuajo obtenido de los estómagos secos de terneros en lactación contiene estas enzimas, por lo que se ha empleado tradicionalmente en la producción de queso. La coagulación enzimática transforma el complejo caseína-calcio formando el coágulo. La carga mineral del coágulo le confiere rigidez y de esta forma, una parte importante de la fase líquida (*lactosuero dulce*) queda retenida en su estructura.

♦ **Coagulación mixta**

Es el resultado de la acción conjunta del cuajo y la acidificación láctica. La obtención de un gel mixto puede realizarse adicionando cuajo a una leche ácida o acidificando un gel enzimático. Genéricamente hablaremos de *lactosuero* para referirnos al suero obtenido en el proceso de elaboración de queso independientemente del tipo de coagulación empleado.

b) **Corte y desuerado**

El gel formado en la coagulación constituye un estado físico inestable. Según las condiciones en las que se encuentra la fase líquida (*lactosuero*) que lo impregna, se separa más o menos rápidamente. Este fenómeno es el que se conoce como desuerado. Existen dos métodos principales de desuerado:

♦ **Desuerado en cuba**

El coágulo es dividido en cubos que quedan bañados por el *lactosuero* que exudan.

♦ **Desuerado en molde**

El coágulo más o menos dividido es mantenido en masa, de la cual el *lactosuero* es separado a medida que se va formando.

En algunos tipos de coágulos muy acidificados y desmineralizados se realiza la separación del *lactosuero* por centrifugación. La separación del *lactosuero* de las cuajadas dejadas en reposo es débil y lenta y en la mayor parte de los

quesos no se conseguiría la composición final deseada. Por este motivo, se realizan otras operaciones que faciliten el desuerado de la cuajada. Existen dos tipos de tratamientos: térmicos y mecánicos. Para la elaboración de determinados quesos donde se quiere obtener un extracto seco muy alto se emplean los tratamientos térmicos, donde debido a la elevación de la temperatura se produce un aumento del grado de desuerado del queso.

c) Moldeo y prensado

El moldeo consiste en verter en moldes los trozos de cuajada. Los moldes deben ser de tal característica que le confieran al queso acabado las medidas y el peso establecidos. El prensado se aplica para favorecer la expulsión del suero intergranular de la cuajada y dar al queso su forma definitiva. El prensado proporciona una mayor consistencia al producto final. La intensidad de la presión ejercida variará en función del tipo de queso. El prensado de los quesos puede realizarse tanto por la presión que ejerce el peso de los mismos quesos como aplicando una fuerza adicional. Durante el prensado también se produce la salida de *lactosuero* de la masa del queso, aunque la cantidad de *lactosuero* generada en esta etapa es menor que en el desuerado.

d) Salado

El salado es uno de los factores que más influyen en las características del queso. Interviene en la regulación del contenido final de humedad y de la acidez. La sal hace que se esponje la pasta del queso, asegura su conservación (junto con el valor de pH), inhibe el desarrollo de microorganismos no deseados y estimula el desarrollo de la flora de maduración del queso. Esta operación se puede realizar sobre la leche (en la cuba) o sobre el queso, empleando salmueras (16-22% de sal) o mediante la aplicación de sal seca sobre la superficie del queso. El tiempo y la cantidad o concentración de sal dependen del tipo de queso y del método de salado, por lo que esta etapa es muy variable. En la etapa de salado se produce el consumo de agua para la formación de la salmuera y el vertido puntual de éstas una vez se agotan. En el caso de realizarse esta operación mediante la aplicación de sal seca sobre la superficie del queso, se producen restos de sal que se retiran con las aguas de limpieza. En ambos casos, esta operación produce un vertido de elevada conductividad.

e) Secado

Una vez terminada la operación de salado, el queso puede exponerse a una corriente de aire para que se seque la superficie. El secado superficial tiene una especial importancia cuando el queso se envuelve o se recubre de cera para su maduración. Esta operación se realiza en salas o cámaras de secado acondicionadas para este fin. En ellas se hace circular una corriente de aire con unas condiciones de temperatura y humedad controladas para provocar el secado superficial del queso.

f) **Maduración**

Una vez salados y secados, los quesos, son llevados a salas de maduración de temperatura y humedad controlada. Durante la maduración del queso ocurren modificaciones físicas, microbiológicas y enzimáticas, dando lugar a un producto acabado con unas determinadas características de aroma, sabor y textura.

2.3 Producción de leche en polvo

La leche en polvo es aquella en la que se elimina la mayor parte de su agua de constitución, dejando un máximo del 5%, correspondiendo el restante 95% a proteínas, lactosa, grasa, sales minerales, etc. Se distinguen dos tipos de leche en polvo desde el punto de vista comercial:

- ♦ Leche en polvo entera (LPE), con un mínimo del 26% de materia grasa.
- ♦ Leche en polvo desnatada (LPD), con menos de 1,5% de grasa.

Con algunas variaciones, el proceso de obtención de leche en polvo incluye una serie de pretratamientos (estandarización, pasteurización y homogeneización), una etapa de concentración y finalmente secado [7,8]:

a) **Estandarización**

Una vez que llega a la planta, la leche cruda se almacena en tanques refrigerados. Luego puede haber una etapa de filtración/clarificación. Posteriormente, se lleva a cabo la separación de la nata y de la leche desnatada a través de un separador centrífugo. Si queremos obtener leche entera en polvo (LPE), posteriormente, se añade una fracción de nata a la leche desnatada, estandarizando el valor de grasa al 26%. La nata sobrante se utiliza para elaborar otros productos.

b) **Pasteurización/esterilización**

Además de eliminar microorganismos, esta etapa permite una desnaturalización controlada de las proteínas de la leche, inactiva enzimas, genera antioxidantes naturales y proporciona estabilidad al calor. La relación calor/tiempo depende del tipo de producto que se quiera obtener y su aplicación final. Por ejemplo, un precalentamiento alto en de la LPE va asociado a una mayor preservación de la calidad, pero a una menor solubilidad.

c) **Homogeneización**

La homogeneización tiene como objeto conseguir un tamaño uniforme de los glóbulos de grasa de la leche. Esto se traducirá en una reconstitución más fácil y en una prolongación de la vida comercial de la leche en polvo. Debido a que la temperatura óptima de homogeneización está entre 60 y 70 °C, esta etapa usualmente está integrada a la etapa de pasteurización. En el caso de la leche desnatada no es necesaria su homogeneización debido a su bajo contenido de grasas.

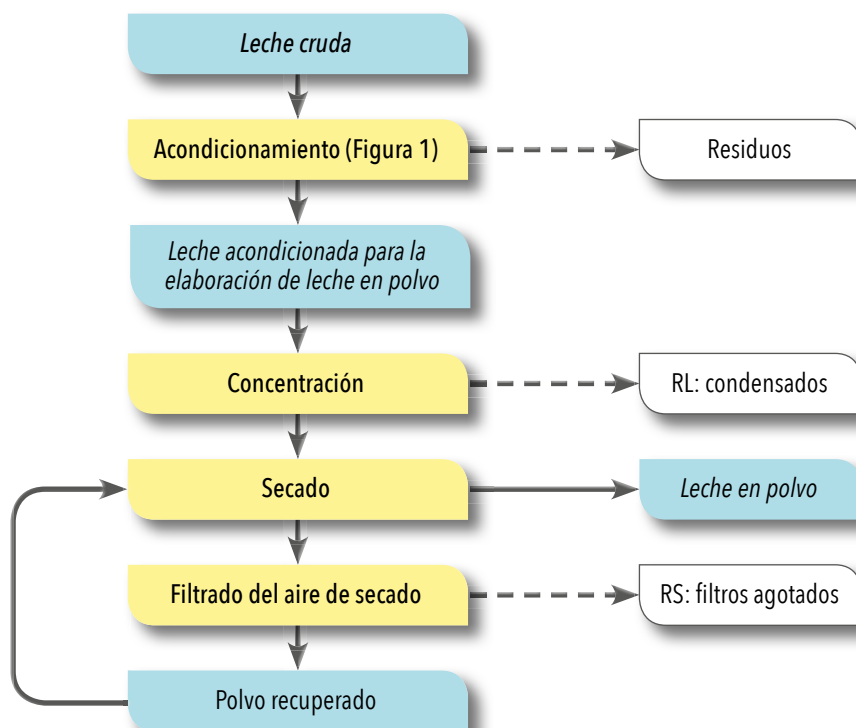


Figura 3. Etapas en la elaboración de leche en polvo. RL: Residuo líquido. RS: Residuo sólido. Adaptado de [7] y [8].

d) Concentración

La leche homogeneizada pasa luego a un evaporador y se concentra en etapas (que pueden ser de 3-4 a 7-8, dependiendo de las dimensiones del evaporador). En cada etapa se produce el vacío a una temperatura alrededor de 72 °C. En estas condiciones la leche hierve y el agua se transforma en vapor, el cual se comprime (térmica o mecánicamente) para ser utilizado en el paso siguiente para calentar la leche. En general, cuantas más etapas, mayor ahorro de energía. Un evaporador típico extrae hasta el 85% del agua de la leche.

e) Secado

Aunque existen diferentes procesos disponibles, el secado por atomización (*spray drying*) es el más comúnmente empleado en la fabricación de leche en polvo [9]. Otras alternativas disponibles son el secado en lecho fluidizado, el secado en tambor rotativo y la liofilización. Esta última tecnología se emplea cuando se requiere obtener un producto de muy alta calidad y con mínimas alteraciones respecto del producto inicial. Sin embargo, los altos costos asociados al proceso limitan su empleo. Por otra parte, el secado en tambor produce una leche en polvo de color amarillento debido a las reacciones de pardeamiento que ocurren por las altas temperaturas y tiempos empleados.

Para minimizar el daño térmico del producto se utiliza el secado por atomización o pulverización. El proceso consta de tres etapas: atomización del producto, evaporación de la humedad y separación de partículas del aire de escape. En la primera etapa, el concentrado de leche se transforma en pequeñas gotitas utilizando atomizadores de discos rotativos (atomización/pulverización) para posibilitar el secado de las mismas por contacto con una masa de aire caliente circulante. Esto se lleva a cabo dentro de una cámara de secado inyectando aire caliente (alrededor de 200 °C). El polvo sale por el fondo de la torre con un contenido de agua entre el 3 y el 7% y pasa a la sección de envasado [8]. Debido a que entre el 10 y 20% del polvo sale de la torre por el aire de secado, tanto por motivos económicos, de seguridad, como ambientales, el aire de secado pasa por ciclones o mediante filtros-bolsa, los cuales permiten recuperar el producto perdido. El polvo recuperado puede agregarse directamente al polvo de salida de la secadora, o devuelto a la torre de secado en función de los requisitos de calidad del producto. Los polvos devueltos se ponen en contacto en la parte superior de la torre y forman aglomerados que mejoran las características de solubilidad y fluidez final del producto.

2.4 Operaciones auxiliares en la industria láctea

En este apartado se describen las operaciones auxiliares comunes a todos los procesos de la industria láctea [6,10].

a) Limpieza y desinfección

Por limpieza se entiende la eliminación total de todos los restos de la leche o componentes de la misma y otras suciedades visibles. Mientras que mediante la desinfección se pretende eliminar todos los microorganismos patógenos y la mayoría de los no patógenos que afectarían a la calidad del producto. Debido a las características de la materia prima empleada y a los productos fabricados, las condiciones higiénicas de los equipos e instalaciones de las empresas lácteas deben garantizar la calidad de los productos elaborados. El mantenimiento de las condiciones higiénicas en la empresa láctea exige llevar a cabo operaciones de limpieza y desinfección de forma continua, pudiendo llegar a suponer la cuarta parte del tiempo total de trabajo. Estas operaciones suponen la mayor parte del consumo de agua, energía y productos químicos de la instalación, así como la generación de un considerable volumen de aguas residuales.

Como consecuencia de las operaciones de limpieza se produce el vertido de las aguas de limpieza y de productos químicos empleados, más la carga orgánica debida al arrastre o disolución de los restos de producción. En la limpieza de instalaciones también pueden aparecer partículas de arena y polvo, que llegan a la industria por distintas vías, pero lo más corriente es que se eliminen restos de componentes orgánicos de la leche (grasa, proteínas, sales minerales). En general, la utilización de sistemas de limpieza basados en los medios físicos su-

pone ahorros en el consumo de agua y una menor generación de vertidos. Por el contrario, la utilización de productos de limpieza, aplicados en la mayoría de los casos como soluciones acuosas, produce un mayor volumen de aguas a depurar. Como ya se ha comentado, las aguas residuales de las industrias lácteas alcanzan valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) muy elevados. Esto se debe principalmente al aporte de componentes de la leche, siendo minoritario el aporte de los detergentes de las operaciones de limpieza.

Sin embargo, otro aspecto importante en la utilización de productos detergentes es el contenido en fosfatos y/o nitratos, ya que contribuyen de forma importante en los procesos de eutrofización de las aguas. Los detergentes tradicionales que contienen ácido fosfórico y que se emplean en las operaciones de limpieza contienen del 10 al 20% de fósforo, por lo que su contribución a las aguas residuales debe tenerse en cuenta.

b) Generación de vapor

Las necesidades de calor en las empresas lácteas se cubren en su mayor parte utilizando vapor de agua o agua caliente en función de las necesidades de la operación y del proceso. El vapor se produce en calderas de vapor y posteriormente se distribuye a través de tuberías a los distintos puntos de utilización en la empresa. Este sistema requiere de una instalación complementaria de tuberías donde pueden producirse pérdidas importantes de calor, por lo que deben contar con el aislamiento térmico adecuado para evitar tales pérdidas.

El agua empleada en la alimentación de las calderas no requiere condiciones higiénicas especiales, pero es necesario que el contenido en carbonatos y sulfatos sea bajo para evitar la formación de incrustaciones de sales en las calderas y tuberías de distribución, dificultando el intercambio de calor. Por ello se utilizan frecuentemente productos químicos para evitar las incrustaciones y las deposiciones de sales. Los condensados que se producen como consecuencia de la condensación del vapor en su distribución pueden reutilizarse como alimentación de las calderas o como agua caliente en el proceso, con lo que se consigue un ahorro en el consumo de agua.

c) Generación de frío

En las empresas lácteas se produce frío principalmente con dos fines: para la refrigeración de locales o cámaras o para la refrigeración de líquidos. Los equipos frigoríficos más empleados en la industria láctea son las máquinas frigoríficas de compresión, utilizando como agente refrigerante amoníaco u otras sustancias como los compuestos basados en los clorofluorocarbonados (CFC). Este agente refrigerante puede emplearse directamente en el enfriamiento de las cámaras o productos o bien puede emplearse para enfriar un segundo fluido refrigerante (generalmente salmuera o agua glicolada) que será el que realice la función de refrigeración (sistema de refrigeración indirecto).

3. Caracterización y producción de las aguas residuales en la producción láctea

La cantidad y calidad de las aguas residuales generadas por una industria láctea dependen en gran medida de la cantidad de leche, *lactosuero*, descartes de producto y productos de limpieza que puedan ir a parar al efluente líquido. Para estimar la composición de los efluentes generados por una industria láctea resulta indispensable conocer la composición de la leche y del *lactosuero*.

3.1 Consumo de agua en la industria láctea

Por definición, las aguas residuales son las aguas provenientes de procesos post-industriales, es decir, que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su descarga.

A título indicativo, en una central lechera puede esperarse un volumen de vertido de entre 1,5 a 2,5 litros de agua residual por cada litro de leche procesada, y en el conjunto de la industria láctea el rango se amplía de 2 a 5 litros [11]. Sin embargo, debe considerarse que la diversidad de productos y de métodos de producción hace que las aguas residuales de las industrias lácteas tengan características muy variables.

Por ejemplo, mientras que en la fabricación de mantequilla se generan entre 1 y 3 litros de agua residual por litro de leche procesada (L/L), en la fabricación de queso asciende a 2-4 L/L, pudiendo llegar a 3-9 L/L en la obtención de leche de consumo [6].

3.2 Características del agua residual producida en la industria láctea

Los efluentes líquidos de las industrias lácteas están compuestos principalmente por aguas de lavado de pisos y equipos, derrames accidentales y descartes de producto, *lactosuero* y otros. Además, es muy frecuente encontrar que estas aguas son mezcladas con las aguas provenientes de las instalaciones sanitarias de la empresa.

En términos generales, el 90% de la materia orgánica de los efluentes líquidos de las industrias lácteas proviene de la leche, siendo un 10% sustancias ajenas a la misma (sustancias de lavado, aguas residuales urbanas). Entre las características generales de los efluentes líquidos de las industrias lácteas se pueden citar [11]:

- ♦ Alto contenido de materia orgánica biodegradable.
- ♦ Presencia de aceites y grasas.
- ♦ Variaciones puntuales de pH (2-11) durante las operaciones de limpieza.
- ♦ Variaciones puntuales de temperatura durante la purga de aguas de refrigeración.
- ♦ Niveles elevados de nitrógeno y fósforo debido a los productos de limpieza y desinfección.

- ♦ Conductividad elevada, particularmente en empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente de la etapa de salado.
- ♦ Presencia de sólidos en suspensión, principalmente en elaboración de quesos.

Existe una gran disparidad en la DQO de los efluentes de la industria láctea, la cual puede variar entre 180 y 23.000 mg DQO/L. Mientras que los valores bajos están asociados a las operaciones de recepción de leche, en términos generales los valores altos están asociados a la presencia en el efluente de suero proveniente de la fabricación de quesos. En el año 1990 la Agencia de Protección Ambiental de Dinamarca realizó una encuesta sobre 134 industrias lácteas [10].

Las empresas encuestadas comprendían 44 productoras de mantequilla, 90 producían queso, 29 eran plantas de leche de mercado y 11 producían concentrados, incluida la leche en polvo. Todas las plantas encuestadas declaraban estar tecnológicamente avanzadas y la mayoría afirmó que habían reducido la carga contaminante de sus efluentes en un 30-50% en comparación con años anteriores. La encuesta encontró que el efluente promedio de estas industrias tenía las siguientes características: DQO = 2.000 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días (DBO_5) = 1.500 mg/L, Grasas = 150 mg/L, Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) = 100 mg/L y Fósforo total = 30 mg/L [10].

La materia orgánica (DBO, DQO) en este tipo de efluentes es aportada principalmente por lactosa, proteínas y aminoácidos provenientes de pérdidas de productos y del suero de queso, en los casos en que se desecha el mismo. Además de los productos de limpieza, la presencia proteínas, aminoácidos y amonio también contribuyen al nitrógeno y fósforo de las aguas residuales [12]. Por otra parte, se han identificado en el suero gran cantidad de vitaminas (biotina, colina, ácido nicotínico, ácido pantoténico, piridoxina, riboflavina y tiamina) y minerales (sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, fósforo, azufre y cloro) [12, 13] lo que determina que los efluentes de la industria láctea sean particularmente aptos para el tratamiento biológico.

Si se comparan los efluentes de los procesos de producción con los efluentes de las industrias (Tabla 3) puede observarse que en general estos últimos tienen una menor carga orgánica y una menor relación DQO/NTK debido principalmente a los procesos de lavado de torres de secado y/o al mezclado con aguas residuales urbanas [14].

De acuerdo a diversos estudios, la relación DQO/NTK óptima para satisfacer el requerimiento nutricional de los microorganismos en un sistema biológico aeróbico es aproximadamente 20 g DQO/g N [15, 16]. Una relación $DQO/NTK > 20$ g DQO/g N (Efluente tipo N) indica un exceso de DQO y por lo tanto debería agregarse nitrógeno para satisfacer los requerimientos nutricionales de los microorganismos. Por el contrario, si la relación $DQO/NTK < 20$ g DQO/g N (Efluente tipo C) el efluente tiene exceso de nitrógeno. En este caso, el exceso de nitrógeno puede ser oxidado a nitrato por bacterias nitrificantes. Los datos presentados en la Tabla 3 indican que las aguas residuales de las industrias lácteas pueden pertenecer a cualquiera de estos dos tipos de efluentes.

Tabla 3. Aguas residuales provenientes de diferentes procesos e industrias lácteas. N: efluente limitado en nitrógeno para tratamiento biológico. C: efluente limitado en carbono para tratamiento biológico.

	DQO (mg/L)	NTK (mgN/L)	DQO/NTK		Ref.
Efluente de producción					
Queso, caseína	16.000	200	80	N	[17]
Suero	70.000	1.400	50	N	[17]
Suero	68.050	1.560	44	N	[12]
Leche en polvo, manteca	3.000	70	43	N	[17]
Efluente de la empresa					
FFU – Chilton	3.000	96	31	N	[18]
Adell Corporation	5.428	184	29	N	[18]
Alto Dairy Coop.	1.016	91	11	C	[18]
Mullins Cheese, Inc.	1.125	135	8	C	[18]
Packerland Whey	6.000	750	8	C	[18]

3.3 Reducción de volumen y carga orgánica de las aguas residuales en la industria láctea

Para lograr una buena calidad de los efluentes líquidos es indispensable poner acento en la prevención. Por esta razón, el control de los procesos es el primer paso para solucionar el problema de la generación de efluentes líquidos. Entre las acciones tendientes a reducir el consumo de agua y la consiguiente generación de efluentes líquidos de las industrias lácteas pueden citarse:

- ♦ Optimización de la filtración inicial de la leche con el objetivo de reducir la frecuencia de limpieza de los separadores centrífugos.
- ♦ Empleo de técnicas de medición y control de flujo de sustancias.
- ♦ Recuperación y aprovechamiento del *lactosuero* generado en la elaboración de queso y manteca. Este es un punto clave para la reducción tanto del volumen como de la carga orgánica de las aguas residuales. En la actualidad, todas las grandes empresas lácteas cuentan con estrategias de recuperación y/o revalorización del *lactosuero*. Entre ellas se pueden citar: la elaboración de otros productos lácteos (p.e., ricota), la alimentación de ganado porcino y bovino propio de la empresa o de terceros (alimentación animal), la venta a empresas procesadoras

que reciben el suero como materia prima (venta a terceros) y la producción de derivados de suero con alto valor agregado tales como suero en polvo, concentrados de proteína de suero, lactosa, entre otros. De esta forma, se minimiza el vuelco del suero al ambiente y/o a sistemas de tratamientos de efluentes [19].

- ♦ Control y/o reutilización de salmueras empleadas en la elaboración de quesos. Son una importante fuente de carga orgánica y de sales.
- ♦ Minimizar el empleo de agua de lavado. El mayor consumo de agua se produce en las operaciones auxiliares, particularmente en la limpieza y desinfección, donde se consume entre el 25-40% del total. Dependiendo del tipo de instalación, el sistema de limpieza y manejo del mismo la cantidad total de agua consumida en el proceso puede llegar a superar varias veces el volumen de leche tratada. Este consumo suele encontrarse entre 1 y 3 L de agua/kg de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10 L de agua/kg de leche recibida. Sin embargo, es posible optimizar este consumo hasta valores de 1 L de agua/kg leche recibida utilizando equipamientos avanzados y un manejo adecuado [20].
- ♦ Separación de aguas pluviales y residuales. Aunque el mezclado de aguas reduce la carga orgánica del efluente combinado, puede aumentar significativamente el volumen total de agua a tratar.
- ♦ Es muy importante el control de las pérdidas de producto, en especial de leche, la cual puede llegar a ser del 0,5-2,5% de la cantidad de leche recibida o en los casos más desfavorables hasta del 3-4% [21].



4. Bibliografía

- [1] FAO-FEPALE, 2012. Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011, Observatorio de la Cadena Lechera. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal. <http://www.fao.org/home/es/>
- [2] Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, 2016. <http://www.ocla.org.ar/>.
- [3] Federación Nacional de Industrias Lácteas, 2016. <http://fenil.org/>.
- [4] Informes de cadenas de valor. Láctea, 2016. Año 1 No. 22. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo.
- [5] Organización Interprofesional Láctea, 2015. <http://www.inlac.es/index.php>.
- [6] Prevención de la Contaminación de la Industria Láctea, 2002. Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. Ministerio de Ambiente. Obtenido de: www.cprac.org/docs/lac_es.pdf.
- [7] Pisecky, J., 2012. Handbook of Milk Powder Manufacture. 2nd Ed. (Vagn Westergaard, Ejnar Refstrup Eds.) GEA Process Engineering A/S (GEA Niro) Gladsaxevej 305 DK-2860 Soeborg Copenhagen, Denmark.
- [8] Moejes, S. N., van Boxtel, A. J. B., 2017. Energy saving potential of emerging technologies in milk powder production. Trends in Food Science & Technology 60, 31-42.
- [9] Ramírez, C. A., Patel, M., Blok, K., 2006. From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry. Energy 31(12), 1984-2004.
- [10] Bosworth M.E.D., Hummelmoose, B., Christiansen, K., 2000. Cleaner production assessment in dairy processing. Informe preparado por COWI Consulting Engineers and Planners AS (Dinamarca) para United Nations Environment Programme (UNEP).
- [11] Rodríguez, I. R., 2010. *Caracterización y tratamiento de efluentes líquidos en la Industria Láctea*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial – Ingeniería Ambiental. Área: Efluentes líquidos y sólidos.
- [12] Ghaly, A. E., Tango, M.S.A., Adams, M.A., 2003. Enhanced lactic acid production from cheese whey with nutrient supplement addition. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript FP 02 009.
- [13] Atkinson, B., Mavituna, F., 1991. *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*. Stockton Press, New York.
- [14] *Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial. Fabricación de productos lácteos*, 1998. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Chile.
- [15] Irvine, R. L., Bryers, J. D., 1985. Stoichiometry and kinetics of waste treatment. En: *Comprehensive Biotechnology*. Vol. 4. (C.W. Robinson, J. A. Howell, editores). Pergamon, New York. Cap. 41, pp. 757-772.

- [16] Orhon, D., Artan, N., 1994. *Modelling of activated sludge systems*. Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- [17] Donkin, M.J., 1997. Bulking in aerobic biological systems treating dairy processing wastewaters. *International Journal Dairy Technology* 50, 67-72.
- [18] Kim, M. W., Ahn, C.H., Park, J. K., 2001. Comparisons of bacterial communities in the activated sludge of different dairy wastewater treatment plants. Proc. 3rd IWA Int. Spec. Conf. On Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes. En CD. (No. 84).
- [19] Terán, J. C., Paez, R., Pirola, M. B., Schmidt, E., 2010. *Características generales sobre el uso del suero de queso en la Provincia de Santa Fe*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI - Lácteos) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA - Rafaela).
- [20] *Cleaner production assessment in dairy processing*, 2000. United Nations Environment Programme (UNEP). Division of Technology, Industry and Economics.
- [21] *Contaminación de las aguas. Sector Lácteo. Los vertidos del sector lácteo*. 2008. Escuela Organización Industrial (EOI). Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Madrid, España.



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN). Managua (Nicaragua).

Industria minera del oro

Martha Lacayo
Anielka Dávila

Universidad Nacional Autónoma
de Nicaragua
(Managua, Nicaragua)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Índice

1. Contextualización de la industria minera del oro en la Península Ibérica y en Latinoamérica	89
2. Sistemas de extracción de oro	89
3. Evolución de la extracción de oro	92
4. Caracterización y producción de los residuos en la extracción de oro	94
4.1 Consumo de agua en la extracción de oro	94
4.2 Características del agua residual producida en la extracción de oro	95
5. Bibliografía	99



1. Contextualización de la industria minera del oro en la Península Ibérica y en Latinoamérica

En Latinoamérica y el Caribe se concentra un elevado porcentaje de las reservas mundiales de minerales metálicos: un 66% de litio, un 47% de cobre, un 45% de la plata, un 25% de estaño, un 23% de la bauxita, un 23% de níquel, un 14% de hierro y 11% de oro, entre otros [1].

En el año 2017 los mayores productores de oro fueron: China con el 14% de la producción mundial, Australia con el 9%, Rusia con el 8%. Perú y México fueron los mayores productores de Latinoamérica con 5% y 3% de la producción mundial [2].

El oro usado como insumo industrial, en bienes finales, pero también como reserva de valor alternativo a las divisas presentó un crecimiento menor en comparación con otros metales básicos y se explicó por el aumento de la producción de algunos países tradicionales y por el surgimiento de nuevos países productores. China se consolidó como el principal productor de oro del mundo y logró duplicar su cuota de mercado en el período del 2007 al 2014, seguido por Australia, la Federación de Rusia, EE.UU. y Canadá. En Latinoamérica y el Caribe se destacaron la magnitud de la producción del Perú, séptimo productor mundial de oro en 2014, y el crecimiento de la producción de México, Brasil y, en menor medida, Chile [1].

La actividad minera a gran escala genera mayores ingresos, sin embargo, en países en desarrollo también se realiza la extracción mineral mediante la pequeña minería y la minería artesanal por lo general en el sector informal, fuera del marco regulador y legal. Las prácticas artesanales suelen tener una baja productividad, escasas condiciones de seguridad y un impacto ambiental negativo [3].

2. Sistemas de extracción de oro

La construcción de las minas y las operaciones de su procesamiento deben aplicar una amplia gama de tecnologías para proteger y proveer salud y seguridad a la comunidad y al trabajador.

Las actividades de beneficio del oro llamada pequeña minería y minería artesanal emplea métodos manuales de explotación en afloramientos del cuerpo mineralizado, y en estructuras excavadas en el subsuelo.

El procesamiento del mineral aurífero se realiza utilizando el método de amalgamación en los planteles de beneficio con sistemas de molienda, así como en zonas de acumulación aluvial de los sedimentos de las colas de planteles de beneficio.

La forma más habitual para la extracción artesanal del oro es el amalgamamiento del mineral con un agregado químico, generalmente mercurio (Hg), o mezclándose con cianuro (CN) [3]. En general, se hace extrayendo material de la veta para pasarlo por la molienda y amalgamación donde implementan el mercurio. En la **Figura 1** se describe de forma general las etapas del proceso de extracción del oro.

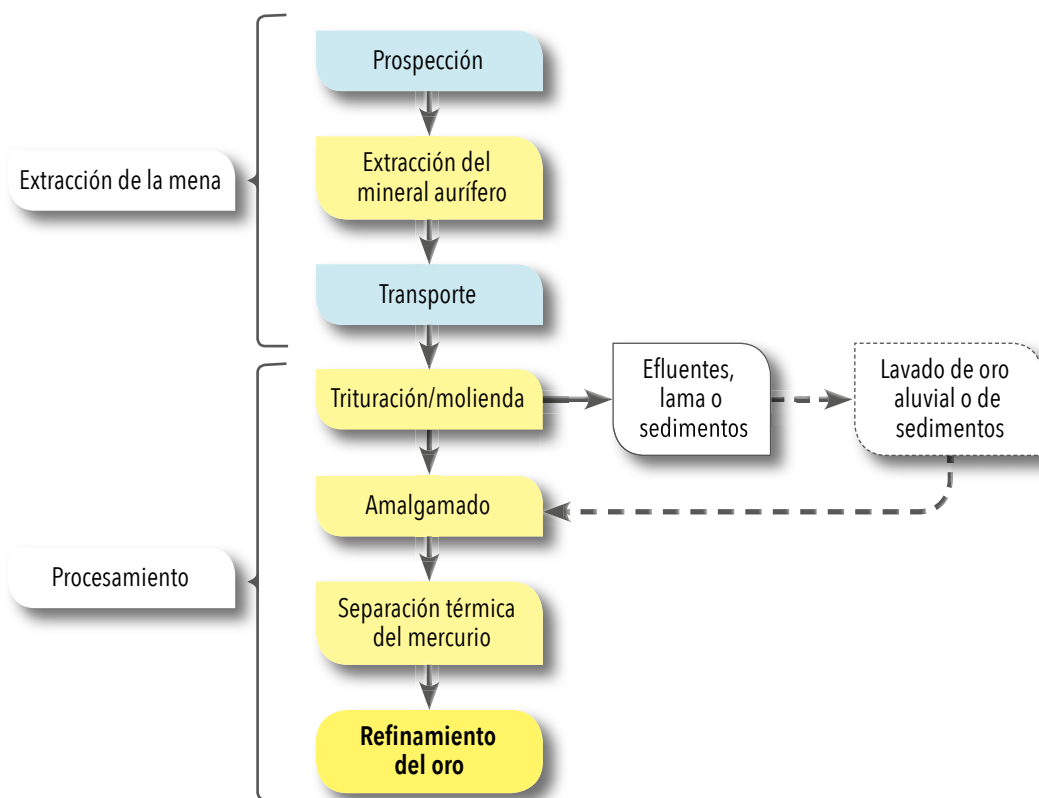


Figura 1. Diagrama de procesos unitarios de la minería aurífera en Santo Domingo (Chontales, Nicaragua) [4].

Los sistemas de procesamiento de mineral aurífero se pueden clasificar en:

a) *La Máquina*

La Máquina es un sistema electromecánico de mazos trituradores, que es alimentado con paladas de mineral aurífero. El material molido pasa por una criba y tamiz artesanal, conducido por una corriente de agua suministrada suavemente

por una tubería. Después de pasar por los orificios del tamiz, el agua transporta el material molido a través de un canal de cobre denominado *galván*, el cual es rociado con mercurio, antes y durante la molienda.

El mercurio atrapa las partículas de oro contenidas en el mineral aurífero, que pasa sobre el canal. La amalgama formada se adhiere a la lámina galvanizada. El resto de los componentes del mineral aurífero molido, así como partículas de oro que no lograron amalgamarse, son vertidos a una pila de retención de sedimentos, previo a su disposición final.

El proceso de molienda y amalgama en este sistema es continuo. Cuando termina la molienda, se retira la amalgama raspando la mesa amalgamadora (*galván*). En *la Máquina* se procesa mineral aurífero de bajo rendimiento, debido en parte a que se pierde gran cantidad de oro, dado que la velocidad de la corriente de agua, de aproximadamente 1 L/s, no presta el tiempo suficiente para que ocurra un total amalgamiento del oro con el mercurio. Por esta razón, una cantidad significativa del mismo, alrededor del 60%, no es aprovechada.

La Máquina trabaja continuamente hasta que los mineros asociados terminan la molienda, que puede extenderse por varios días únicamente deteniendo el proceso por media hora cada 8 horas para hacer un muestreo de la recuperación de oro.

b) Rastras

Es un sistema de uso antiguo, compuesto por rocas de composición silicia llamadas voladoras, sujetadas en las extremidades de una cruceta de madera o de metal mediante cadenas, la cruceta es soportada por un eje central que gira por propulsión hidráulica o electromecánica. Las voladoras se desplazan sobre un lecho rocoso de área circular y superficie llana, con base y bordes de concreto llamado taza.

La base de la taza está acondicionada con rocas de superficie lisa, previamente allanadas con las mismas voladoras, dejando espacios o rendijas entre ellas. La taza posee un vertedero provisto de una lámina metálica galvanizada rectangular menor a un metro de ancho y de similar longitud. Antes y durante la molienda, la lámina es rociada e impregnada de mercurio, al igual que el lecho rocoso de la taza.

Al final de la molienda, se retira el amalgamado de la superficie del lecho rocoso y de la lámina galvanizada, y se realiza el desalojo o *desentace* de las rocas allanadas, para retirar el mineral molido retenido en el lecho rocoso. El mineral molido recuperado como lodo, es posteriormente procesado en un equipo artesanal, conocido como canaleta; constituido por una criba rústica de metal que yace sobre una caja de madera de tres compuertas, en donde las partículas de oro amalgamadas se extraen por gravedad.

Las rastras trabajan continuamente hasta que los mineros asociados terminan la molienda, que puede extenderse por varios días únicamente deteniendo el proceso por media hora cada 12 horas para hacer un muestreo de la recuperación de oro.

c) Paneo

La actividad de procesamiento de oro aluvial en la zona es llamada paneo. Se realiza utilizando un equipo manual y portátil conocido como cayuco, el cual funciona por gravedad al igual que la canaleta. Está constituido por una criba metálica, superpuesta a un extremo de una cama de reglas de madera y tablas, cubierta por una colcha o alfombra. El extremo opuesto a la criba de la cama de reglas, es inclinado hacia el suelo en la rivera o lecho del río.

El sedimento extraído de las riberas y las zonas someras del lecho del río es fro-tado sobre la criba mientras se agrega agua, proceso conocido como lavado de oro o sedimentos. El material más ligero se desplaza con el agua por gravedad, debido a la inclinación de la cama de reglas y el material más pesado con las partículas de oro va quedando en la alfombra. La alfombra es removida y sumergida en un recipiente o pana con agua, donde es lavada y su contenido es colectado. Enseguida, se agrega una cuota de mercurio, agitando el recipiente para que se produzca la amalgama. A las personas que realizan labores de paneo se les conoce como *güiriseros*.

3. Evolución de la extracción de oro

La minería metálica presenta algunas características que es importante destacar para entender su dinámica y su estrecha relación con la inversión extranjera directa. Por una parte, hay una gran concentración, tanto en términos de la demanda internacional como de la producción, y, por la otra, las especificidades del proceso de inversión y producción hacen que las empresas líderes sean, en su gran mayoría, transnacionales.

En 2000, un grupo de 8 países concentraron el 71,1% de la producción mundial, mientras que en 2014 fueron 14 los países que acumularon un porcentaje similar (**Tabla 2**). China se consolidó como el principal productor de oro del mundo al duplicar su producción, mientras Perú, México y Brasil figuran entre mayores productores de Latinoamérica [1].

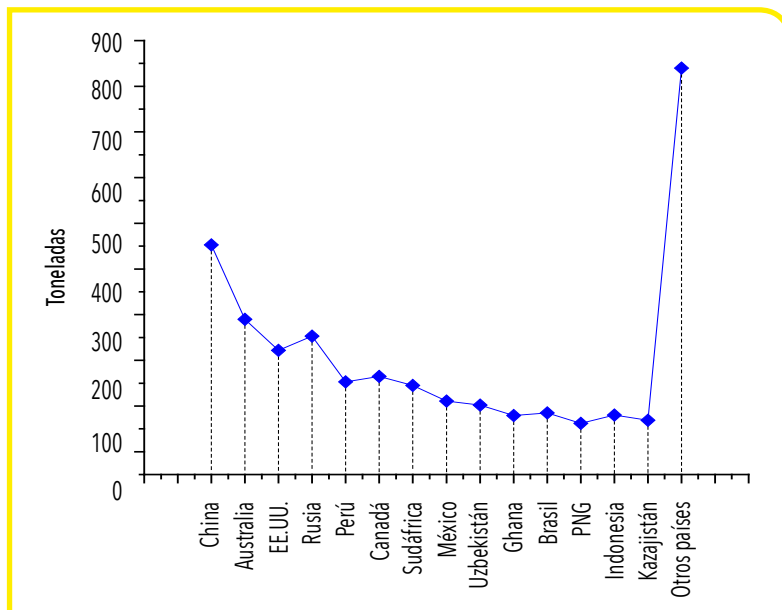
Tabla 2. Producción de oro en países seleccionados en 2000 y 2014 [1].

País	2000		2014		Crecimiento	
	Tn	%	Tn	%	Tn	%
China	180	7,1	450	15,0	270	58,6
Federación de Rusia	126	5,0	247	8,2	121	26,2
México	–	–	118	3,9	118	25,6
Uzbekistán	–	–	100	3,3	100	21,7
Ghana	–	–	91	3,0	91	19,7
Brasil	–	–	80	2,7	80	17,4
Papúa Nueva Guinea	–	–	53	1,8	53	11,5
Chile	–	–	50	1,7	50	10,8
Perú	133	5,3	140	4,7	7	1,5
Canadá	154	6,1	152	5,1	-2	-0,4
Australia	296	11,7	274	9,2	-22	-4,8
Indonesia	125	4,9	69	2,3	-56	-12,1
EE.UU.	353	13,9	210	7,0	-143	-31,0
Sudáfrica	431	17,0	152	5,1	-279	-60,5
Otros países	735	29,0	808	27,0	73	15,8
Total	2.533	100,0	2.994	100,0	461	100,0

En el año 2016 el patrón de producción persiste con un total de 3.110 toneladas, aportadas principalmente por China, Australia y EE.UU. Los principales productores de Latinoamérica, Perú, México y Brasil aportan el 5, 4 y 3% respectivamente, para un total del 13% producción mundial.

Los datos presentados en la **Figura 2** corresponden a los mayores productores mundiales de oro sin discriminar la producción de minería artesanal.

Figura 2. Mayores productores de oro en el año 2016 [2].



4. Caracterización y producción de los residuos en la extracción de oro

La generación de residuos de la pequeña minería y minería artesanal es difícil de generalizar debido a que la cantidad de insumos utilizados varía en dependencia del tipo de sistema de molienda empleado, calidad de mineral aurífero (en el caso del mercurio) y de las costumbres del dueño o grupo de socios que se encuentren haciendo uso de los equipos de molienda [4].

Del proceso de extracción de oro se producen aguas residuales generadas principalmente durante la molienda debido al suministro constante de agua durante el proceso, seguido de la adición de insumos para la amalgamación y separación del oro del sedimento, residuo sólido del proceso.

4.1 Consumo de agua en la extracción de oro

La práctica minera genera impacto en el suelo, aguas superficiales y subterráneas locales, incluso a la atmósfera, afectando directa o indirectamente a las personas relacionadas a ésta, implicando una alta vulnerabilidad ambiental y a la salud [3], sin embargo, debido a la falta de control gubernamental de la pequeña minería y minería artesanal no se conocen datos específicos del consumo de agua de este sector económico.

Uno de los aspectos más importantes en términos de afectación y contaminación es la que se refiere al agua. No solo el agotamiento de fuentes de agua, sino también la intervención de aguas superficiales, la destrucción de cabeceras de cuencas, eliminación de lagunas, desvío de ríos, destrucción de páramos, consumo de aguas fósiles y también la destrucción de glaciares.

Al mismo tiempo la acumulación de residuos tóxicos en tranques de relaves o diques de colas es un riesgo permanente de colapso y contaminación como fue el caso de la destrucción del dique de colas de la mina Santiago Apóstol en Bolivia [5].

El crecimiento desmesurado de la minería artesanal/informal/ilegal en algunos países de la región como Bolivia, Colombia y Perú está generando un efecto particularmente devastador sobre los cursos de agua de la Amazonia, deforestando y contaminado con mercurio extensas partes del territorio [6].

4.2 Características del agua residual producida en la extracción de oro

En la **Tabla 3** se presenta una caracterización físico-química del cuerpo receptor pos- y pre-descarga del efluente de minería artesanal. Los efluentes de la minería artesanal son depositados directamente en cuerpos receptores sin previo tratamiento lo que genera un impacto negativo en la calidad de agua del sitio debido principalmente a alto contenido de sólidos sedimentables y suspendidos en concentraciones de 0,4 mg/L y 425 mg/L respectivamente, los cuales inmediatamente cambian la apariencia del sitio de deposición.

Además, comparando la calidad de agua previa a la descarga del agua residual se verifica un aumento en la concentración de hierro, aluminio, plomo, arsénico, bario y cobre. En el caso del plomo la concentración de 0,6 mg/L es mayor a los valores establecidos en normas y directrices para uso de consumo humano, protección de la vida acuática e irrigación.

Tabla 3. Caracterización físico-química del cuerpo receptor pos- y pre-descarga del efluente de minería artesanal [3]. Elaboración propia.

Parámetros	Sitio descarga	Antes de la descarga	Unidades
Temperatura	24,3	24,0	°C
pH	7,6	7,56	Unidades de pH
Conductividad	77.800	72.600	uS/cm
Cloruros	6,8	6,4	mg/L
Sólidos sedimentables	0,400	–	mg/L
Sólidos suspendidos totales	425	–	mg/L
Sulfatos	3,7	5,6	mg/L
Aluminio	10,4	0,78	mg/L
Antimonio	<LD	<LD	mg/L
Arsénico	0,08	ND	mg/L
Bario	0,2	<LD	mg/L
Berilio	ND	ND	mg/L
Boro	<LD	ND	mg/L
Cadmio	<LD	ND	mg/L
Calcio	4,6	4,6	mg/L
Cerio	<LD	ND	mg/L
Cobalto	<LD	<LD	mg/L
Cobre	0,1	ND	mg/L
Cromo	<LD	ND	mg/L
Estaño	ND	ND	mg/L
Estroncio	<LD	<LD	mg/L
Fósforo	0,27	<LD	mg/L
Hierro	23,7	0,8	mg/L
Litio	<LD	<LD	mg/L

continúa ➔

Parámetros	Sitio descarga	Antes de la descarga	Unidades
Magnesio	3,2	2,7	mg/L
Manganeso	1,2	<LD	mg/L
Mercurio	<LD	<LD	mg/L
Molibdeno	<LD	ND	mg/L
Níquel	ND	ND	mg/L
Oro	ND	ND	mg/L
Plata	<LD	ND	mg/L
Plomo	0,607	ND	mg/L
Potasio	1,6	0,53	mg/L
Selenio	ND	ND	mg/L
Silicio	12,4	9,9	mg/L
Sodio	4,6	4,7	mg/L
Talio	ND	ND	mg/L
Titanio	0,12	ND	mg/L
Vanadio	<LD	<LD	mg/L
Zinc	0,09	<LD	mg/L

El residuo generado de la molienda para la extracción del oro puede variar dependiendo de las características del sitio de explotación, sin embargo, con el desarrollo de la pequeña minería el material generado contiene oro y mercurio, o cianuro de ser el caso (**Tabla 4**).

El residuo posee pH ligeramente ácido en solución acuosa, contenido de humedad entre el 13 y el 37% y materia orgánica entre el 1 y el 11%, respectivamente.

Contiene además 2,9 mg/kg y 12,7 mg/kg de oro y mercurio respectivamente, además se encuentran altas concentraciones de plomo con 1.179 mg/kg, bario con 608 mg/kg, cinc con 281 mg/kg y cobre en concentraciones de 167 mg/kg, entre otros [7].

Tabla 4. Caracterización del residuo sólido [7]. Elaboración propia.

Parámetros		Unidades
pH acuoso	4,5 a 6,5	Unidades de pH
Contenido de humedad	13-37	%
Materia orgánica	1-11	%
Arsénico	7,1	mg/kg
Antimonio	2,2	mg/kg
Bario	608	mg/kg
Cadmio	2,0	mg/kg
Cinc	281	mg/kg
Cobalto	53,8	mg/kg
Cromo	9,8	mg/kg
Cobre	167	mg/kg
Estaño	0,9	mg/kg
Mercurio	12,7	mg/kg
Níquel	10,8	mg/kg
Oro	2,9	mg/kg
Plata	24,4	mg/kg
Plomo	1.179	mg/kg
Selenio	3,0	mg/kg
Talio	16,5	mg/kg
Vanadio	76,8	mg/kg



5. Bibliografía

- [1] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe*, 2016 (LC/G.2680-P), Santiago, 2016.
- [2] U. S. Geological Survey. (2018, enero). *Mineral Commodity Summaries, Gold*. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gold/mcs-2018-gold.pdf>
- [3] Vallecillo, F. (2015). *Calidad físico-química de fuentes de agua subterránea y superficiales en la zona minera de Santo Domingo, Chontales: análisis del riesgo a la salud humana y ambiental debido a la exposición a metales*. Laboratorio de Biotecnología / Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- [4] Espinoza, T. E. (2005). *Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del Río Artiguas. Énfasis en Metales pesados*. Managua: UCA
- [5] Coordinación Observatorio de Conflictos Mineros de América. (2015). *Auge de minería en Latinoamérica*. Berling.
- [6] Heinrich Boll Stiftung. (2013). *Minería, Energía, Agua y Cambio Climático en América Latina*.
- [7] Mendieta C. M y Taisigue K. M. (2015). *Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación*. Laboratorio de Biotecnología / Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.



Pintura del rectorado de la Universitat Rovira i Virgili. Tarragona (Espanya).
Cuadro donado por Tomás Torné en 2012.

Industria pesquera y conservera

Albert Redecillas
Christophe Bengoa

Universitat Rovira i Virgili
(Tarragona, España)

Índice



1. Contextualización de la industria pesquera y conservera en la Península Ibérica y en Latinoamérica	105
2. Sistemas de producción de pescado fresco y sus conservas	106
3. Evolución del sector pesquero y conservero	110
3.1 Indicadores estadísticos	110
3.2 Indicadores económicos	113
4. Caracterización y producción de residuos líquidos y sólidos durante la elaboración de pescado fresco y sus conservas	116
4.1 Consumo de agua en la industria pesquera	116
4.2 Características del agua residual producida en la industria pesquera y conservera	117
5. Bibliografía	121



1. Contextualización de la industria pesquera y conservera en la Península Ibérica y en Latinoamérica

La pesca y la acuicultura son fuentes de alimentos de vital importancia para la sociedad actual, tanto para la alimentación, como para el cebado de animales. En España el sector pesquero aporta un 1% al PIB, generando cerca de 40.000 empleos distribuidos en 598 empresas a lo largo del país. Actualmente, España es el mayor consumidor de productos pesqueros de la Unión Europea con 25,5 kg per cápita y año y el quinto del mundo, siendo Japón el país con mayor consumo de pescado. Es de notar que el pescado es uno de los productos alimenticios más comercializado en el mundo, donde los países desarrollados son los pioneros en exportaciones de pescados y sus conservas.

España es el primer productor industrial de la Unión Europea con un 20% de la producción total, capturando en 2016 cerca de 900 mil toneladas de pescados y mariscos [1]. Ocupa, además, el puesto 18 en la producción mundial de pescados y sus conservas, suponiendo un 1,1% de las capturas mundiales (81,1 millones de toneladas) [1]. El mayor productor mundial es China con 14,8 millones de toneladas, seguida por Indonesia y EE.UU. con 6,1 y 4,9 millones de toneladas, respectivamente [1].

A nivel latinoamericano, Perú, Chile, México, Argentina y Ecuador ocupan los puestos 6, 11, 16, 22 y 25 en cuanto a producción mundial [1]. Aunque Perú ocupa un puesto elevado en el ranking mundial, ha perdido cerca de 2,3 millones de toneladas respecto al año anterior (un 40% de la producción), encontrándose en un período de recesión [1]. México y Argentina también experimentaron una ligera disminución de su producción con una disminución del 7% y del 5%, respectivamente [1]. Chile, por el contrario, ha aumentado su producción en un 22,8% respecto al año anterior, capturando más de 2,1 millones de toneladas en 2014 [1]. Ecuador también experimentó un crecimiento del 29% aunque su producción anual no llega a los mil millones de toneladas, dejándola lejos de sus competidores [1].

Cabe destacar que España tiene la tercera mayor flota de la Unión Europea con 9.299 buques, un 11,2% del total (83.780) y la más importante en cuanto a capacidad (23,6% del total) [1]. España exportó más de 1,1 millones de toneladas en 2016, por un valor de 3,71 mil millones de euros, siendo el pescado congelado el producto más exportado con 426 mil toneladas por un valor de 714 millones de euros [1]. El segundo producto con un mayor número de exportaciones, tanto en peso, como en valor son los moluscos con 188 mil toneladas por un valor de 710 millones de euros [1].

2. Sistemas de producción de pescado fresco y sus conservas

Antiguamente, los procesos de transformación del pescado eran manuales, lo que limitaba el límite de especies que podían ser tratadas. Los procesos se han actualizado para adaptarse a los nuevos tiempos y las fábricas tradicionales se han modernizado para dar lugar a una expansión de la producción hacia nuevas especies de pescado. El proceso general de transformación de los productos pesqueros se muestra en la **Figura 1**. Los tratamientos preliminares se basan en la preparación de las capturas. Éste se muestra en la **Figura 2**.

Los procesos de producción de pescado fresco y sus conservas son variados y presentan etapas diferentes según sea el producto que se quiere transformar. El proceso general es el que se puede observar en las **Figuras 1 y 2** y en el caso de la **Figura 3** se muestra el proceso de producción de salmón fresco.

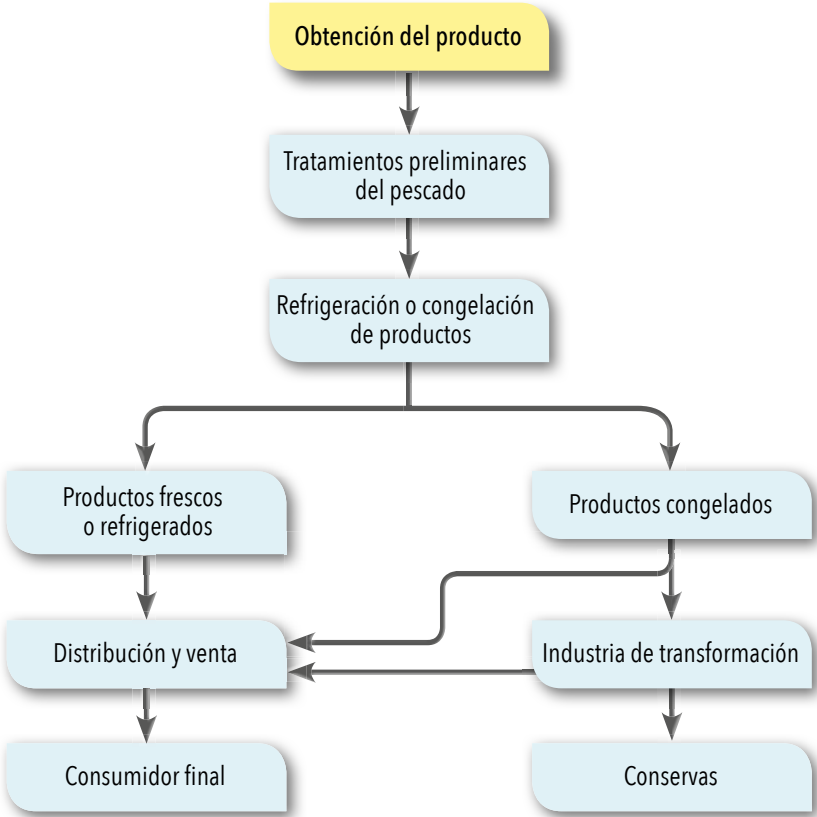


Figura 1. Proceso de obtención de pescado fresco y sus conservas [2].

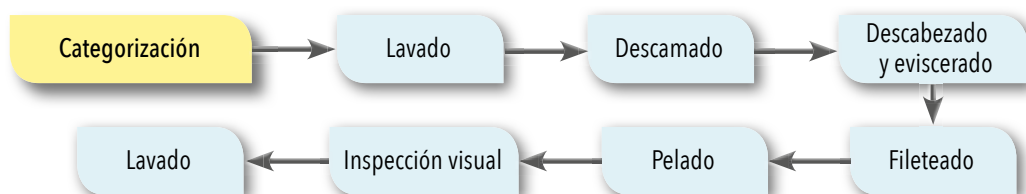


Figura 2. Tratamientos preliminares del pescado [2].

Como se muestra en la **Figura 3**, para la producción de salmón fresco es necesario aportar agua potable en diversas etapas del proceso. En concreto, lo encontramos en el lavado, tanto de los bidones de almacenaje, como del pescado en sí. Además, es necesaria la aportación de agua en etapas de fileteado, desespinado y despielado, así como en el lavado, trozado y sanitizado del producto. El agua es redirigida a un colector y se obtiene el agua residual industrial.

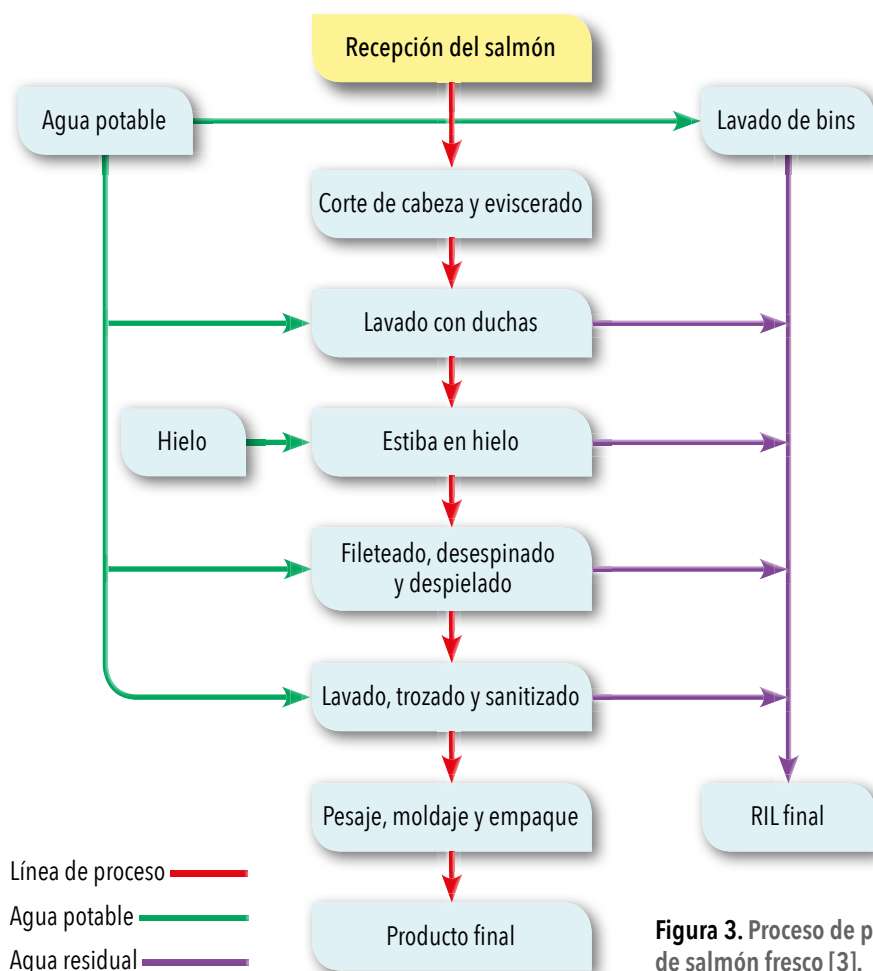


Figura 3. Proceso de producción de salmón fresco [3].

En la **Figura 4** se muestra otro ejemplo de proceso, en particular la producción de conservas de jurel. El proceso de producción de conservas de jurel requiere también, de una cantidad elevada de agua potable para llevarse a cabo. Es necesaria el agua para el troceado y eviscerado del pescado y para los diferentes lavados llevados a cabo en el proceso. Al ser un producto preparado, ha de cocinarse previamente en un cocedor, generando un residuo líquido en el proceso. Igual que en los demás procesos, toda el agua residual es colectada y se genera el agua residual industrial que, posteriormente, se lleva a la planta de tratamiento para adecuarlo a la normativa.

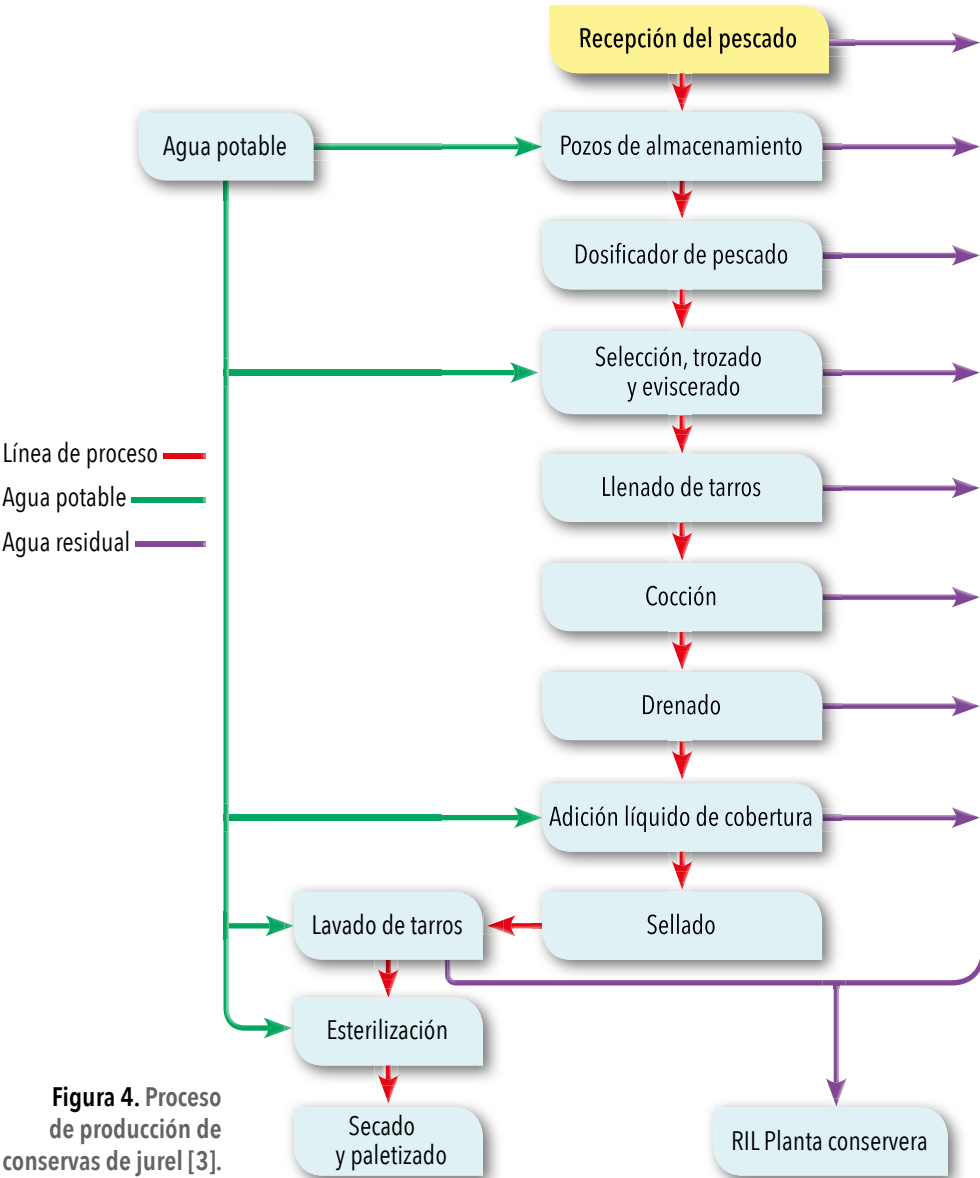


Figura 4. Proceso de producción de conservas de jurel [3].

La industria conservera genera una gran cantidad de residuo sólido (aproximadamente un 40-50% de la materia prima) como pueden ser cabezas, colas o espinas [4]. Éstos son utilizados en la industria harinera para la producción de harina de pescado, permitiendo revalorizar un residuo sólido antiguamente desechado. La harina de pescado es utilizada en la dieta de animales de granja como cerdos o vacas, disminuyendo notablemente los costes de producción asociados a la alimentación del animal. En la **Figura 5** se muestra un esquema del proceso de producción de harina de pescado a partir de los desechos de los procesos de transformación del pescado.

En la **Figura 5** se observa como el agua que contienen los residuos ha de ser eliminada en diversas unidades, siendo las principales la prensa y la decantación, además del agua de cocción de la materia prima. En el secado y molienda pueden generarse pequeñas cantidades de agua residual que no hayan sido eliminadas en las etapas anteriores.

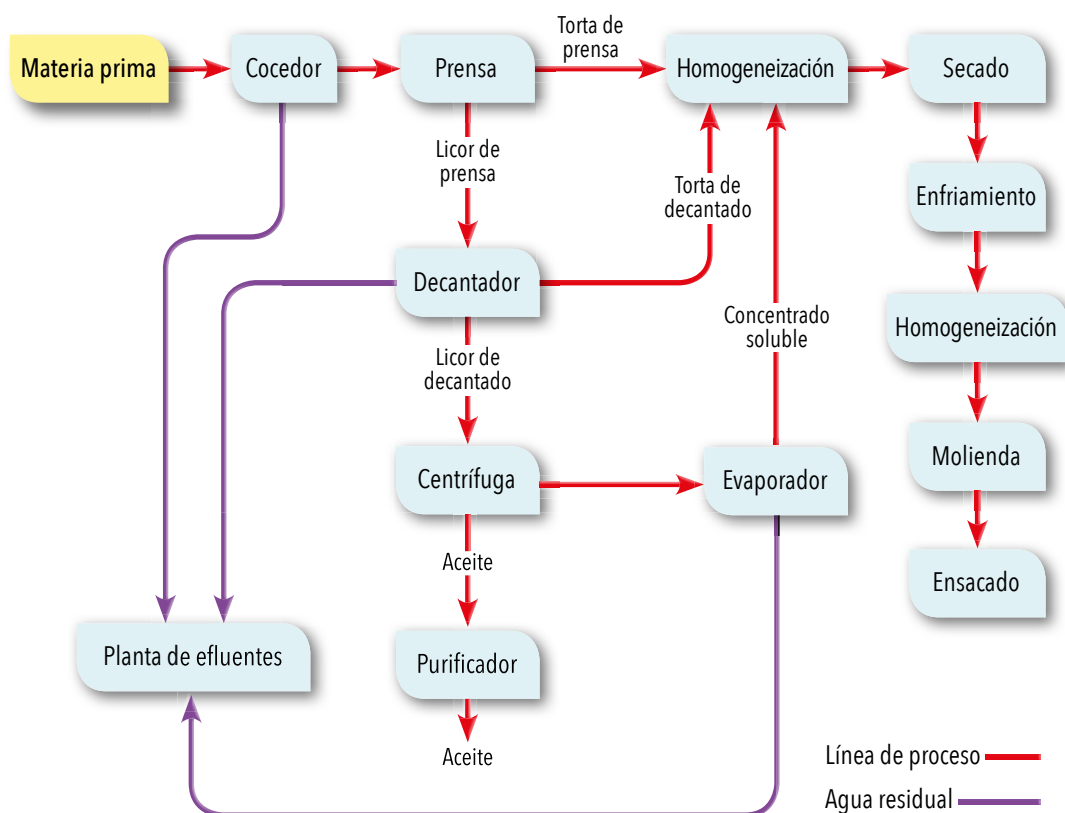


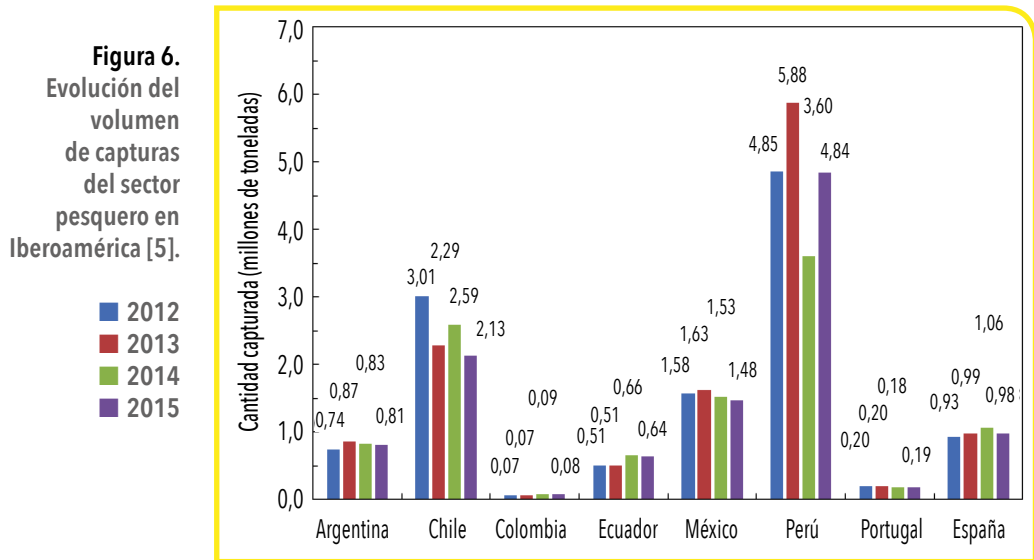
Figura 5. Proceso de producción de harinas y aceites de pescado [3].

3. Evolución del sector pesquero y conservero

3.1 Indicadores estadísticos

El sector pesquero y conservero ha evolucionado a lo largo de la historia implementando medidas tecnológicas que facilitan el procesamiento del pescado, para su consumo fresco, congelado, o la producción de conservas. Perú, Chile, México y España son los principales productores de pescado y conservas de pescado del sector iberoamericano [5]. Para conocer la evolución experimentada por el sector es necesario definir ciertos indicadores comunes que permitan realizar una comparativa entre éstos. Se utilizan el volumen de capturas, la cantidad de productos derivados del pescado producidos, y la cantidad de exportaciones e importaciones, así como el valor de éstas. Todos los datos son analizados entre 2012 y 2015 para Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Portugal y España.

La **Figura 6** muestra la evolución del volumen de capturas de pescado en el sector iberoamericano. Como puede observarse, los países con un mayor volumen de capturas son Perú y Chile, siendo Colombia y Portugal los que presentan una menor cantidad capturada. En general se mantiene una tendencia estable de capturas, siendo notoria la caída de Perú en 2014 disminuyendo en un 40% sus capturas respecto al año anterior, recuperando parte de ésta en 2015 y siendo siempre el país con un mayor volumen de capturas.



La **Figura 7** muestra la evolución de la producción de productos derivados del sector pesquero en Iberoamérica. Se consideran productos pesqueros los productos transformados del pescado, siendo la diferencia entre la captura y producción el pescado fresco consumido. Se observa que los principales productores son Perú, Chile y España.

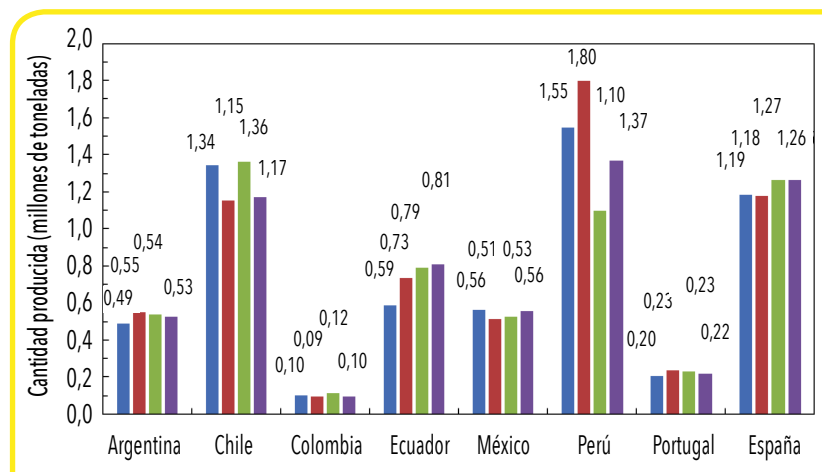


Figura 7.
Evolución de la producción de productos pesqueros y sus derivados en Iberoamérica [5].

■ 2012
■ 2013
■ 2014
■ 2015

La **Figura 8** muestra la cantidad de producto exportado en Iberoamérica. Chile se sitúa en cabeza en cuanto a exportaciones se refiere y Perú, a pesar de estar por encima en cuanto a capturas y producción, obtiene una menor retribución de sus exportaciones. España mantiene una tendencia evolutiva situándose por encima de Perú y siendo el segundo mayor exportador de productos pesqueros y derivados.

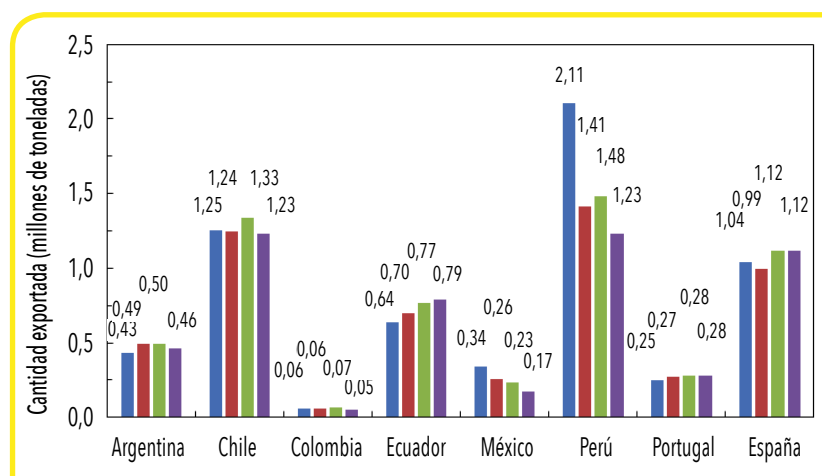


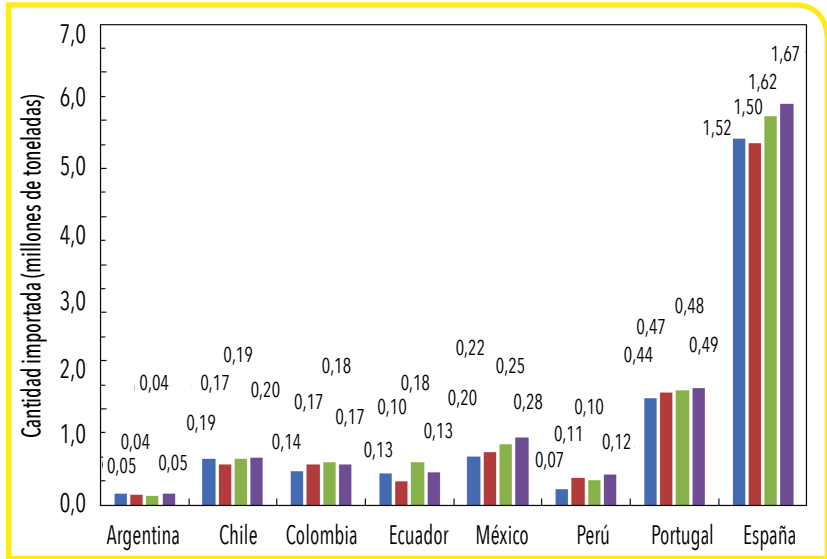
Figura 8.
Evolución de la cantidad de productos pesqueros exportada en Iberoamérica [5].

■ 2012
■ 2013
■ 2014
■ 2015

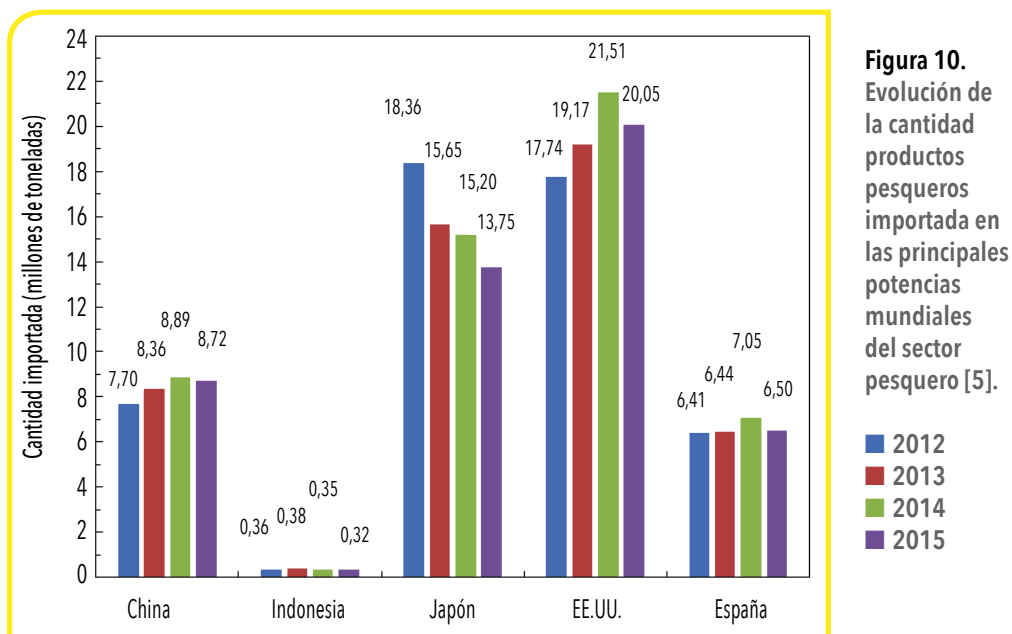
La **Figura 9** muestra el valor de las importaciones en Iberoamérica. España lidera en lo que a importaciones se refiere, importando más que la suma del valor de todos los demás países. Esto genera un déficit ya que el balance entre exportaciones e importaciones es negativo. Portugal es el segundo mayor importador debido a su poca capacidad productiva y el alto consumo de productos pesqueros y sus derivados. Los demás países importan muy poco producto, destacando Perú y Chile que son capaces de suplir la demanda gracias a su gran capacidad de producción.

Figura 9.
Evolución de la cantidad de productos pesqueros importada en Iberoamérica [5].

■ 2012
■ 2013
■ 2014
■ 2015



Además, como se observa en las **Figuras 8 y 9**, la cantidad exportada no equivale a la cantidad importada en el propio sector iberoamericano, por lo que hace falta evaluar las importaciones mundialmente y ver cuáles son los principales países importadores de producto. La **Figura 10** muestra la evolución de la cantidad importada de las grandes potencias mundiales. España se muestra como uno de los principales importadores a nivel mundial, siendo EE.UU. y Japón los países con mayor cantidad de producto importado.



3.2 Indicadores económicos

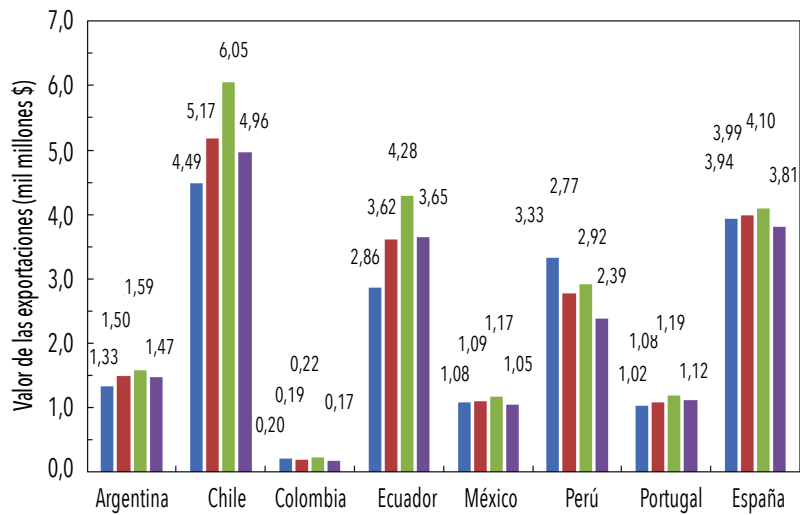
Aunque la pesca es una de las principales actividades del sector primario desarrolladas por el ser humano, su impacto en la economía actual no es del todo relevante y es sepultada por la gran aportación del sector terciario y secundario. Mientras que los servicios aportan entre un 50 y un 70% del PIB, el sector pesquero apenas aporta un máximo del 7%.

Esta aportación viene dada, principalmente, por el valor de pescado y sus derivados producidos y exportados internacionalmente. Por ese motivo, aparte de conocer los principales países exportadores del sector, es necesario conocer el valor en una moneda común para su comparativa. La **Figura 11** muestra la evolución del valor, en miles de millones de dólares estadounidenses (USD), de las exportaciones de pescado y sus derivados.

Como se muestra en la **Figura 11**, aunque Perú es el principal productor y el que mayor cantidad de productos pesqueros exporta, no obtiene tanto rendimiento económico como Chile o España que producen y exportan una menor cantidad.

Figura 11.
Evolución del
valor de los
productos
pesqueros
exportados en
Iberoamérica [5].

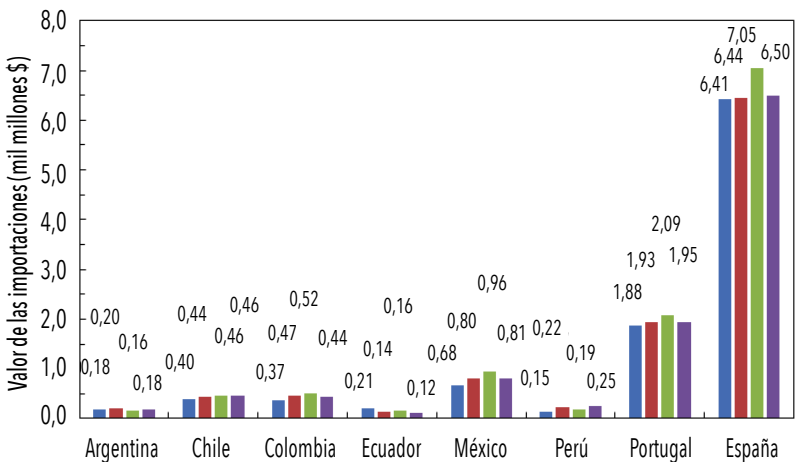
■ 2012
■ 2013
■ 2014
■ 2015



La evolución del valor de las importaciones se muestra en la **Figura 12**. En cuanto a importaciones se refiere, España, Portugal y Colombia presentan un saldo negativo, siendo España la que mayor diferencia tiene con, aproximadamente, 3 mil millones de USD de déficit.

Figura 12.
Evolución del
valor de los
productos
pesqueros
importados en
Iberoamérica [5].

■ 2012
■ 2013
■ 2014
■ 2015



En la **Tabla 1** se muestra la aportación al PIB en algunos países iberoamericanos. La aportación del sector pesquero al Producto Interior Bruto (PIB) es muy pequeña y solo es considerable en Ecuador, teniendo un peso relativamente mayor que en los demás países. Cabe destacar que en la aportación al PIB no se tiene en cuenta el sector acuícola.

Tabla 1. Aportación del sector pesquero al PIB de los países del sector iberoamericano.

País	Aportación al PIB
Argentina [6]	<0,3%
Chile [7]	<0,5%
Colombia [8]	<0,3%
Ecuador [9]	~7,0%
México [10]	<0,3%
Perú [11]	~1,5%
Portugal [12]	<1,0%
España [1]	<1,0%

En España ocurre que, además, se está produciendo una disminución del número de empresas que se dedican al sector pesquero, como se muestra en la **Figura 13**.

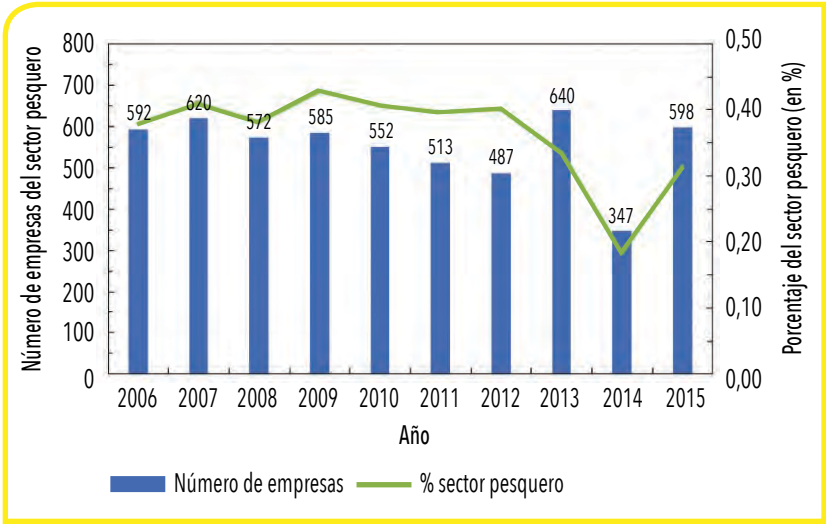


Figura 13. Evolución del número de empresas y el porcentaje que representan del total en España [13].

4. Caracterización y producción de residuos líquidos y sólidos durante la elaboración de pescado fresco y sus conservas

El hombre produce una gran cantidad de contaminantes en el día a día de la actividad industrial y muchos de éstos se producen en estado líquido y acaban en el mar, de forma directa o indirecta. Por ello han de ser tratados para cumplir con la legislación que depende de la zona de vertido, así como del país donde se realice la actividad industrial. El objetivo de esta legislación es preservar el ecosistema marino, indicando unas concentraciones máximas de contaminantes en los vertidos.

En el caso de la actividad pesquera, los residuos pueden ser sólidos o líquidos y con concentraciones de contaminantes variantes entre ellos según sea su proveniencia, siendo el agua de cola (residuo de la industria harinera) el efluente con mayor impacto en el ecosistema marino [14].

a) Residuos líquidos

Son, principalmente, efluentes obtenidos en los procesos de transformación de pescados. La carga contaminante depende del proceso para el que se utilicen, encontrando que el lavado tiene una baja carga contaminante, el fileteado una carga contaminante media y la cocción o elaboración de harinas de pescado una carga contaminante elevada. Estos efluentes están compuestos, principalmente, por carga orgánica y, sólidos en suspensión y grasas [14].

b) Residuos sólidos

Obtenidos en el procesado de conservas y utilizados como materia primera en la industria harinera. Además de éstos, se encuentran las piezas no válidas en la acuicultura, así como otros residuos generados en lonjas o barcos pesqueros. Cuando no se utilizan como materia prima en la industria harinera éstos son dispuestos en vertederos controlados [14].

4.1 Consumo de agua en la industria pesquera

El agua es necesaria en la mayoría de los procesos de transformación del pescado. Los principales usos son los siguientes [14]:

- ♦ **Lavado de materia prima:** inyección de agua a la materia prima para eliminar impurezas y restos sólidos.
- ♦ **Arrastre de sólidos:** se utiliza agua para el arrastre de los residuos sólidos.
- ♦ **Lavado de planta:** utilizada para lavar los diferentes equipos de la planta de procesado.
- ♦ **Agua de refrigeración:** utilizada para refrigerar los equipos de la planta.
- ♦ **Agua de cocción:** se utiliza para elaborar los preparados de pescado.

4.2 Características del agua residual producida en la industria pesquera

La cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales, así como los caudales vertidos varían en función de la industria de procesamiento. Éstos están formados, principalmente, por sólidos en suspensión y materia orgánica medida en Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Se conoce, también, que el pH de los efluentes líquidos suele ser neutro, entre 7 y 8, y que la temperatura de éstos no supera los 30 °C, oscilando entre los 21 y los 28 °C [15]. La **Tabla 2** muestra la composición general de los efluentes líquidos en industrias pesqueras y conserveras.

Tabla 2. Caracterización de los efluentes líquidos de las industrias pesqueras y conserveras [14].

Tipo de producto				Plantas de harina de pescado		
				No integral		Integral
Parámetros	Fresco	Fresco tratado	Conservas	Agua de cola	Agua de sangre	Agua de condensado
DBO_5 (mg/L)	1.100	40	–	55.000	16.600	1,2
DQO (mg/L)	1.500	–	1.640	90.000	93.000	–
Grasa (mg/L)	80	25	–	56.000	12.500	–
SST (mg/L)	1.200	40	960	3.300	75.000	80
S. sed. (mg/L)	1,5	<0,5	–	–	–	–
Residuo sólido (Tn/TnMP)	0,55	–	0,3 - 0,8	–	–	–
Residuo líquido (m^3/TnMP)	9	9	9	0,7	–	0,45

Como muestra la **Tabla 2**, generalmente, el agua de cola producida en la industria harinera es la que más carga contaminante tiene y la que tiene un menor caudal de vertido, mientras que en las plantas de pescado fresco es donde se vierte un mayor caudal, pero con una carga contaminante inferior.

Estos datos son generales y se encuentran particularidades según el tipo de industria y el tipo de pescado procesado. En la **Tabla 3** se muestran las características de las aguas residuales de dos plantas de salmón fresco y congelado, una planta de conservas de jurel y una planta de harina de pescado. Se puede observar como las plantas productoras de harinas de pescado generan unas aguas residuales con un alto contenido en contaminantes, en concreto una alta DQO y DBO_5 , siendo estos parámetros prácticamente 10 veces mayores en estas industrias.

Tabla 3. Características de los efluentes líquidos de diferentes plantas de la industria pesquera en Chile [3].

Parámetros	Salmón congelado	Salmón fresco	Conservas de jurel	Harina de pescado
pH	6,7	6,7	6,6	7,9
T (°C)	7,4	13	16	22
DQO (mg/L)	3.970	2.740	9.100	69.700
DBO ₅ (mg/L)	1.760	1.860	3.860	49.780
Grasas (mg/L)	3.100	692	1.984	6.970
SST (mg/L)	630	421	1.843	2.458
S. sed. (mg/L)	–	25	42	–
N-NH ₄ (mg/L)	–	11,9	71,1	53,4
P total (mg/L)	23	3,9	33,4	0,8
P. E. (mm)	7	4	6	1

La **Tabla 4** muestra la caracterización de los efluentes líquidos de una planta de conservas de mejillones.

Tabla 4. Características de los efluentes líquidos de una planta de conservas de mejillones [4].

Proceso	Flujo (m ³ /semana)	pH	SST (g/L)	SSV (g/L)	DQO (g/L)	Cloruros (g/L)	T (°C)
Fileteado	8.000	7,97	1,59	0,69	1,20	19,21	15
Lavado	8.000	8,06	0,34	0,15	0,23	19,32	15
Cocinado	480	6,95	1,30	1,06	16,9	13,66	100
Deshidratado	60	6,47	1,32	1,02	27,1	17,79	100
Transporte	1.600	8,11	0,21	0,06	0,15	19,21	15
Total mejillón	18.140	7,99	0,91	0,41	1,18	19,11	–

Las características del agua residual en la **Tabla 4** muestran como las etapas que más residuos aportan a las aguas residuales industriales son el cocinado y el deshidratado, aunque el caudal de agua generado es muy pequeño en comparación con las demás etapas, resultando en un agua residual con una menor carga contaminante.

La **Tabla 5** muestra la caracterización de los efluentes líquidos de una planta de conservas de atún. Se observa como la etapa que mayor carga contaminante genera es el cocinado, encontrándose en consonancia con la **Tabla 4**. En este caso, el caudal generado es pequeño en comparación al total. En este caso la carga contaminante total es mayor que en la planta de producción de conservas de mejillones.,

Tabla 5. Características de los efluentes líquidos de una planta de conservas de atún [3].

Proceso	Flujo (m³/semana)	pH	SST (g/L)	SSV (g/L)	DQO (g/L)	Cloruros (g/L)	T (°C)
Descongelado	140	6,48	0,53	0,39	2,55	19,72	2-5
Pelado	105	10,39	5,04	3,76	8,37	18,34	15
Lavado pieles	220	8,86	0,33	0,20	0,75	19,12	15
Lavado pescado	240	7,99	0,52	0,33	1,70	19,34	15
Cocinado 1	35	6,18	5,85	5,22	46,5	11,39	90
Cocinado 2	220	6,18	1,31	1,19	6,93	17,65	35
Lavado parrillas	15	12,40	3,38	2,09	16,8	0,30	–
Total atún	975	7,82	1,38	1,09	5,74	18,28	–

La **Tabla 6** muestra la caracterización de los efluentes líquidos de una planta de conservas de sardinas. En este caso, el cortado es el proceso que genera más carga contaminante, aunque el agua residual generada resulta en una menor carga contaminante que las aguas residuales mostradas en las **Tablas 4 y 5**.

Tabla 6. Características de los efluentes líquidos de una planta de conservas de sardinas [4].

Proceso	Flujo (m³/semana)	pH	SST (g/L)	SSV (g/L)	DQO (g/L)	Cloruros (g/L)	T (°C)
Raspado	20	6,70	1,03	0,65	3,12	18,23	15
Transporte	1.500	7,89	0,18	0,08	0,20	19,94	15
Cortado	320	6,75	1,61	1,47	4,10	19,57	15
Lavado parrillas	350	9,15	0,45	0,22	0,81	18,88	15
Total sardina	2.190	7,91	0,44	0,31	0,89	19,70	–

Los datos presentados demuestran que no es posible definir unas características comunes a todos los efluentes del sector pesquero, pero sí se puede establecer un patrón común y es que, en todos los casos, los efluentes de la industria harinera son los que más carga orgánica contienen. Las industrias de fresco y conservas, por el contrario, generan una menor cantidad de contaminantes, encontrándose valores de entre 1.000 y 2.000 mg/L de DQO, excluyendo el atún que genera cerca de 6.000 mg/L de DQO.



5. Bibliografía

- [1] Informe del sector pesquero español 2017, CEPESCA. http://integralmediaprojects.com/cepesca_es/wp-content/uploads/2018/06/Informe-del-Sector-Pesquero-Espa%C3%B1ol-2017-CEPESCA.pdf
- [2] Proceso de la pesca y envasado. https://lmsextremadura.educarex.es/pluginfile.php/10128/mod_resource/content/1/6TECNOLOGIA_DEL_PESCADO.pdf
- [3] Residuos Industriales Líquidos-Recomendaciones Técnicas para el Mejoramiento del Sistema de Gestión de RILES en la Industria Procesadora de Productos Marinos, Carlos Correa. <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/residuos-industriales-liquidos-recomendaciones-tecnicas-para-el-mejoramiento-del-sistema-de-gestion-de-riles-en-la-industria-procesadora-de-productos-marinos>
- [4] Valorización energética de los residuos y subproductos de la pesca, Juan A. Álvarez, 2008. <https://es.slideshare.net/jargof/valorizacin-residuos-y-subproductos-pesca>
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nation, Global Statistical Collections. <http://www.fao.org/statistics/en/>
- [6] Composición sectorial del PIB, CEI en base a INDEC (Cuentas Nacionales), 2013, Argentina. <http://www.uca.edu.ar/uca/common/grupo21/files/patagonicos-pesquero.pdf>
- [7] Reporte Laboral Sectorial: Pesca, Observatorio Laboral Chile, 2015, Chile. http://observatorionacional.cl/wp-content/uploads/2016/08/Reporte_sector_Pesca.pdf
- [8] Política Integral Para el Desarrollo de la Pesca Sostenible en Colombia, Minagricultura, 2014, Colombia. <http://www.aunap.gov.co/2018/politica-integral-para-el-desarrollo-de-la-pesca-sostenible-en-colombia.pdf>
- [9] Impacto de la Pesca Industrial en el Desarrollo Económico y Financiero de Manta, Gary Fernando Jiménez, 2016, Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7207/1/T-UCSG-PRE-MFEE-67.pdf>
- [10] Elementos de análisis sobre la pesca y la acuicultura en México. http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/pdfs/pesca_mexico/Elementos%20de%20an%C2%A0lisis%20sobre%20la%20pesca%20y%20la%20acuicultura%20en%20M%E2%80%9Axico.pdf
- [11] "Sector pesquero contribuiría con el 1,5% del PIB este año", Noticia del Diario El Peruano, 2017. <http://www.elperuano.com.pe/noticia-sector-pesquero-contribuiria-con-15-del-pbi-este-ano-50539.aspx>
- [12] La Pesca en Portugal, Departamento Temático de Políticas Estructurales y de Cohesión, 2011, Bruselas. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2011/460036/IPOL-PECH_NT\(2011\)460036_ES.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2011/460036/IPOL-PECH_NT(2011)460036_ES.pdf)

- [13] Industrias de productos de la pesca. Indicadores económicos, Mapama, 2015, España. <http://www.cepesca.es/download-doc/181833>
- [14] Procesamiento pesquero, disposición de residuos e impacto ambiental, Marcelo Julio Ambrosio. https://www.researchgate.net/publication/266409250_PROCESAMIENTO_PESQUERO_DISPOSICION_DE_RESIDUOS_E_IMPACTO_AMBIENTAL
- [15] Características contaminantes de los riles orgánicos de la industria pesquera cubana, Dra. Teresa Romero López, Centro de Investigaciones Pesqueras, Habana, 2011. <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/download/29/29>

Industria química del plástico

Manuel Alejandro Cuautle Marín
Germán Buitrón Méndez

Instituto de Ingeniería UNAM
Universidad Nacional
Autónoma de México
(Querétaro, México)



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**



Instituto de Ingeniería - Juriquilla (UNAM). Querétaro (México).

Índice

1. Contextualización de la industria química del plástico en la Península Ibérica y en Latinoamérica	127
2. Sistemas de producción de PVC	131
3. Evolución de la producción de PVC	133
4. Caracterización y producción de los residuos en la síntesis del PVC	136
4.1 Consumo de agua en la producción de PVC	136
4.2 Características del agua residual producida en la síntesis del PVC	139
5. Bibliografía	140



1. Contextualización de la industria química del plástico en la Península Ibérica y en Latinoamérica

Es posible tener una idea del tamaño de la industria química del plástico mundial comparándola con el tamaño de las tres economías más grandes de Iberoamérica. En 2017, Brasil, España y México representaron el 5,55% (cerca de 4,1 billones de dólares americanos) del tamaño de la economía mundial (**Figura 1**). Mientras que el valor de la industria química del plástico mundial fue de alrededor de 5,2 billones de dólares en 2016 [1].

De acuerdo con la Organización para el Desarrollo Económico (OCDE) la industria química del plástico se clasifica como [2,3]:

a) Química básica

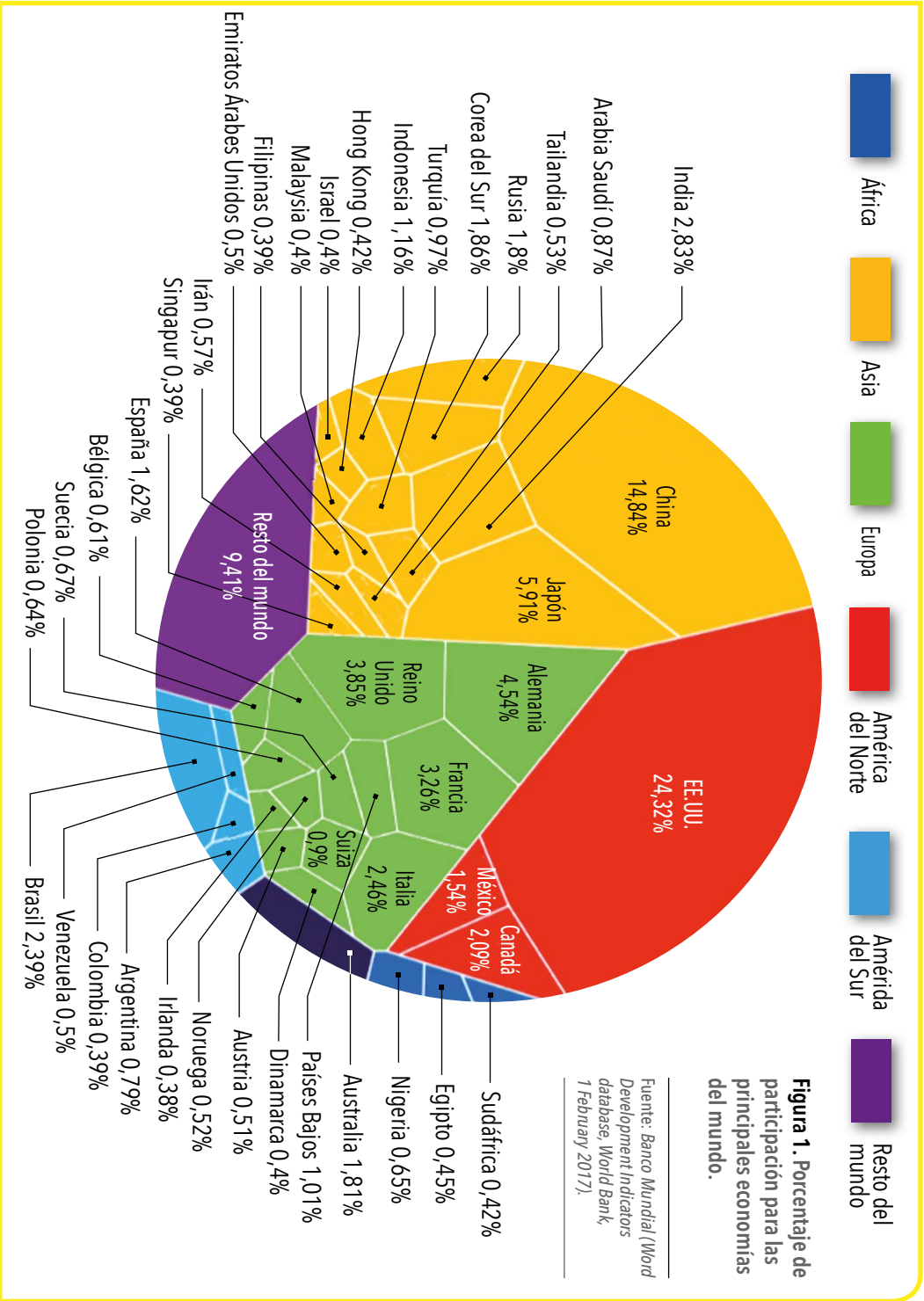
Fabrica productos a granel (amoníaco, gases, ácidos, sales); petroquímicos (benzeno, etileno, propileno, xileno, tolueno, butadieno, metano, butileno), y productos terminados (fertilizantes, química industrial, plásticos, óxido de propileno, resinas, elastómeros, fibras y colorantes). Se trata de un mercado maduro, con plantas de gran tamaño y alto volumen de producción, por lo general de operación continua y de mucho consumo de energía, bajos márgenes de ganancias y muy cíclicas en relación con la actividad económica, cuya capacidad utilizada depende del abasto de materias primas. Son proveedoras de empresas ubicadas también en la química básica, en química especializada y otras actividades dedicadas a textiles, automóviles, mobiliario, celulosa y papel, refinación de petróleo, metales, vidrio, etcétera.

b) Química especializada

Elabora productos de hule y plástico, pinturas y selladores, adhesivos, catalizadores, recubrimientos, aditivos, etcétera; emplea sustancias que le provee la química básica, pero tiene productos y procesos tecnológicamente más avanzados, aunque también continuos (procesos de síntesis), con menores volúmenes de producción, pero mayor valor agregado debido a la fabricación de bienes que por lo general no tienen sustitutos perfectos o se benefician de patentes no generalizables. Por ello sus márgenes de beneficio son mayores y con menor ciclicidad respecto al Producto Interior Bruto (PIB).

c) Química de las biociencias

Fabrica productos farmacéuticos, agroquímicos y de biotecnología, con plantas de producción por síntesis. Está segmentada por lotes y tiene procesos de fabri-



cación muy complejos en ambiente controlado y con alto control de calidad y salubridad. Este rubro presenta los mayores avances tecnológicos de la industria, a partir de grandes inversiones en investigación y desarrollo; incluso está entre las principales ramas en esta materia.

d) **Química del cuidado personal y la higiene:**

Formada por empresas productoras de jabón, detergentes, blanqueadores, productos para el pelo y la piel, perfumes, etcétera; es uno de los segmentos más antiguos de la industria. Sus procesos productivos pueden ser de grandes volúmenes (detergentes) o bien por lotes, con grandes inversiones en equipo de procesos.

La industria química del plástico española cerró el año 2017 con una cifra de negocios de 62.371 millones de euros [4], incrementando su contribución al producto industrial bruto hasta el 12,4%, convirtiéndose así en el segundo sector industrial de más valor añadido, solo por detrás de la alimentación. Sus ventas en mercados exteriores alcanzaron también el pasado año la cifra de 32.000 millones de euros. En el año 2007 era el quinto país productor en la industria química del plástico de la Unión Europea; sin embargo, presentó un decremento en la producción total de 10,6% de 2007 al 2009.

La infraestructura industrial química española ha sido afectada considerablemente, puesto que el número de empresas de 2007 y 2015 es de 5.284 y 3.940 empresas, respectivamente. En el 2017 el total de la producción incrementó 6,9% respecto al año anterior, de acuerdo con lo informado por la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE) [5].

De acuerdo con el Foro Económico Mundial en 2017, Brasil se encontraba en el noveno lugar de las economías más grandes del mundo [6] y su industria química del plástico dentro de los primeros 15. Para el año 2016 su industria química del plástico representaba alrededor del 2,5% del PIB, que contrarresta con años anteriores al 2014 con valores del PIB alrededor del 10,4% [7]. Los fertilizantes son el principal producto importado, mientras que el área inorgánica es la de mayor producción, seguida de productos orgánicos, resinas y elastómeros [8].

La producción química Argentina aportó el 12,3% del producto interno bruto en el 2010. Sus principales sectores son la química básica, especialidades químicas y agroquímicos que representa el 53% del valor total de la producción [9].

En México, la industria química del plástico representó el 2,1% del PIB en el año 2016 (15.964 millones de dólares) [10,11]. En aquellos países, como México, en los que la producción de la rama automotriz es muy importante y funciona como sector de arrastre de otro tipo de actividades económicas que la alimentan, la industria del plástico desempeña un papel relevante como proveedor de piezas necesarias para la producción y los acabados de dicha rama. Este tipo de uso alcanza 8,2% del total de las resinas producidas.

Las áreas más importantes dentro del sector químico en México son: petroquímica, caucho y plásticos, farmacéuticos, jabones, detergentes y cosméticos; contaba con 5.042 instalaciones con una producción total para el 2007 de 3,99 millones de toneladas [12].

La subcategoría de la producción de plásticos y polímeros es una de las más importantes, más grandes y con mayor desarrollo tecnológico. Los plásticos también son comúnmente llamados “polímeros” en virtud de que son productos orgánicos, a base de carbono, con moléculas de cadenas largas. En este sentido, existen tres categorías generales:

a) Plásticos naturales

Aquellos productos de la naturaleza que pueden ser moldeados mediante calor, por ejemplo, algunas resinas de árboles.

b) Plásticos semisintéticos

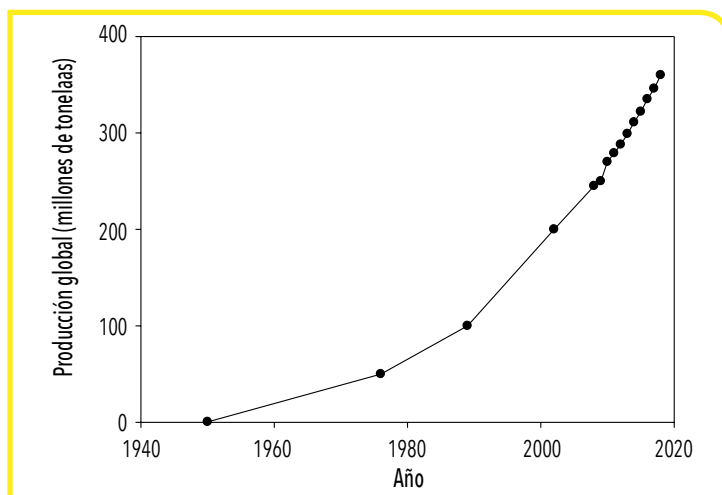
Aquellos que derivan de productos naturales y que han sido modificados o alterados mediante la mezcla con otros materiales.

c) Plásticos sintéticos

Aquellos derivados de alterar la estructura molecular de materiales a base de carbono (petróleo crudo, por lo general, carbón o gas).

La industria del plástico ha incrementado su capacidad global de producción de forma exponencial desde los años 50 (Figura 2). El incremento anual de la producción global del plástico se ha estimado en un promedio de 3,66% desde el año 2011 a la fecha. La industria del plástico presenta una sobreproducción con respecto a la demanda; por ejemplo, en el año 2013 la demanda fue de aproximadamente 233 millones de toneladas [13], mientras que la producción se estimó en 299 millones de toneladas. La proporción en la producción de PET correspondiente al año 2014 es de alrededor del 13%, con una producción de 41,56 millones de toneladas [14].

Figura 2. Crecimiento de la capacidad de producción global de los plásticos (Incluye termoplásticos, poliuretanos, termoestables, adhesivos y selladores. No incluye PET, PA y fibras poliacrílicas) [15].



En el contexto mundial, China es el principal productor de plásticos y representa alrededor del 27% de la capacidad global de producción. Por otro lado, Latinoamérica produce alrededor del 5% global, con un volumen de 29,89 millones de toneladas para el 2018 [16–22]. Brasil, México y Argentina son los principales productores en Latinoamérica con el 39,2, 18,1 y 8,9%, respectivamente. Se espera para México una producción alrededor de 6,3 millones de toneladas en el 2018, de acuerdo con la tasa promedio de crecimiento anual estimada en 6,06% desde el año 2006 [12].

Para el caso de Europa, los principales productores son Alemania (24,9%), Italia (14,3%), Francia (9,6%), Reino Unido (7,7%) y España (7,4%) [16–22]. La producción de plásticos en España se estima que fue de alrededor de 6,95 millones de toneladas para 2018 [17]. Los plásticos mayormente producidos alrededor del mundo son el polietileno, polipropileno y el policloruro de vinilo (PVC). En Europa, tan solo las actividades de empaquetado y almacenamiento ocupan el 40% de la demanda de plásticos [17].

El PVC es el tercer polímero más importante, solo por detrás del polietileno y polipropileno. Es uno de los polímeros más versátiles en toda la industria del plástico que puede ser formulado para cumplir con diversas aplicaciones (vestido, materiales para la construcción, recubrimiento de cable, muebles, empaquetado, juguetes, componentes del transporte, entre otros). Además, es el segundo producto plástico mayormente producido en México con un volumen de producción de 1,18 millones de toneladas de PVC, que representa el 22% del total de la producción mexicana [12]. El PVC es un material inherentemente duro y poco resistente al calor; por lo que debe ser modificado bajo el efecto de una amplia variedad de plastificadores, estabilizadores y otros aditivos para hacerlo flexible o semiflexible, resistente al calor, etc. El PVC puede clasificarse en homopolímeros (solamente de monómeros de cloruro de vinilo, MCV) o copolímeros en donde participan otros tipos de compuestos orgánicos como: acetato de vinilo, etileno, propileno, cloruro de vinilideno, acrilatos, entre otros [23]. El uso del PVC rígido requiere de pocas modificaciones; sin embargo, se requieren múltiples modificaciones para fabricar un material flexible (empleado para el empaquetado). En este caso, se emplean plastificadores que incrementan la flexibilidad de las cadenas de carbono [24].

2. Sistemas de producción de PVC

Existen 4 formas para la polimerización de PVC: en suspensión, emulsión, en masa y en solución; de los cuales la proporción de la producción es de aproximadamente: 78, 13, 6 y 3%, respectivamente. En la **Figura 3** se muestra un diagrama general para la producción de PVC en suspensión, con los respectivos balances de masa con base en 10.000 kg/h del monómero cloruro de vinilo [23].

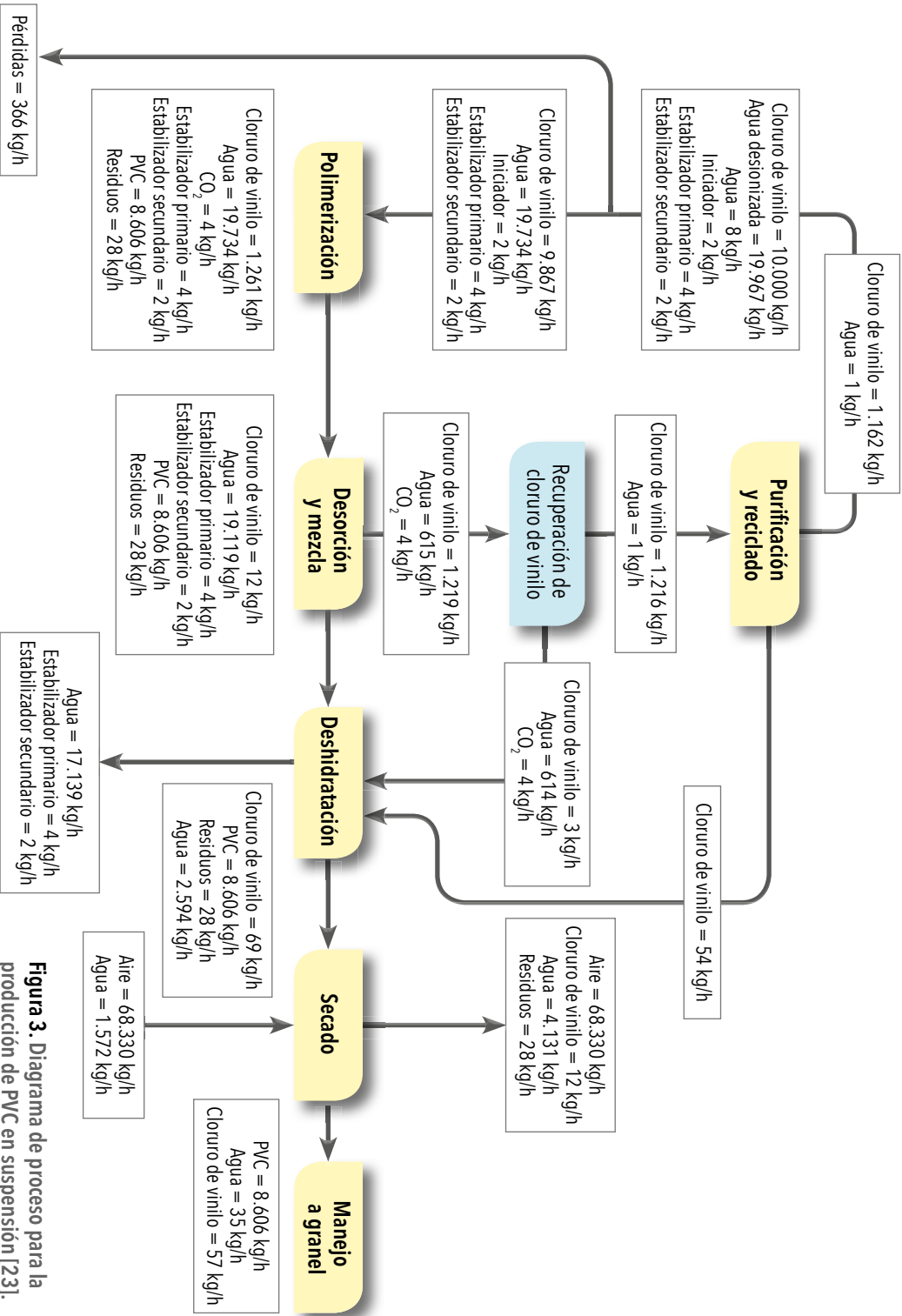


Figura 3. Diagrama de proceso para la producción de PVC en suspensión [23].

3. Evolución de la producción de PVC

En esta sección se muestra la dinámica de la producción en distintos países. En la **Figura 4** se muestra la evolución que ha tenido México en cuanto a la producción total de plásticos y PVC. En México, alrededor del 18,8% de la producción total de plásticos corresponde al PVC. En México, el envasado ocupa el 49% del plástico, mientras que el consumo personal, construcción, eléctrico/electrónica y automotriz emplean el 18, 16, 6 y 4%, respectivamente. El principal consumidor de plásticos en México es el empaquetado, empleando alrededor del 50% del total. Mientras que para el particular caso del PVC se emplea para la construcción, consumo y material eléctrico/electrónico.

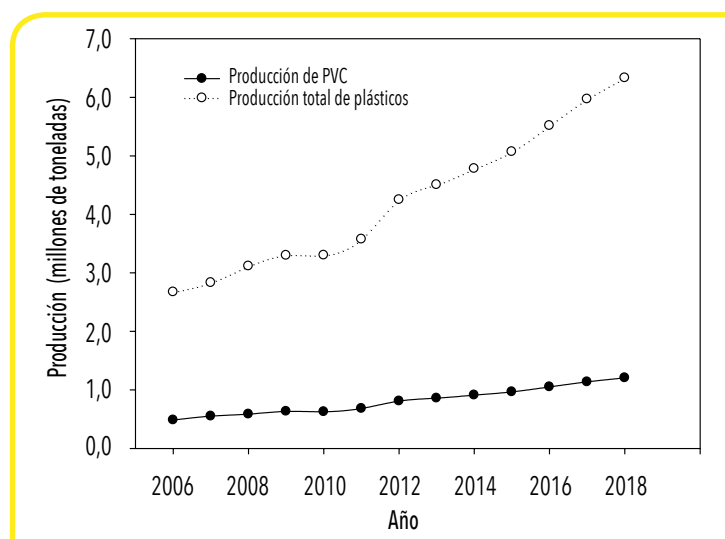
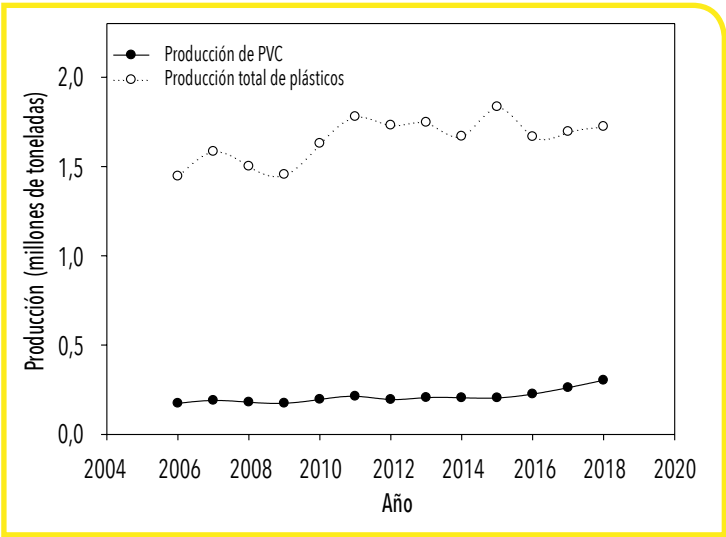


Figura 4. Evolución de la producción de plásticos en México [12].

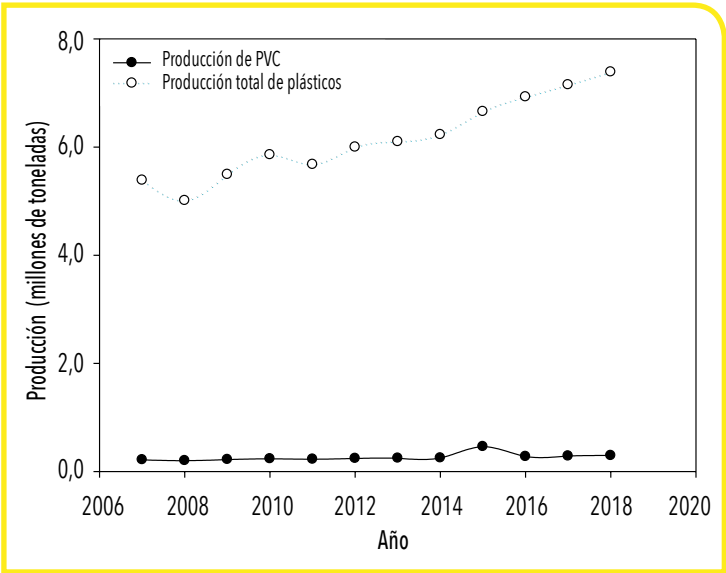
Por otro lado, los polímeros más importantes en la producción de la industria Argentina son el polietileno de baja y alta densidad, PVC, polipropileno y el PET que cubren el 92,1% en cuanto a materias plásticas. La producción de PVC ocupa el tercer puesto con un 15,6% del total [25]. La industria química del plástico argentina presenta un crecimiento anual relativamente lento en los últimos diez años, con un valor de 1,69% (**Figura 5**).

Figura 5. Evolución de la producción de plásticos en Argentina.



Para el caso de la producción de Brasil, su producción anual de plásticos es de alrededor de 7 millones de toneladas de plásticos, por arriba de la producción de México y Argentina [26] (Figura 6).

Figura 6. Evolución de la producción de plásticos en Brasil.



La producción de total de plásticos en España ha crecido en promedio 4% anual desde el 2010, que contrarresta con la tasa negativa de los años 2008 y 2009. Se realizó la estimación de la producción de PVC mediante un crecimiento promedio del 4,7% de acuerdo a lo reportado en años anteriores [27] y que la producción del PVC representa alrededor el 15,3% del total de la producción de plásticos (Figura 7).

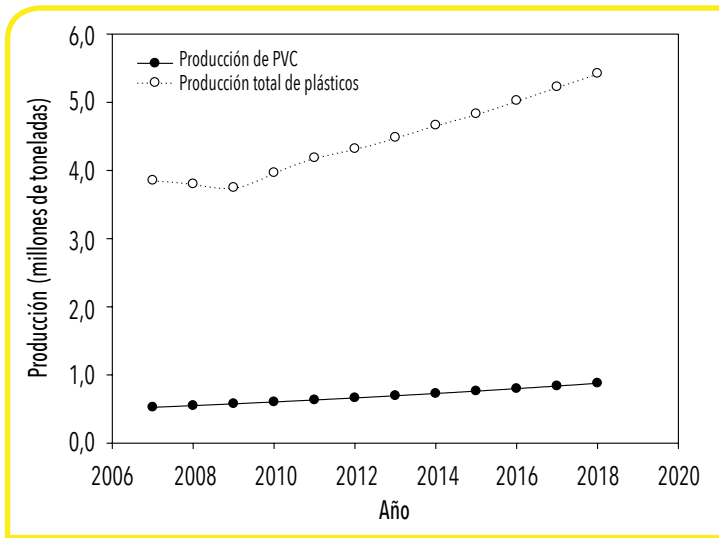


Figura 7. Evolución de la producción de plásticos en España.

Para el caso de Colombia, la empresa Mexichem produce más del 85% del total de demanda local que significan 180.000 toneladas anualmente para el año 2011. De acuerdo a lo anterior se estimó que la proporción de PVC con respecto a la producción total de plásticos en Colombia (0,94 millones de toneladas) [28] es alrededor del 19% (Figura 8).

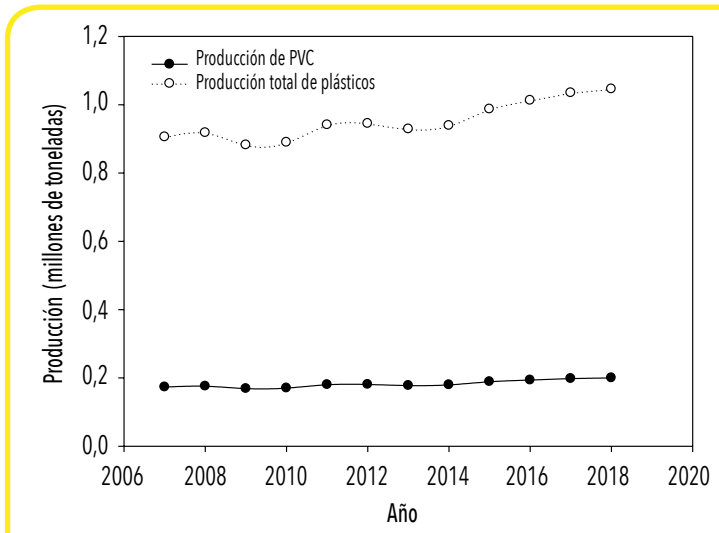


Figura 8. Evolución de la producción de plásticos en Colombia.

4. Caracterización y producción de los residuos en la síntesis del PVC

El tipo de residuos que pueden generarse en una planta productora de PVC con polimerización suspendida son líquidos. Las características del efluente dependerán completamente del tipo de plástico o PVC a sintetizar, ya que distintos tipos de PVC requerirán diferentes aditivos, como los que se muestran en la **Tabla 1**. Además, los avances tecnológicos se basan en desarrollar mezclas capaces de generar mayores rendimientos de transformación del cloruro de vinilo a PVC y en el desarrollo de nuevos aditivos.

4.1 Consumo de agua en la producción de PVC

Cada producto generado en la industria química del plástico conlleva múltiples operaciones unitarias (esterificación, oxidación, halogenación, hidrólisis, carbonilación, entre mucho otros) para llevar a cabo transformaciones de los distintos tipos de materiales a productos como alcoholes, ésteres, isocianatos, ftalatos, hidrocarburos, aminas, colorantes, etc. [29]. Por ello, cuando se generan aguas residuales la mezcla de las corrientes de los residuos pueden ser complejas y difícilmente manejables para la gestión de su disposición. Desde el punto de vista ambiental, dichas producciones presentan un gran reto para la capacidad y tecnologías aplicadas para el manejo de residuos y su disposición, tratamiento de aguas residuales industriales, control de las emisiones (agua, aire y suelo) y en general para una gestión integral de los residuos.

Tabla 1. Nombre y estado de algunos iniciadores para polimerización en suspensión y en masa de PVC [24]

Nombre del compuesto	Estado
Diacyl peroxides	
Acetylcyclohexane sulfonyl peroxide	Solución
Dioctanoyl peroxide	Sólido
Didecanoyl peroxide	Sólido
Dilauroyl peroxide	
Peroxydicarbonates	
Bis (2-ethylhexyl) peroxydicarbonate	Solución
Dicyclohexyl peroxydicarbonate	Sólido
Dicetyl peroxydicarbonate	Sólido o disperso
Bis (4-tert-butyl cyclohexyl) peroxydicarbonate	Sólido o disperso

continúa ➔

Nombre del compuesto	Estado
Dimyristyl peroxydicarbonate	Sólido
Alkyl peroxyesters	
tert-Butyl peroxyneodecanoate	Solución
tert-Amyl peroxyneodecanoate	Solución
Cumyl peroxyneodecanoate	Solución
tert-Butyl peroxy-pivalate	Solución
Azo initiator	
Azobisisobutyronitrile (AIBN)	Solución

Para llevar a cabo una gestión integral, deben conocerse las características del residuo como:

- ♦ Estado.
- ♦ Composición.
- ♦ Cantidad.
- ♦ Concentración.
- ♦ Especificaciones sobre los compuestos peligrosos y su forma de manejarlos.

Las aguas residuales industriales generalmente presentan altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos y metales pesados. Las variaciones pueden llegar hasta de un orden de magnitud y, dependiendo del material sintetizado, puede haber compuestos tóxicos empleados sin reaccionar liberados en las corrientes.

El uso de métodos biológicos para el tratamiento de efluentes líquidos ha sido ampliamente estudiado y aplicado debido a que no es necesario agregar compuestos aún más tóxicos al tratamiento y los hace más amigables con el medio [30].

El tratamiento de las aguas residuales industriales presenta el problema de la toxicidad de algunos de los compuestos usados como materia prima. Por ejemplo, los ftalatos son obligatoriamente usados en la síntesis del PVC y han sido catalogados como moderadamente persistentes y moderadamente bioacumulables. Los ftalatos tienen efectos nocivos sobre la salud especialmente en el sistema reproductivo [31, 32].

Teniendo en cuenta lo anterior, es de vital importancia un tratamiento por los diversos métodos (biológico, fisicoquímico) para remover dentro de los valores permisibles los compuestos residuales de las corrientes de proceso.

La producción de PVC rígido emplea 2,12 litros de agua por cada kilogramo del monómero de cloruro de vinilo ingresado al reactor de polimerización. Por otro lado, se ha estimado que por cada kilogramo del monómero de cloruro de vinilo se emplean de 100-200 litros de agua de enfriamiento.

Debe considerarse la proporción de agua empleada/agua de rechazo que pasan al enfriador o a los sistemas de extrusión debido a los sistemas de pretratamiento (ósmosis inversa o intercambio iónico). La calidad del agua es crítica para los intercambiadores de calor, debido a los fenómenos de incrustaciones y ensuciamiento que interferirán con la eficiencia de transferencia de calor. De acuerdo al Consejo Europeo de manufactureros del vinil, se estiman un consumo de 44,6 L/kg de PVC (Tabla 2) [33].

Teniendo en cuenta lo anterior y que la producción en México de PVC representa el 22% del total de su producción (alrededor de 1,2 millones de toneladas de PVC), el uso total de agua para la producción de PVC se estima en 53 millones de m³/año. De esta manera se realizaron las estimaciones para la Tabla 2.

Tabla 2. Estimaciones sobre la producción de PVC, consumo de agua, energía eléctrica y térmica y producción de CO₂.

País	Estimación de la producción anual (Tn) de PVC para el 2018	Estimación del agua empleada (millones de m ³)	Producción de CO ₂ (toneladas de CO ₂)	Consumo de energía eléctrica (GJ)	Consumo de energía térmica (GJ)
Brasil	295.600	13,2	26.012	266.040	739.000
México	1.206.521	53,8	106.173	1.085.869	3.016.304
España	877.434	39,1	77.214	789.691	2.193.585
Colombia	199.995	8,9	17.599	179.996	4.99.988
Argentina	303.044	13,5	26.667	272.740	757.610

Por otro lado y de acuerdo con la EPA, las emisiones de PVC son de alrededor de 0,088 toneladas CO₂/tonelada PVC. También se han estimado los consumos de energía térmica alrededor de 2-3 GJ/tonelada de PVC (Tabla 3), mientras que el consumo eléctrico está 0,7-1,1 GJ/tonelada de PVC [34].

Tabla 3. Comparación del consumo energético y de agua para la producción de 1 kg de PVC por suspensión y emulsión.

Parámetro	Unidades	Cloruro de vinilo	PVC en suspensión	PVC en emulsión
Energía de combustible	MJ	30,4	36,2	45,4
Energía de materia prima	MJ	20,7	20,7	20,7
Energía de combustible	MJ	3,6	3,7	4,7
Proceso	L	41,4	44,2	48,2
Enfriamiento	L	120,6	153,5	232,7

4.2 Características del agua residual producida en la síntesis del PVC

La información acerca de las caracterizaciones de aguas residuales de la industria del plásticos son limitadas; sin embargo, de acuerdo al balance de masa realizado para la producción de PVC rígido por medio de polimerización en suspensión, los compuestos de estabilizador primario y secundario están alrededor de 190 y 94 mg/L. Además, la concentración del residuo puede encontrarse alrededor de 1,5 g/L, que puede estar formado restos de iniciador y otros aditivos propios de cada proceso. En la **Tabla 4**, se muestra una caracterización de acuerdo al balance de masa de la **Figura 3**.

Tabla 4. Caracterización del agua residual de la industria del PVC.

Parámetro	Unidades	Agua residual (teórico)	Agua residual [35]
Cloruro de vinilo	mg/L	570	0,08
Estabilizador primario	mg/L	190	
Estabilizador secundario	mg/L	94	
Amonio	mg/L		38
Aluminio	mg/L		0,97
Sodio	mg/L		211
Cloruro	mg/L		285
Sólidos suspendidos	mg/L		117
pH			7,9



5. Bibliografía

- [1] Global chemical industry revenue 2016, Statista. <https://www.statista.com/statistics/302081/revenue-of-global-chemical-industry/>, (May 2018).
- [2] Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD Environmental Outlook, OECD Publishing, (2001). doi:10.1787/9789264188563-en.
- [3] OECD Environmental Outlook for the Chemicals Industry, Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/env/ehs/2375538.pdf>, (May 2018).
- [4] Spain's chems sales up 5.7% in 2017 on domestic, global recovers – FEIQUE, ICIS. <https://www.icis.com/resources/news/2017/11/20/10164861/spain-s-chems-sales-up-5-7-in-2017-on-domestic-global-recoveries-feique/>, (May 2018).
- [5] Spain's chemical industry from the 19th century to the present. American Institute of Chemical Engineers. <https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20120874.pdf>, (May 2018).
- [6] The world's 10 biggest economies in 2017, World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2017/03/worlds-biggest-economies-in-2017/>, (May 2018).
- [7] Brazil petrochemicals and chemicals, Global Business Reports. <https://www.gbreports.com/wp-content/uploads/2017/11/Brazil-Chemicals-2017-Web-Version.pdf> (May 2018).
- [8] Challenges and perspectives on the chemical industry in Brazil, American Institute of Chemical Engineers. <https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20110857.pdf>, (May 2018).
- [9] La Industria Química Argentina Situación actual y su potencial hacia el 2020, Cámara de la Industria Química y Petroquímica. <http://www.ciqyp.org.ar/Portals/0/Industria%20Qu%C3%ADmica%20Argentina%202010%20-%202020.pdf>, (May 2018).
- [10] Solid demand factors but political risk rising, Global Business Reports. https://www.gbreports.com/files/pdf/_2018/CW-Mexico-2018-web.pdf (May 2018).
- [11] Special report on Mexico, Global Business Reports. <https://www.gbreports.com/publication/mexico-petrochemicals-and-chemicals-2018-ihs-cw-release> (May 2018).
- [12] La industria química en México 2014, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/IQM/702825072490.pdf (May 2018).
- [13] Plastics Market Worth \$654.38 Billion By 2020, CISION PR Newswire. <https://www.prnewswire.com/news-releases/plastics-market-worth-65438-billion-by-2020-grand-view-research-inc-511720541.html> (May 2018).
- [14] Polyethylene terephthalate (PET) production worldwide in 2014 and 2020 (in million metric tons), Statista. <https://www.statista.com/statistics/650191/global-polyethylene-terephthalate-production-outlook/> (May 2018).

- [15] Global plastic production, Statista. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> (May 2018).
- [16] Plastics – the Facts 2015, PlasticsEurope. https://www.ikem.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=e4f6e86c-fef6-4795-b971-08d29c1158bf&FileName=Final-PlasticsTheFacts2015_30p_25112015.pdf, (May 2018).
- [17] Plastics – the Facts 2017, PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf, (May 2018).
- [18] Plastics – the Facts 2013, PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/application/files/7815/1689/9295/2013plastics_the_facts_PubOct2013.pdf, (May 2018).
- [19] Plastics -the Facts 2011 An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010, PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/application/files/1015/1862/4126/FactsFigures_UK2011.pdf, (May 2018).
- [20] Plastics – the Facts 2010 An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009, PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/application/files/6915/1689/9288/2010plasticsthefacts_PubOct2010.pdf, (May 2018).
- [21] The Compelling Facts About Plastics 2009 An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008, PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/application/files/5315/1689/9286/2009CompellingFacts_PubSept2009.pdf, (May 2018).
- [22] The Compelling Facts About Plastics 2007 An analysis of plastics production, demand and recovery for 2007 in Europe, PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/application/files/1515/1689/9283/2007CompellingFacts_PubOct2008.pdf, (May 2018).
- [23] Z. S. Khan, T. W. Huges, Source Assessment: Polyvinyl Chloride, 1978. US Environmental Protection Agency, pp. 1-38.
- [24] H.F. Mark, J.I. Kroschwitz, Encyclopedia of polymer science and technology, 2002. Wiley, pp. 203-212.
- [25] Anuario Estadístico de la Industria Plástica. Cámara Argentina de la Industria Plástica http://caip.org.ar/2015/wp-content/uploads/2017/03/Anuario_CAIP_2016.pdf (May 2018).
- [26] Perfil 2016, Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. http://file.abiplast.org.br/file/download/2017/Perfil_2016_Abiplast_web.pdf, (May 2018).
- [27] La industria española de PVC genera 160.000 puestos de trabajo, Interempresas. <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/7146-La-industria-espanola-de-PVC-genera-160000-puestos-de-trabajo.html>, (May 2018).
- [28] Plastics Resin Production and Consumption in 59 Countries Worldwide, Plastics and Rubber Machinery. <http://www.bpf.co.uk/Media/Download.aspx?MediaId=2088>, (May 2018).

- [29] O. Tunay, I. Kabdasli, I. Arslan-Alaton, T. Olmez-Hanci, 2010. Chemical Oxidation Applications for Industrial Wastewaters. IWA Publishing, pp. 385-298.
- [30] E. Razo-Flores, H. Macarie, F. Morier, 2006. Application of biological treatment systems for chemical and petrochemical wastewaters, in: F.J. Cervantes, S.G. Pavlostathis, A.C. van Haandel, Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters, IWA Publishing, pp. 267-293.
- [31] Y.-C. Wang, H.-S. Chen, C.-Y. Long, C.-F. Tsai, T.-H. Hsieh, C.-Y. Hsu, E.-M. Tsai, 2002. Possible mechanism of phthalates-induced tumorigenesis, *Kaohsiung Journal of Medical Sciences* 28, S22–S27.
- [32] J. D. Meeker, S. Sathyanarayana, S. H. Swan, 2009. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences* 364, 2097-2113.
- [33] Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polyvinylchloride (PVC). PlasticsEurope. http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/resource/sources/775a2acd-330b-499f-adbc-6828f42ec748/PlasticsEurope_vcm_775a2acd-330b-499f-adbc-6828f42ec748.pdf;jsessionid=22733D32E9FF5875BAAE2BC6B3E1B31E. (May 2018).
- [34] Vinyl chloride (VCM) and Polyvinyl chloride (PVC), PlasticsEurope, 2012. http://www.pvc.org/upload/documents/PlasticsEurope_Eco-profile_VCM_PVC_2015-05.pdf, (May 2018).
- [35] D. Prieto, N. Swinnen, L. Blanco, D. Hermosilla, P. Cauwenberg, Á. Blanco, C. Negro, 2016. Drivers and economic aspects for the implementation of advanced wastewater treatment and water reuse in a PVC plant. *Water Resources and Industry* 14, 26-30.

Industria textil

João C. G. Sousa

Ana R. Ribeiro

Adrián M. T. Silva

FEUP Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto
(Porto, Portugal)





Faculdade de Engenharia (U.Porto). Porto (Portugal).

Índice

1. Contextualização da indústria têxtil na Península Ibérica e Latino-América	147
2. Sistemas de produção têxtil	147
3. Evolução da produção têxtil	149
4. Caracterização e geração de resíduos na produção têxtil	152
4.1 Consumo de água na produção têxtil	152
4.2 Características das águas residuais geradas na produção têxtil	153
5. Bibliografia	156



1. Contextualização da indústria têxtil na Península Ibérica e Latino-América

O sector têxtil foi um dos primeiros que surgiu na indústria. O comércio das fibras têxteis impulsionou os intercâmbios culturais e levou a um desenvolvimento tecnológico extraordinário, sendo este sector parte integrante da revolução industrial [1].

Apesar do mercado asiático ser atualmente o maior produtor de têxteis no mundo [2], os países ibero-americanos possuem uma vasta e rica herança neste sector, atingindo metas históricas, que vão desde os tecidos pré-colombianos aos tecidos técnicos amplamente utilizados nas mais diversas atividades do cotidiano [1]. O sector têxtil representava, em 2008, cerca de 4% do comércio mundial de mercadorias [3], estando o México posicionado entre os dez maiores produtores. Países como a Colômbia e Argentina possuem também uma grande expressão neste sector, tendo sido pioneiros no renascimento mundial do movimento de arte têxtil nos anos 70 e 80 [1]. Na União Europeia, Portugal representa 3% das exportações de têxtil e vestuário [4] e espera-se que as exportações portuguesas para a América Latina dupliquem até 2025, com previsões de serem alcançadas vendas na ordem dos cem milhões de euros [5].

Em contrapartida, a indústria têxtil é também conhecida como uma das que têm um maior impacto ambiental, devido às elevadas quantidades de águas residuais que resultam desta atividade – altamente poluídas com compostos provenientes de processos de tinturaria e outros compostos recalcitrantes utilizados neste tipo de indústria – e pelas emissões atmosféricas, resíduos sólidos e consumo de energia [6]. Por outro lado, as extensas monoculturas de algodão são também responsáveis impactos ambientais relevantes, nomeadamente devido ao uso excessivo de pesticidas, dada a suscetibilidade da planta.

2. Sistemas de produção têxtil

A tecelagem e a fiação são umas das mais antigas artes de manufatura, que tiveram início no período neolítico. As melhorias da tecnologia possibilitaram a elaboração de grandes combinações de recursos físicos e humanos, levando ao desenvolvimento de um sistema fabril em substituição do tradicional sistema de produção.

Com o evoluir dos tempos, largos foram os avanços tecnológicos que se verificaram nesta área. As matérias-primas naturais, como a lã, as penas de pássaros e as peles, foram sendo substituídas por materiais artificiais. Por outro lado, os processos de tingi-

mento foram adotando novas técnicas, abandonando a tinturaria tradicional, feita à base de algas e produtos vegetais. Surgiram assim as licras, os veludos, o poliéster e o nylon. Os teares passaram a ser computadorizados e altamente mecanizados [7].

Atualmente, o processo produtivo da indústria têxtil engloba o processamento de diversos tipos de matérias-primas, podendo estas serem processadas na forma de misturas ou isoladamente. O processamento de cada matéria-prima é específico da mesma, contudo as diferentes etapas podem ser organizadas de uma forma genérica [8]:

- ♦ **Preparação da matéria prima:** produção de fibras sintéticas.
- ♦ **Fiação:** produção de fio.
- ♦ **Tecelagem:** produção de fio.
- ♦ **Preparação para o tingimento:** produção de rama, penteado, fio, tecido ou malha ou produto pronto a tingir.
- ♦ **Tingimento:** produção de rama, penteado, fio, tecido, malha ou produto acabado tingido.
- ♦ **Estamparia:** produção de tecido ou malha estampado.
- ♦ **Acabamentos químicos:** produção de tecido ou malhas com características específicas.
- ♦ **Acabamentos mecânicos:** produção de tecido com características específicas.
- ♦ **Confeção:** produção de têxteis lar, têxteis técnicos, vestuários.

Na etapa final da cadeia, os produtos podem chegar sob a forma de vestuário ou artigos para o lar (cama, mesa, banho, decoração e limpeza). O uso industrial também está bastante presente neste setor, como na produção de filtros de algodão, componentes para o interior de automóveis, embalagens, entre outros. Na **Figura 1**, encontra-se representada uma estrutura genérica da cadeia produtiva têxtil [9].

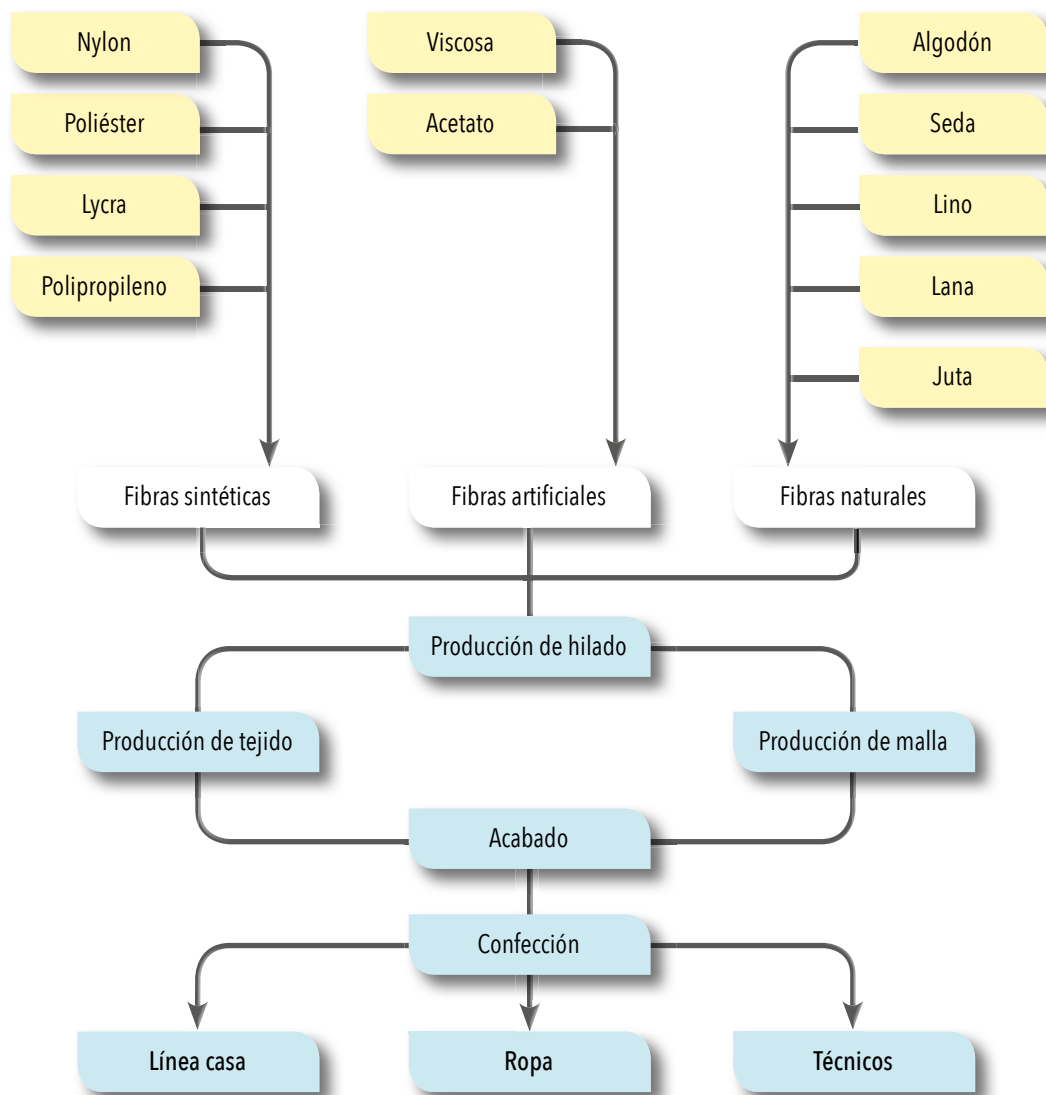
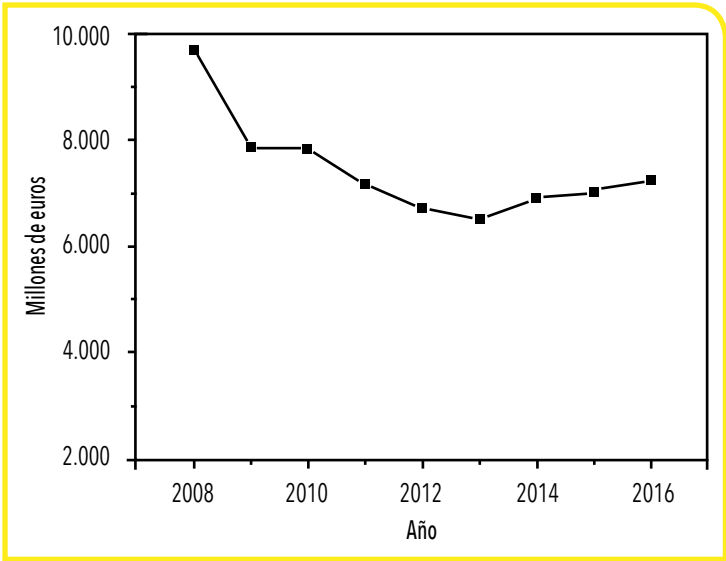


Figura 1. Estrutura genérica da cadeia produtiva têxtil e de confeções (adaptado do BNDES) [9].

3. Evolução da produção têxtil

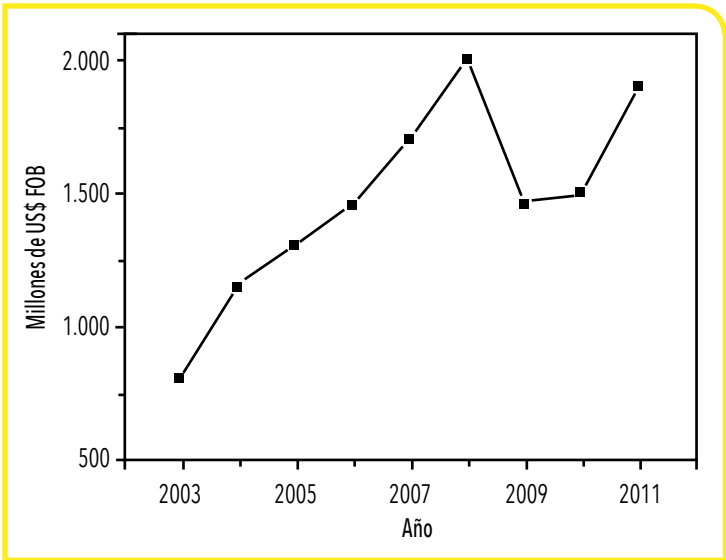
A indústria têxtil em Espanha tem vindo a registar um crescimento significativo, tendo aumentando o volume de vendas em 3,1% em 2016 comparativamente com o ano anterior, atingindo um valor de 7.249 milhões de euros, segundo dados da *Encuesta Industrial Anual de Productos*, elaborada pelo Instituto Nacional de Estadística (INE) (Figura 2) [10]. Trata-se do terceiro ano consecutivo em que este sector se encontra em crescimento. Em 2014, registou-se o maior incremento no volume de vendas (6%), o primeiro em 6 anos [10].

Figura 2. Evolução do volume de negócios do sector têxtil em Espanha, entre 2008 e 2016 [10].



A **Figura 3** mostra a evolução do volume de negócios do sector têxtil no Perú entre 2000 e 2011. O Perú é um país ibero-americano onde o sector têxtil é um dos principais empregadores, uma vez que 10% da população depende, no seu agregado familiar, de pelo menos um posto de trabalho ligado direta ou indiretamente a este sector. Com base na **Figura 3**, conclui-se que o volume de negócios teve um crescimento positivo entre 2003 e 2008. Após uma queda abrupta nas vendas, devido à crise económica mundial, a tendência é de um crescimento mais modesto [11].

Figura 3. Evolução do volume de negócios do sector têxtil no Perú entre 2003 e 2011 [11].



Relativamente ao setor da indústria têxtil em Portugal, em 2016 as exportações totalizaram 5,1 mil milhões de euros, aproximando-se do máximo histórico atingido em 2001. Espanha, França e EUA foram os países que mais contribuíram positivamente para o aumento das exportações portuguesas nos últimos 10 anos, com aumentos de 534, 77 e 49 milhões de euros, respetivamente.

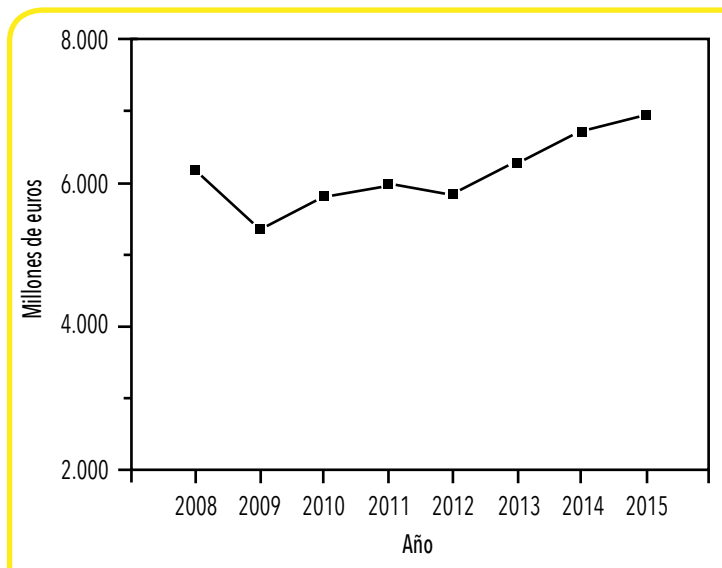


Figura 4. Evolução do volume de negócios do sector têxtil em Portugal entre 2008 e 2015 [4, 12].

Em 2010, o sector têxtil era considerado um dos mais importantes na atividade industrial de Portugal. Em 2008, a crise internacional teve como consequência uma descida de volume de negócios, registando-se em 2009 um mínimo histórico no volume de negócios e de transações com o exterior, seguido de uma recuperação em 2010, que se tem mantido até 2017.

A aposta em novas tecnologias, em têxteis técnicos, e sobretudo numa maior exposição internacional mudaram a visão de um setor para o qual em tempos deixaram de existir previsões positivas [4].

4. Caracterização e geração de resíduos na produção têxtil

A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de efluentes líquidos, em alguns casos sendo necessários, em média, 150 L de água para produzir 1 kg de tecido [13]. Contudo, e dependendo do subsector em que se opera, outros tipos de resíduos são gerados.

De forma geral, os principais resíduos produzidos são [14, 15]:

a) Resíduos líquidos

Gerados em praticamente todas as etapas da indústria têxtil (processo, limpeza, refrigeração).

b) Resíduos sólidos

Gerados principalmente durante descaroçamento do algodão e os restos de tecidos e fios.

c) Resíduos gasosos

Gerados devido à queima de óleos e lenhas nas caldeiras que liberam dióxido de enxofre e dióxido de carbono.

d) Resíduos térmicos

Gerados maioritariamente na etapa de fiação do algodão.

4.1 Consumo de água na produção têxtil

Avalia-se que o sector têxtil representa cerca de 15% da água consumida em todo o mundo, sendo o processo de tingimento um dos responsáveis pelo excessivo consumo de água, com impactos diretos nos recursos hídricos [13, 16]. Contudo, esforços têm sido feitos neste sector para que esse impacto seja diminuído, sendo que já existem indústrias que reduziram o consumo de água em 90%, devido a estratégias de reutilização que foram adotadas [17].

A título de curiosidade, existem alguns números relativos ao consumo de água neste sector que devem ser adequadamente considerados:

- ♦ Em 2010, a sector têxtil ficou posicionado em terceiro lugar no que respeita às indústrias que descarregam o maior volume de efluentes, com uma quantidade de, aproximadamente, 2,5 mil milhões de metros cúbicos de águas residuais por ano [18].
- ♦ Estima-se que 17 a 20% da poluição da água industrial vem do tingimento e processamento têxtil [19].
- ♦ Em Portugal, os consumos de água na indústria têxtil estão estimados em cerca de 380 milhões de m³, o equivalente a cerca de 485 milhões de euros/ano [20].

A reutilização das águas residuais torna-se assim uma solução que deve ser implementada neste sector de modo a otimizar a utilização consciente da água, reduzir custos

e combater a escassez deste bem de consumo. Atualmente existem empresas que têm vindo a desenvolver projetos de reutilização de águas, principalmente como meio de arrefecimento. Tais projetos visam, principalmente, a redução dos consumos e dos custos associados a esta gestão [20].

4.2 Características das águas residuais geradas na produção têxtil

A água residual gerada pela indústria têxtil engloba principalmente a utilizada no processamento de materiais, na limpeza e nos sistemas de refrigeração. A quantidade gerada varia dependendo da finalidade da empresa, dos processos específicos envolvidos e do equipamento utilizado. Os componentes dos principais poluentes envolvidos nas várias etapas do processamento húmido da indústria têxtil à base de algodão são apresentados na **Figura 5** [21].

Devido à complexidade envolvida nos diferentes processos, as águas residuais provenientes da indústria têxtil geralmente contêm uma mistura complexa de produtos químicos. Além disso, estudos demonstram que existe um elevado número de perigos associados aos vários produtos químicos utilizados em diferentes etapas do processo [22-24].

O processamento húmido (incluindo a preparação, o tingimento e o acabamento) gera a maioria das águas residuais têxteis com cargas elevadas de carência química e bioquímica de oxigénio (CQO e CBO, respetivamente), sólidos suspensos e dissolvidos totais (SST e SDT, respetivamente), e cores muito intensas (**Tabela 1**). Um elevado número de constituintes químicos, como ácidos, produtos químicos de branqueamento, enzimas, amido, corantes, resinas, solventes, ceras, óleos, entre outros, são utilizados nas várias etapas do processo e, como consequência, são encontrados nos efluentes [21].

A cor dos efluentes provoca a redução da transparência da água e a diminuição do oxigénio dissolvido, dificultando a fotossíntese das plantas. Para além dos constituintes químicos supramencionados, é também frequente a presença de metais pesados nos efluentes deste sector. No processamento das fibras naturais, a água residual pode ainda conter pesticidas e contaminantes microbiológicos, como bactérias e fungos [43].

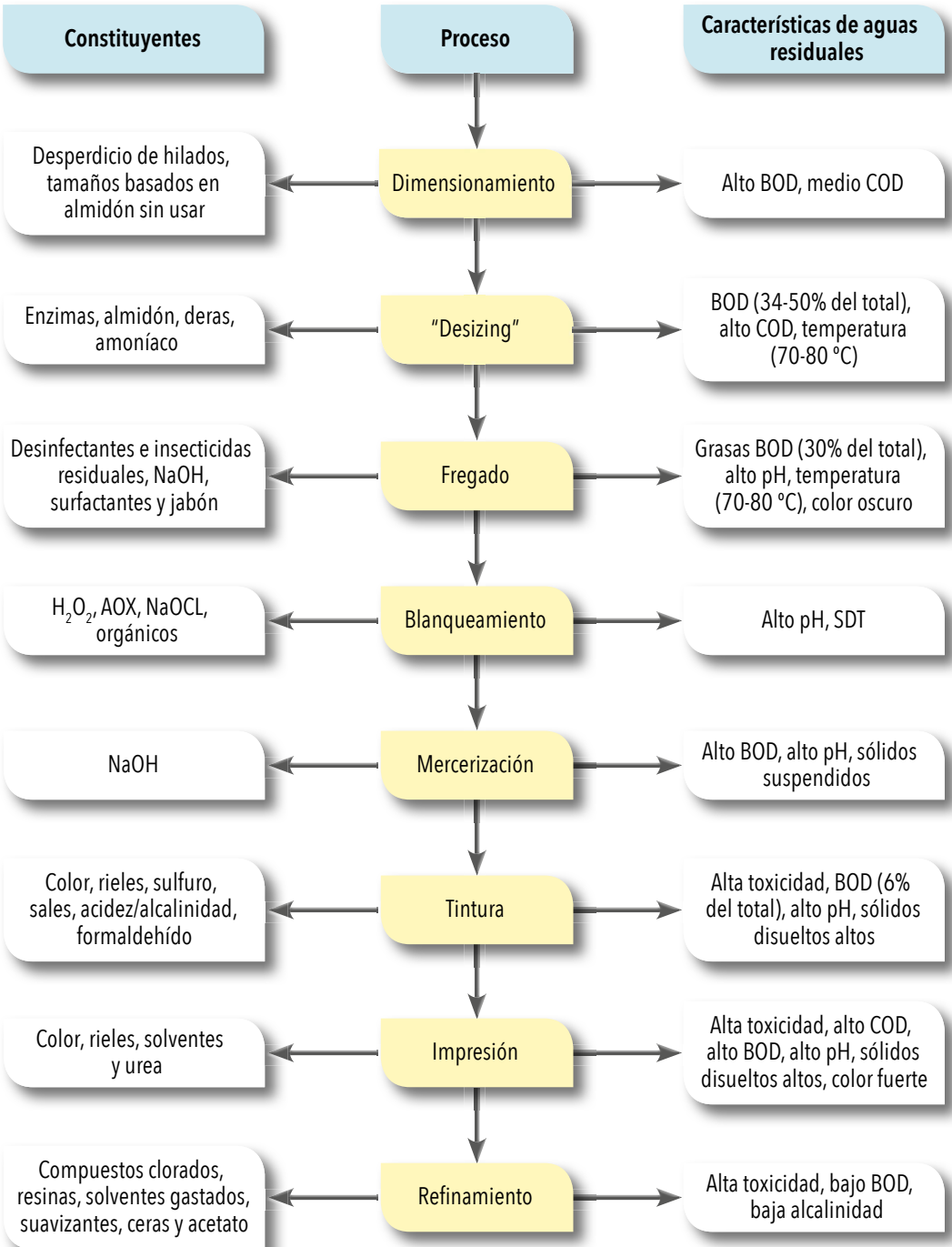


Figura 5. Componentes dos principais poluentes envolvidos nas várias etapas do processamento húmido da indústria têxtil [21].

Tabela 1. Principais características de efluentes têxteis, segundo diferentes trabalhos publicados em revistas científicas.

pH	CQO (mg/L)	CBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	Cor	Turbação (NTU)	Ref.
8,8 - 9,4	595	379	276	–	–	–	[25]
11,2	2.276	660	–	48	–	–	[26]
5 - 10	1.100 - 4.600	110 - 180	–	50	145 (ADMI)	–	[27]
6,5 - 8,5	550 - 1.000	–	100 - 400	–	7,5	15 - 200	[28]
2,7	7.000	–	440	930	–	2.140	[29]
13,56	2.968	–	–	–	3.586 (C.U.)	120	[30]
12 - 14	1.500 - 2.000	–	–	–	Dark Blue	–	[31]
10	1.150	170	150	–	1,24 ^{436nm}	–	[32]
9	750	160	–	–	–	–	[33]
2 - 10	50 - 5.000	200 - 300	50 - 500	–	>300 (C.U.)	–	[34]
8,3 - 9,5	278 - 736	137	85 - 354	1.715	–	–	[35]
8,7	17.900	5.500	23.900	1.200	–	–	[36]
9,3	3.900	–	–	–	–	24	[37]
7,8	810	188	64	–	0,15 ^{669nm}	–	[38]
13	2.300	–	300	–	–	–	[39]
6,9	3.422	–	1.112	–	–	5.700	[40]
7,9	340	210	300	–	>200 (Pt-Co)	130	[41]
7,5	131	–	75	1.885	–	–	[42]



5. Bibliografía

- [1] I Encuentro de La RED TEXTIL Iberoamericana, Creación têxtil: Tradición Sostenible e Innovación Responsable (San José – Costa Rica, septiembre 3-17 de 2010), http://www.creadorestextiles.org/doc_actividades/redtextil/convocatoria_premio_proyecta.pdf, (2010).
- [2] GoTEX, Feira Internacional de Produtos Têxteis, <http://gotexshow.com.br/mercado/>, (2017).
- [3] WTO, ed. International Trade Statistics 2010. ed. W.T. Organization 2010: Geneva.
- [4] Economia online, Têxtil: um setor que anda mais depressa do que o país, <https://eco.pt/2017/05/02/textil-um-setor-que-anda-mais-depressa-do-que-o-pais/> (2017).
- [5] Dinheiro vivo, Têxtil quer exportar cem milhões para América Latina, <https://www.dinheirovivo.pt/economia/textil-quer-exportar-cem-milhoes-para-america-latina/> (2017).
- [6] Amjad, A. K. and Qayyum, H., 2007. Decolorization and removal of textile and non-textile dyes from polluted wastewater and dyeing effluent by using potato (*Solanum tuberosum*) soluble and immobilized polyphenol oxidase. *Bioresource Technology*. Vol. 98, pp. 1012-1019.
- [7] Desenvolvimento da Indústria Têxtil, <http://desenvolvimento-da-industriatextil.blogspot.pt/>, (2017).
- [8] Indústrias Transformadoras, A indústria têxtil e do vestuário, <https://www.industria-transformadora.info/processo-productivo-da-industria-textil-a-confeccao-de-casacos-e-fatos/>, (2017).
- [9] Audaces, Estrutura da cadeia produtiva têxtil e de confecção, <http://www.audaces.com>, (2017).
- [10] Modaeses, La industria textil española eleva sus ventas un 3,1% en 2016 y copa el 2% de la actividad manufacturera, <https://www.modaes.es>, (2017).
- [11] Política peruana de comercio exterior. Análisis ventaja competitiva, <http://www.monografias.com/trabajos93/analisis-ventaja-competitiva-peruana/analisis-ventaja-competitiva-peruana.shtml#sectorcona>, (2017).
- [12] Portugal global, Indústria têxtil e do vestuário – Aposta clara em inovação, “design” e marca – ITV, (2017).
- [13] Tendere, A crise da água no setor têxtil, <http://www.tendere.com.br/blog/2014/11/07/crise-da-agua-setor-textil>, (2014).
- [14] Santos, S., Impacto Ambiental Causado pela Indústria Têxtil, ENEGEP (1997).
- [15] Toniollo, M., Zancan, N., Wust, C., Indústria Têxtil: Sustentabilidade, Impactos e minimização, VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, (2015).
- [16] Ferreira, D., Keller, J, da Silva, L., 2009. A utilização da água pela indústria têxtil: uma pesquisa no município de Brusque, SC.
- [17] Notícias, Setor têxtil reduziu em 99% o uso da água na produção, na última década, <http://www.administradores.com.br/noticias/negocios/setor-textil-reduziu-em-90-o-uso-da-agua-na-producao-na-ultima-decada/85711/>, (2017).

- [18] Treehugger, 25 shocking fashion industry statistics, <https://www.treehugger.com/sustainable-fashion/25-shocking-fashion-industry-statistics.html>, (2017).
- [19] The Guardian, How can we stop water from becoming a fashion victim?, <https://www.theguardian.com/sustainable-business/water-scarcity-fashion-industry>, (2017).
- [20] Guia para a optimização da água e da eficiência energética na ITV, ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal, (2013).
- [21] Verma, A., Dash, R., Bhunia, P., 2012. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management* 93, 154-168.
- [22] Lee, Y.H., Matthews, R. D., Pavlostathis, S. G., 2006. Biological decolorization of reactive anthraquinone and phthalocyanine dyes under various oxidation reduction conditions. *Water Environment Research* 78, 156-169.
- [23] Jadhav, J. P., Parshetti, G. K., Kalme, S. D., Govindwar, S. P., 2007. Decolourization of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 463. *Chemosphere* 68, 394-400.
- [24] Anouzla, A., Abrouki, Y., Souabi, S., Safi, M., Rhbal, H., 2009. Colour and COD removal of disperse dye solution by a novel coagulant: application of statistical design for the optimization and regression analysis. *Journal of Hazardous Materials* 166, 1302-1306.
- [25] El-Gohary, F., Tawfik, A., 2009. Decolourisation and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process. *Desalination* 249, 1159-1164.
- [26] Golob, V., Vinder, A., Simoncic, M., 2005. Efficiency of coagulation/flocculation method for treatment of dye bath effluents. *Dyes and Pigments* 67, 93-97.
- [27] Dos Santos, A.B., Cervantes, F. J., Van Lier, J.B., 2007. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource Technology* 98, 2369-2385.
- [28] Ciabatti, I., Tognotti, F., Lombardi, L., 2010. Treatment and reuse of dyeing effluents by potassium ferrate. *Desalination* 250, 222-228.
- [29] Al-Malack, M.H., Abuzaid, N. S., El-Mubarak, A.H., 1999. Coagulation of polymeric wastewater discharged by a chemical factory. *Water Research* 33, 521-529.
- [30] Joo, D. J., Shin, W. S., Choi, J. H., Choi, S. J., Kim, M. C., Han, M. H., Ha, T.W., Kim, Y. H., 2007. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. *Dyes and Pigments* 73, 59-64.
- [31] Gozálvarez-Zafrilla, J. M., Sanz-Escribano, D., Lora-García, J., León Hidalgo, M. C., 2008. Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry. *Desalination* 222, 272-279.
- [32] Selcuk, H., 2005. Decolourisation and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. *Dyes and Pigments* 64, 217-222.

- [33] Schrank, S. G., Dos Santos, J. N. R., Souza, D. S., Souza, E. E. S., 2007. Decolourisation effects of Vat Green 01 textile dye and textile wastewater using H₂O₂/UV process. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 186, 125-129.
- [34] Lau, W. J., Ismail, A. F., 2009. Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: preparation, performance evaluation, transport modelling, and fouling control- a review. *Desalination* 245, 321-348.
- [35] Phalakornkule, C., Polgumhang, S., Tongdaung, W., Karakat, B., Nuyut, T., 2010. Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent. *Journal of Environmental Management* 91, 918-926.
- [36] Rodriguez, A., Ovejero, G., Romero, M. D., Diaz, C., Barreiro, M., Garcia, J., 2008. Catalytic wet air oxidation of textile industrial wastewater using metal supported on carbon nanofibers. *Journal of Supercritical Fluids* 46, 163-172.
- [37] Paschoal, F. M. M., Anderson, M. A., Zanoni, M. V. B., 2009. The photoelectrocatalytic oxidative treatment of textile wastewater containing disperse dyes. *Desalination* 249, 1350-1355.
- [38] Haroun, M., Idris, A., 2009. Treatment of textile wastewater with an anaerobic fluidized bed reactor. *Desalination* 237, 357-366.
- [39] Debik, E., Kaykioglu, G., Coban, A., Koyuncu, I., 2010. Reuse of anaerobically and aerobically pre-treated textile wastewater by UF and NF membranes. *Desalination* 256, 174-180.
- [40] Bayramoglu, G., Arica, M. Y., 2007. Biosorption of benzidine based textile dyes Direct Blue 1 and Direct Red 128 using native and heat-treated biomass of *Trametes versicolor*. *Journal of Hazardous Materials* 143 (1-2), 135-143.
- [41] Merzouk, B., Madani, K., Sekki, A., 2010. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. *Desalination* 250, 573-577.
- [42] Ustun, G. E., Solmaz, S. K. A., Birgul, A., 2007. Regeneration of industrial district wastewater using a combination of Fenton process and ion exchange-A case study. *Resources Conservation and Recycling* 52, 425-440.
- [43] World Bank Group. Pollution Prevention and Abatement: Textiles Industry. Draft Technical Back-ground Document. Washington, D.C.: Environment Department, 2011.

Industria vitivinícola

Rolando Chamy
Estela Tapia

Núcleo Biotecnología Curauma (NBC)
Pontificia Universidad Católica
de Valparaíso
(Valparaíso, Chile)



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO





Equipo del Núcleo Biotecnología Curauma (NBC-PUCV). Valparaíso (Chile).

Índice

1. Contextualización de la industria vitivinícola en la Península Ibérica y en Latinoamérica	163
1.1 Industria vitivinícola en Chile	163
2. Sistemas de producción de vino	164
3. Evolución de la producción de vino en Chile	168
4. Caracterización y producción de los residuos líquidos en la elaboración del vino	168
4.1 Uso eficiente de agua en la producción de vino	170
5. Producción limpia para la industria vitivinícola	171
5.1 Aspectos generales	171
5.2 Código de sustentabilidad	172
6. Bibliografía	175



1. Contextualización de la industria vitivinícola en la Península Ibérica y en Latinoamérica

La vitivinicultura en la Península Ibérica (España y Portugal) tiene sus primeros yacimientos en el siglo VII a.C., pero se piensa que es probable que los fenicios la introdujeran un siglo antes. En 2017, España es el tercer productor a nivel mundial con 33,5 millones de hL y Portugal el undécimo, produciendo cerca de 6,6 millones de hL. España es el país con mayor superficie vitícola del mundo (15% de la extensión vitícola mundial y 30% del viñedo europeo) [14].

La vitivinicultura latinoamericana se inició por su introducción por parte de los conquistadores españoles en el siglo XV. Países como Perú (siglos XVI y XVII), Paraguay, Chile (siglos XVIII, XIX, XX y XXI) y Brasil compitieron por los lugares de liderazgo en la industria vitivinícola regional, en el marco de un cambiante proceso de estructuración y desestructuración de los mercados regionales y mundiales [10].

Actualmente, los vinos más destacados de Latinoamérica proceden de Chile y Argentina, aunque otros países producen y consumen su propio vino, como por ejemplo la región de Ica en Perú [11]. En 2017, Brasil ocupa el decimocuarto en la producción mundial de vino, Argentina es el noveno productor mundial con 9,4 millones de hL y Chile es el octavo con 10,1 millones de hL [12]. La principal diferencia entre Chile y Argentina es que el 80% de la producción de vino en Argentina es para abastecer el mercado nacional y en Chile, apenas un 25% es para consumo interno. La presencia del vino chileno en los mercados internacionales es más fuerte que el argentino ya que la cultura exportadora data de más años (30 años *versus* 15 años); además la estabilidad económica permite que se sostenga en el tiempo [13].

1.1 Industria vitivinícola en Chile

Chile cuenta con una superficie agrícola que alcanza a casi un tercio de la superficie continental del país, incluyendo: 8,5 millones de hectáreas de aptitud ganadera, 11,6 millones de ha. de aptitud forestal y 5,1 millones de ha. arables o cultivables (incluyendo 1,8 millones de ha con riego, 1,3 millones potencialmente regables y 2,0 millones de seco) [1].

La gran diversidad agroclimática y de suelos del país hace posible el desarrollo de un amplio conjunto de cadenas productivas, entre las cuales destacan la fruticultura, la producción de celulosa y maderas, la ganadería de carne y de leche, y la vitivinicultura, entre otras [1].

La vitivinicultura es un sector de gran dinamismo en Chile, en términos de producción, exportaciones y generación de empleos, como también en incorporación de nuevas variedades, desarrollo de productos de mayor calidad y colocación de productos en mercados nuevos y especializados [1].

Aprovechando las condiciones particulares de clima y suelo que presentan los valles vitivinícolas del país (Limarí, Maipo o Colchagua entre otros), con la selección de cepas adecuadas y el trabajo profesional de los especialistas, esta industria se ha especializado de manera creciente en vinos de alta calidad, que han sido la base de la vitivinicultura de exportación. Los vinos chilenos han liderado el desarrollo exportador del país desde hace años, contribuyendo a reforzar la imagen de Chile como proveedor de productos agrícolas de calidad y contribuyendo así a abrir camino a otros productos de la agricultura [1].

Según cifras de 2004, Chile se situaba en el undécimo lugar entre los principales productores de vino y a partir del 2014, ha relevado a Australia en el 4° puesto del mundo de los máximos exportadores de vino, siendo superado únicamente por Francia, Italia y España [1, 2]. Los vinos ocupan el quinto lugar entre los principales productos (agrupados) de la exportación chilena, después del cobre, el molibdeno, el salmón y la celulosa [1].

2. Sistemas de producción de vino

En la producción de vino blanco la uva blanca es molida, obteniéndose una pulpa que se escurre o se deja macerar para extraer el jugo y luego los sólidos retenidos se presan. El jugo se deja clarificar en cubas de decantación, recuperándose al final de esta etapa el jugo de las borras por medio de filtración. Posteriormente, el jugo producido se fermenta con levaduras inoculadas. Finalmente, se procede a realizar varias etapas de clarificación y estabilización del vino con el fin afinar su sabor y color. El número de veces en que el vino se clarifica y estabiliza depende del tipo de vino a producir (ver **Figura 1**).

En la producción de vino tinto se bombea la pulpa obtenida en la moledora despalladora por el circuito de enfriamiento y luego directamente a una cuba, donde se deja macerar entre cinco y siete días en las cubas, para lo cual se realiza el remontaje que consiste en mezclar cada cierto tiempo el orujo que flota, con el jugo del fondo. Cuando finaliza la maceración se realiza el descube que consiste en separar el líquido de los sólidos sedimentados en el fondo de la cuba.

Para remover los sólidos retenidos en la cuba, los operarios tienen que entrar al interior de la cuba con palas y luego transportarlos con una bomba apropiada hasta las prensas con el fin de extraer todo su jugo. En la producción de vino tinto clásico se realizan tres operaciones de desfango, durante las cuales, dependiendo de la calidad del vino, se agregan clarificantes u otro tipo de aditivos para entregar sabores diferentes (ver **Figura 2**).

Los principales residuos sólidos generados en los diferentes procesos son los siguientes:

- ♦ Escobajo.
- ♦ Orujo.
- ♦ Tierras filtrantes agotadas.
- ♦ Cremor tártaro agotado.

El escobajo y orujo generado, que representa el 5 y el 20% del volumen de uva procesada, son retirados por el sistema de transporte de sólidos, consistente en un sistema de tornillos sinfín que arrastran los residuos hacia el exterior, donde son recogidos y generalmente dispuestos en los viñedos como mejorador de suelos. Las tierras filtrantes agotadas y el cremor tártaro agotado que se generan son vendidos a una empresa que los recupera.

La mayoría de las descargas de aguas residuales industriales que se generan en vendimia proceden del lavado de los equipos más que de vertidos de procesos. Estas descargas son generalmente provenientes de vertimientos en las rampas de lavado, de los enjuagues con agua de las cajas y bins que utilizan para transportar la uva, del lavado de las maquinarias cosechadoras, de la limpieza de algunos vehículos particulares, recolección de las aguas generadas durante el proceso de elaboración de vino (corresponden a los vertimientos de las pruebas hidráulicas realizadas a las barricas y cubas), del lavado de la molidora despalladora y de la prensa neumática, recolección de las todas las aguas vertidas en la zona de cubas, del laboratorio de control de calidad y sala de degustación.

Con respecto a las aguas residuales urbanas, éstas generalmente son descargadas al sistema de alcantarillado público existente en el sector.

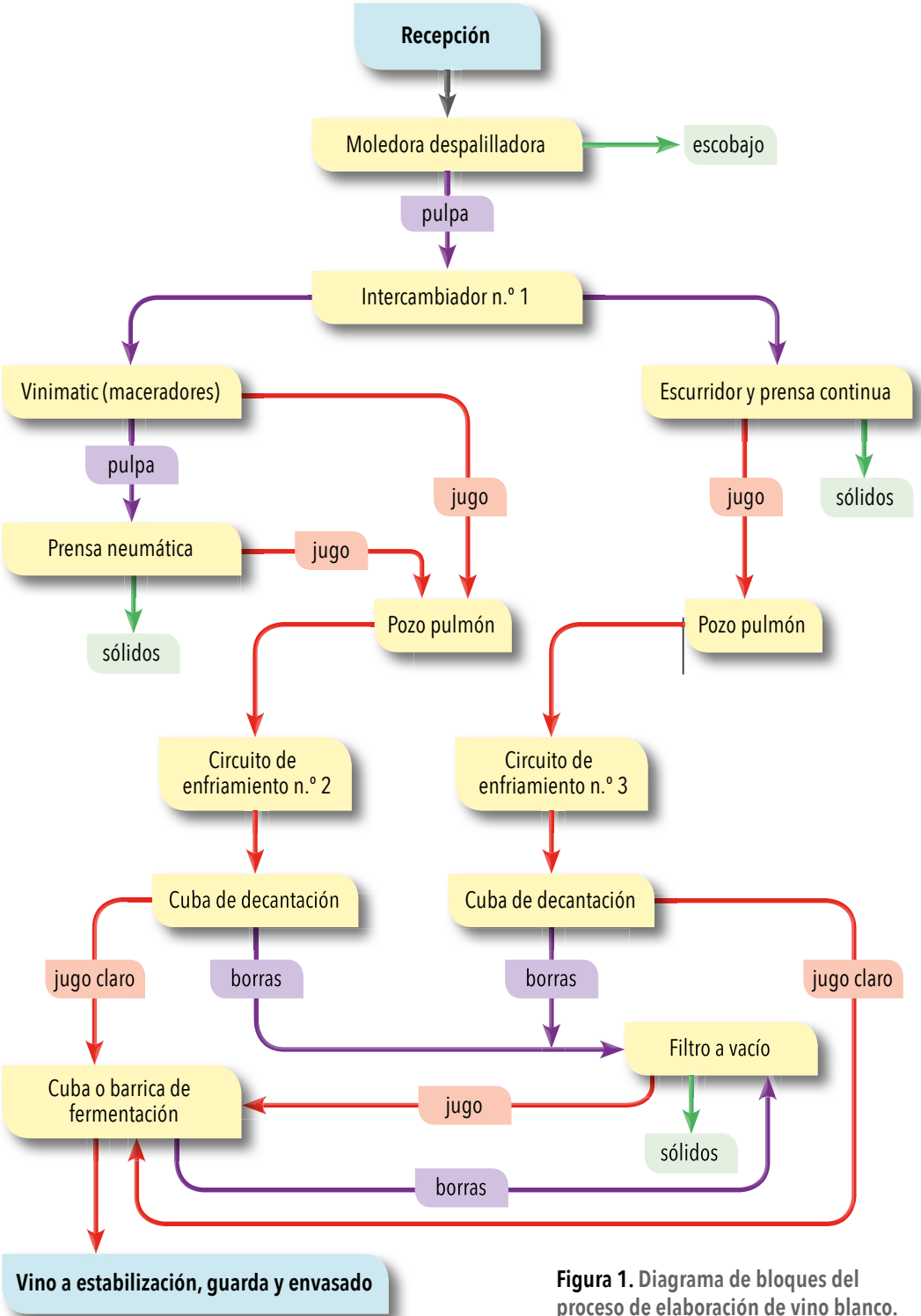


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de vino blanco.

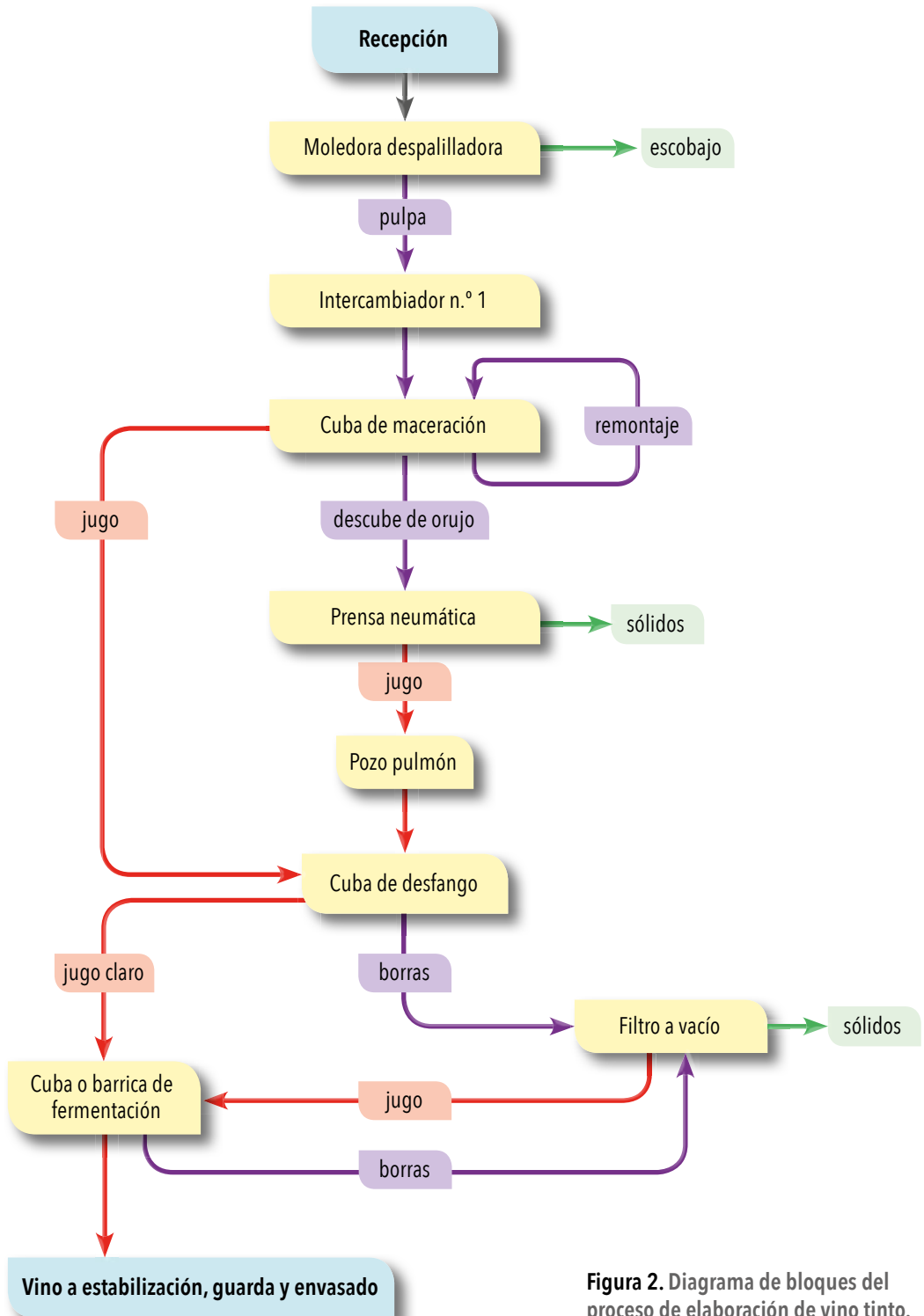


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de vino tinto.

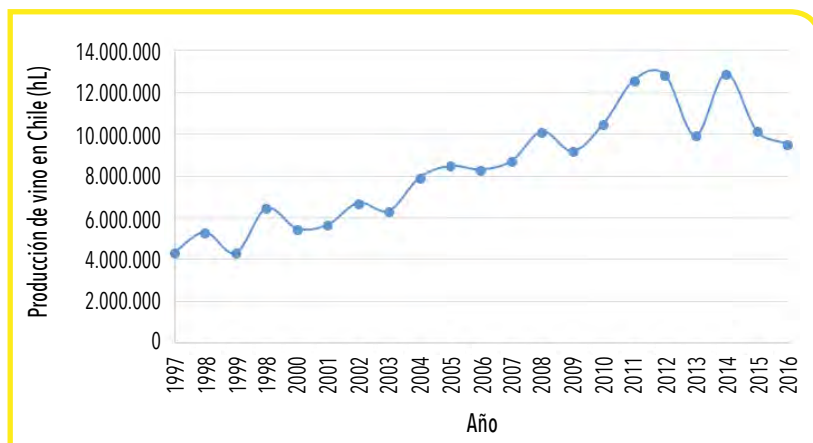
3. Evolución de la producción de vino en Chile

En la **Figura 3** se muestra la producción de vino en Chile entre los años 1997 y 2017 en hectolitros. La producción de vinos total del año 1997 alcanzó a 4.310.249 hL, incrementándose en un 120% al año 2017 (9.492.058 hL) [3].

Las mayores producciones de vinos se localizan en las regiones del Maule, Libertador Bernardo O'Higgins y Metropolitana respectivamente, totalizando el 93,1% del total, concentrando en la Región del Maule el 45,4% de la totalidad de vino producido en el país. Durante la vendimia del 2017, se destacan las Regiones de Tarapacá y Araucanía por su comienzo en la industria vitivinícola [3].

Al analizar las producciones en relación a los tipos de cepajes, el Cabernet Sauvignon alcanza el 28,4% de la producción total de vinos, seguido de Sauvignon Blanc con un 15,3%, Merlot con el 13,3%, Chardonnay con un 9,2%, Syrah con un 7,9% y la variedad Carménère con un 6,7%[3].

Figura 3. Evolución de la producción de vino en Chile entre 1997-2017 en hectolitros.



Fuente: SAG: Informe Ejecutivo Producción de Vinos 2017.

4. Caracterización y producción de los residuos líquidos en la elaboración del vino

Generalmente, el suministro del agua de proceso proviene de pozos propios, agua potable o derechos de agua propios, empresas privadas o comunidades. El abastecimiento para el consumo del personal (baños, duchas y bebida) se realiza partir de la red de agua potable y se estima en $0,6 \text{ L/persona } T_{n_{\text{uva procesada}}}$. En la producción de vino se pueden generar $1,3 \text{ m}^3/T_{n_{\text{uva procesada}}}$ de agua residual, con cargas de $8,2 \text{ kg DQO/ } T_{n_{\text{uva procesada}}}$ (ver Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los índices de generación de caudal y carga contaminante de las aguas residuales industriales en un viñedo promedio.

Índice	Valor
m ³ efluente/Tn uva recepcionada	1,3
kg DQO/Tn uva recepcionada	8,2
kg DBO ₅ /Tn uva recepcionada	4,3
kg SS/Tn uva recepcionada	3
m ³ vino envasado/Tn uva recepcionada	1,8
L/persona Tn uva procesada	0,6
% en volumen efluente proceso/efluente domiciliario	0,2

En las **Tablas 2 y 3** se presenta la composición media del efluente durante cada etapa de producción de vino blanco y tinto (recepción de uva, molienda de uva y obtención de jugo, fermentación de jugo de uva, envasado de vino). Como se observa en las **Tablas 2 y 3**, los mayores aportes de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días (DBO₅) y sólidos suspendidos son generados en el área de lavado representado cerca del 60% del aporte. Además la etapa de lavado representa sobre el 80% de las aguas industriales vertidas por la planta.

Tabla 2. Composición media de un efluente en producción de vino blanco durante las diferentes etapas de producción.

Etapas de producción	Descripción	kg DQO/m ³ efluente		
Recepción	Lavado de rampa, tolva, colosos	5	2	0
Molienda	Lavado de molidor despallador, circuito de enfriamiento, lavado macerador, lavado prensa	23	7	1
Decantación y filtrado	Lavado de cubas, lavado y operación de filtro a vacío	32	25	25
Fermentación	Lavado de cubas, lavado de barricas y refrigeración	32	25	25
Clarificado- ensado	Refrigeración, condensador evaporativo, camiones de escobajo	0	0	1

Tabla 3. Composición media de un efluente en producción de vino tinto durante las diferentes etapas de producción.

Etapas de producción	Descripción	kg DQO/m ³ efluente		
		1	2	3
Recepción	Lavado de rampa, tolva, colosos	3	2	0
Molienda	Lavado de molidor despallador, circuito de enfriamiento, lavado macerador, lavado prensa	13	6	1
Decantación y filtrado	Lavado de cubas, lavado y operación de filtro a vacío	30	750	1.794
Fermentación	Lavado de cubas, lavado de barricas y refrigeración	30	12	28
Clarificado- envasado	Refrigeración, condensador evaporativo, camiones de escobajo	0	0	0

4.1 Uso eficiente de agua en la producción de vino

Algunos viñedos en Latinoamérica miden su huella hídrica, como la Viña Concha y Toro en Chile (conocida a nivel mundial y la segunda viña del mundo en hectáreas plantadas). En estos viñedos se han implementado sistemas de riego por goteo, que permiten lograr eficiencias en la utilización del agua cercanas al 90% en el área agrícola y durante la producción del vino se han implementado procedimientos de lavado y sanitización en las etapas de enología y operaciones, que apuntan a minimizar el consumo de agua y su contaminación [4].

Generalmente, para ahorrar agua en los viñedos:

- ♦ Se utilizan sistemas de válvulas de corte manual en todas las mangueras que se emplean en el lavado manual de equipos y pisos.
- ♦ Se regulan los flujos de agua que se utilizan como lubricante en cintas sinfín.
- ♦ Se desarrollan protocolos de lavado que permitan por ejemplo recuperar aguas limpias como: soluciones de soda o de ácido cítrico utilizadas, aguas de enfriamiento de cubas, aguas de descarga de compresores.
- ♦ Con respecto a la huella hídrica, en el año 2014, la Viña Concha y Toro registró 56 L de agua por copa de vino de 125 mL, cifra 53% menor al promedio de la industria vitivinícola en Chile [4].

5. Producción limpia para la industria vitivinícola

5.1 Aspectos generales

La industria vitivinícola ha tendido a hacer frente a una serie de requerimientos de tipo ambiental para desarrollar su actividad económica en forma compatible con el medio ambiente, considerando los requerimientos de los mercados internacionales de destino [5]. En un escenario actual de un mercado globalizado, los sistemas de gestión ambiental han sido una herramienta que ha alcanzado reconocimiento y homologación internacional a través del estándar ISO 14001.

Así también, los sellos ambientales están logrando una creciente importancia, por cuanto los consumidores de países de Europa o Norteamérica, por ejemplo, empiezan a privilegiar productos ambientalmente amigables a la hora de decidir sus compras [5].

Junto con ellos, han aparecido una serie de “códigos de sustentabilidad”, los cuales pueden ser definidos como acuerdos sectoriales de carácter voluntario, destinados a complementar los requerimientos del estándar de gestión ambiental, tendencia que se aprecia mayormente en sectores basados en recursos naturales renovables, como el vitivinícola [5].

En el área agrícola han aparecido enfoques tales como “Agricultura Sustentable”, “Código de buenas prácticas Agrícolas” y “Manejo integrado de plagas” que son de carácter internacional. Los códigos de sustentabilidad incluyen una serie de ámbitos relevantes para lograr una actividad sustentable, entre los que se pueden mencionar [6]:

- ♦ Calidad del agua y eficiencia en su uso.
- ♦ Condiciones de los suelos.
- ♦ Manejo adecuado de residuos sólidos y líquidos.
- ♦ Calidad del aire.
- ♦ Eficiencia energética.
- ♦ Impacto del cambio climático.
- ♦ Uso seguro y efectivo de fertilizantes y plaguicidas.
- ♦ Aspectos sociales relacionados a recursos humanos.

Por ejemplo en Chile, el sector agrícola ha realizado múltiples esfuerzos sectoriales por avanzar en estos temas, como: el programa de buenas prácticas agrícolas Chile Gap, Acuerdos de Producción Limpia (APL), medición de huellas de carbono, certificaciones orgánicas y programas de eficiencia energética y gestión de energía. Además a nivel de empresas vitivinícolas, existe el Código de Sustentabilidad.

Este código de Sustentabilidad es un instrumento de carácter voluntario que tiene como objetivo guiar al sector vitivinícola chileno hacia una producción sustentable de vinos, basada en un alto estándar social, ambiental y de calidad y motivar a los productores de uva y elaboradores de vino a mejorar su gestión a través del cumplimiento de los requisitos estipulados en el estándar. Para cumplir con los requisitos del Código,

las viñas deben contar con un sistema de gestión ambiental y social que cumpla como mínimo la legislación nacional vigente, independientemente de la complejidad de sus operaciones [6].

En Chile, luego de un acuerdo voluntario de producción limpia, realizado en la pasada década con la participación de más de 200 bodegas se lograron avances tales como (información obtenida de la página web de la Agencia Chilena de Sustentabilidad y Cambio Climático):

- ♦ Un total de 480 centros productivos (338 viñedos, 141 bodegas), optimizaron el manejo de sus residuos sólidos.
- ♦ Un incremento de 158% en el retorno de envases de alto riesgo, equivalente a 20.432 toneladas.
- ♦ Un incremento de 305% en la reutilización de envases de producción, equivalente a 331.420 toneladas.
- ♦ Un incremento de 143% en la valorización de los residuos sólidos (orujos, escobajos y borras), equivalente a toneladas. La técnica más empleada con estos residuos es la producción de ácido tartárico y la aplicación al campo, como abono, que suma 13.000.000 toneladas.
- ♦ Al año 2005, implementadas las acciones del APL en minimización del consumo de agua, se logró disminuir el consumo en un 10%, obteniéndose un consumo específico de 1 m³ de vino producido/2,8 m³ de agua utilizada.

En Chile, el Código de sustentabilidad establece requisitos en tres áreas principales de la cadena productiva, las cuales se han identificado de acuerdo a la realidad del sector vitivinícola:

- ♦ **Área Verde.** Viñedo. Incluye campos propios y proveedores de largo plazo (contratos de 2 años o más).
- ♦ **Área Roja.** Proceso. Contempla la bodega, planta de embotellado y otras instalaciones relacionadas con la producción de vino.
- ♦ **Área Naranja.** Social. Aplica a la empresa, incluido sus campos, oficinas e instalaciones.

5.2 Código de sustentabilidad

Para obtener el código de sustentabilidad los principales enfoques de las políticas sustentables son la arquitectura del viñedo, aumentar de la biodiversidad, restablecer especies nativas, disminuir del uso de agroquímicos, controlar malezas de forma natural, capacitar a trabajadores para aumentar su competencia, disminuir la huella hídrica, eficiencia energética, disminución del uso de vidrio [9].

a) **Arquitectura del viñedo**

Los cuarteles de viñedo se pueden diseñar con hileras cortas que limitan la erosión de los suelos. La dirección de las hileras se define buscando disminuir los riesgos de accidentes para los trabajadores agrícolas [9].

b) **Aumentar biodiversidad y restablecer especies nativas en peligro de extinción**

Las prácticas más comunes para la protección de la biodiversidad son: Manejo de residuos industriales para evitar la contaminación de áreas de interés, Mantenimiento de árboles o arbustos nativos alrededor de caminos, bodegas y/u oficinas, Manejo integrado de plagas, Mantenimiento de árboles o arbustos nativos dentro de cuarteles o entre cuarteles, como cercos vivos, Reforestación o restauración usando plantas nativas, Instalación de perchas para aves, Instalación de casas nido para aves, Cuidado de zorros. Se ha propuesto plantar plantas nativas en quebradas cercanas a los viñedos que ayuda en el control de la erosión y recupera el hábitat de fauna en peligro de extinción [8 y 9].

c) **Mínimas aplicaciones de agroquímicos**

Los viñedos pueden privilegiar el uso de productos permitidos en la viticultura orgánica. Disminuir las aplicaciones de azufre para el control de oidio para solo 2 a 3 veces por año, gracias a un metódico monitoreo que indica cuando se cumplen las condiciones que favorecen el desarrollo del hongo. Actualmente en Europa existe una tendencia por buscar una solución en el control biológico de enfermedades de la vid lo que permite la suspensión de fungicidas de origen químico.

El control Biológico consiste en aumentar la presencia de enemigos naturales de aquellos organismos considerados plaga en el viñedo por ejemplo el uso de diversas cepas de avispas del género *Trichogramma* y del insecto *Campoplex capitator* son elementos naturales para el control del chanchito blanco (*Lobesia botrana*), la cual puede reducir de manera importante el rendimiento del viñedo [8].

d) **Control de malezas**

Una práctica sustentable para controlar las malezas es el uso de ovejas en el control de malezas, que además aumenta la fertilidad en los sectores débiles [9].

e) **Competencia de trabajadores**

Una de las prácticas sustentables en el área de los trabajadores es privilegiar la contratación de trabajadores y proveedores locales. También se destacan las iniciativas de apoyo a los trabajadores y a la comunidad para ser un aporte en su calidad de vida, con programas para incentivar la vida sana, entrega de becas escolares y universitarias para los trabajadores y sus hijos, actividades culturales y beneficios médicos gratuitos [9].

f) **Huella hídrica**

Las prácticas para la eficiencia hídrica son: Generar línea base de consumos de agua. Identificar actividades que tienen mayor potencial de ahorro de agua. Manejo eficiente y sustentable del agua de riego (riego tecnificado o riego por go-

teo). Implementar medidas o generar protocolos para la disminución del consumo de agua. Mantener un monitoreo continuo de los contadores y puntos de control de agua. Reducción de riego en jardines en un 15% mediante una adecuada programación. Sustitución del pasto por flora nativa que sea menos demandante de agua [8].

g) Eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Las prácticas más comunes es monitoreo automático del uso de energía, utilización de energías renovables (Geotérmica, aerotérmica). La apuesta por fuentes renovables junto a las otras iniciativas de mayor eficiencia energética permite la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas a esta parte del proceso de elaboración del vino [8].

h) Menor consumo de vidrio en embotellado y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte

Un ejemplo es el desarrollo de botellas más livianas que reducen el consumo de vidrio, lo que reduce las emisiones de los gases de efecto invernadero asociadas al transporte [9].



6. Bibliografía

- [1] CONICYT. 2018. http://www.conicyt.cl/documentos/dri/ue/Vino_Wine_BD.pdf
- [2] Vivir en Chile. 2018. <http://www.vivirenchile.cl/es/vino-en-chile/>
- [3] SAG. 2018. <https://www.sag.cl/sites/default/files/inf cosecha2017.pdf>
- [4] Viña Concha y Toro. 2018. <https://www.conchaytoro.com/sustentabilidad/agua/>
- [5] Corporación chilena del vino. Manejo de herramientas en producción limpia. 2011. https://issuu.com/alkesita/docs/produccion_limpia_industria_vitivinicola
- [6] Código de Sustentabilidad de la Industria Vitivinícola Chilena. 2015. http://www.sustentavid.org/en/imgmodulo/imagen_producto/19B.pdf
- [7] Innovación Chilena. 2018. <https://innovacionchilena.cl/sustentabilidad-vinos-premiado/>
- [8] ProChile. 2018. <https://www.prochile.gob.cl/wp-content/uploads/2016/09/Informe-Sustentabilidad-Vinos-de-Chile.pdf>
- [9] Calcu. 2018. <http://www.calcu.cl/sustentabilidad/>
- [10] Pablo Lacoste. 2004. La vid y el vino en América del Sur: el desplazamiento de los polos vitivinícolas (siglos XVI al XX). Revista Universum, n.º 19 Vol. 2: 62-93, 2004.
- [11] Latinamerica hoy. 2017. <https://latinamericahoy.es/2012/06/06/el-vino-en-america-latina/>
- [12] Agence France Presse. 2017. <http://www.elnuevoherald.com/noticias/finanzas/article144032304.html>. Cae la producción mundial de vino, El Niño afectó a Argentina, Chile y Brasil.
- [13] La Nación. 2016. <https://www.lanacion.com.ar/1912356-en-el-clasico-de-los-vinos-las-bodegas-chilenas-se-siguen-imponiendo-a-las-locales>. En el clásico de los vinos, las bodegas chilenas se siguen imponiendo a las locales.
- [14] OIV. 2017. <http://www.oiv.int/public/medias/5682/es-communiqu-depresse-octobre-2017.pdf>

Participantes:

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona
Escola d'Enginyeria



iibce

INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
CLEMENTE
ESTABLE



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

CONICET



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA

I N T E R M A



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

$\pi 7$ PISET
Process Intensification, Simulation
& Environmental Technology Group



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

NBC
Núcleo Biotecnología Curauma



Red CYTED 316RT0508