

**IMPACTO DE LA EVAPORACIÓN EN LA CALIDAD DE PRODUCTOS FINALES: UN
ENFOQUE EN LA INDUSTRIA QUÍMICA**
**IMPACT OF EVAPORATION ON THE QUALITY OF FINAL PRODUCTS: A FOCUS ON
THE CHEMICAL INDUSTRY**

**Autores: ¹Tanya Alexandra Carchi Tandazo, ²Lenny Alexia Maldonado Delgado, ³Jonathan
Josue Echeverria Gia y ⁴Genesis Alexa Zegarra Cabrera.**

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6310-4446>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-9371-0969>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-1935-4849>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-6585-1233>

¹E-mail de contacto: tacarchi@utmachala.edu.ec

²E-mail de contacto: lmaldond9@utmachala.edu.ec

³E-mail de contacto: jecheverr7@utmachala.edu.ec

⁴E-mail de contacto: gzegarra2@utmachala.edu.ec

Afiliación: ^{1*2*3*4}Universidad Técnica de Machala, (Ecuador).

Artículo recibido: 26 de Octubre del 2025

Artículo revisado: 27 de Octubre del 2025

Artículo aprobado: 29 de Octubre del 2025

¹Ingeniera Química graduada en la Universidad Técnica de Machala, (Ecuador). Máster Universitario en Ingeniería Química graduada en la Universidad de Valencia, (España). Docente de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, (Ecuador).

²Estudiante de Séptimo Semestre de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Machala, (Ecuador).

³Estudiante de Séptimo Semestre de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Machala, (Ecuador).

⁴Estudiante de Séptimo Semestre de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Machala, (Ecuador).

Resumen

La evaporación influye de manera decisiva en la eficiencia de los procesos industriales y en la calidad final de los productos, especialmente en las industrias química y alimentaria. Esta investigación recopiló y analizó evidencia científica sobre los distintos tipos de evaporadores efecto simple, efecto múltiple, con recompresión térmica (TVR) y recompresión mecánica (MVR); evaluando su eficiencia térmica, economía de vapor y efecto sobre parámetros fisicoquímicos del producto. Se compararon procesos y requerimientos de ambas industrias, considerando variables como la transferencia de calor, la viscosidad, el tiempo de residencia, la volatilidad relativa y la sensibilidad térmica del producto. Los resultados indican que la industria alimentaria utiliza más intensamente la evaporación para preservar características sensoriales, mientras que la industria química prioriza la recuperación de productos y la eficiencia energética. Se evidenció que la selección del tipo de evaporador, así como el control de

parámetros críticos, son determinantes para garantizar un procesamiento sostenible sin comprometer la calidad. Este análisis permite entender el impacto integral de la evaporación desde una visión multidisciplinar, apoyando la toma de decisiones en diseño de procesos industriales.

Palabras clave: Evaporación, Eficiencia térmica, Calidad del producto, Industria química.

Abstract

Evaporation decisively influences the efficiency of industrial processes and the final quality of products, especially in the chemical and food industries. This research compiled and analyzed scientific evidence on different types of evaporators single-effect, multiple-effect, thermal recompression (TVR), and mechanical recompression (MVR) evaluating their thermal efficiency, steam economy, and effect on product physicochemical parameters. Processes and requirements from both industries were compared, considering variables such as heat transfer, viscosity,

residence time, relative volatility, and the product's thermal sensitivity. The results indicate that the food industry uses evaporation more intensively to preserve sensory characteristics, while the chemical industry prioritizes product recovery and energy efficiency. It was evident that the selection of the evaporator type, as well as the control of critical parameters, are decisive in ensuring sustainable processing without compromising quality. This analysis allows us to understand the comprehensive impact of evaporation from a multidisciplinary perspective, supporting decision-making in the design of industrial processes.

Keywords: **Evaporation, Thermal efficiency, Product quality, Chemical industry.**

Sumário

A evaporação influencia decisivamente a eficiência dos processos industriais e a qualidade final dos produtos, especialmente nas indústrias química e alimentícia. Esta pesquisa compilou e analisou evidências científicas sobre diferentes tipos de evaporadores — efeito único, efeito múltiplo, recompressão térmica (TVR) e recompressão mecânica (MVR) — avaliando sua eficiência térmica, economia de vapor e efeito nos parâmetros físico-químicos do produto. Processos e requisitos de ambas as indústrias foram comparados, considerando variáveis como transferência de calor, viscosidade, tempo de residência, volatilidade relativa e sensibilidade térmica do produto. Os resultados indicam que a indústria alimentícia utiliza a evaporação de forma mais intensiva para preservar as características sensoriais, enquanto a indústria química prioriza a recuperação do produto e a eficiência energética. Ficou evidente que a seleção do tipo de evaporador, bem como o controle de parâmetros críticos, são decisivos para garantir um processamento sustentável sem comprometer a qualidade.

Palavras-chave: **Evaporação, Eficiência térmica, Qualidade do produto, Indústria química.**

Introducción

En la industria química y alimentaria, es primordial la elaboración de productos que abarca desde alimentos y medicamentos hasta combustibles y plásticos, esto gracias a su interdisciplinariedad para el diseño, desarrollo y operaciones unitarias que buscan la transformación de materias primas en productos finales con valor agregado manteniendo costos operativos reducidos y disminución del impacto ambiental (Carchi et al., 2024). Unas de las operaciones unitarias más utilizadas en la industria química es la evaporación, la cual define que mediante la adición de una fuente de calor a temperaturas que oscilan a la temperatura de ebullición a una solución líquida con el propósito de separar el disolvente, el cual normalmente es agua o algún compuesto orgánico, y generando un vapor que contiene los componentes más volátiles de la misma (Bonilla et al., 2019). Esta técnica se ha implementado de múltiples industrias, con especial énfasis en la concentración de sustancias, para el campo de la alimentación algunos ejemplos que menciona el autor son a partir de soluciones acuosas de azúcar o productos más industrializados tales como los jugos de frutas, y para la industria química hace referencia para la obtención de hidróxido de sodio, esencial para la fabricación de diversos productos (Aurelio et al., 2008).

Su importancia tecnológica alimentaria radica en su relevante aplicación en múltiples procesos que requieren la transmisión de calor, permitiendo así la destrucción de microorganismos patógenos mediante la reducción de la actividad de agua sin perjudicar las propiedades organolépticas de los alimentos y su valor nutritivo (Rodríguez, 2008). Permitiendo así que los productos generados y comercializados conserven mayor tiempo de vida útil y se encuentren presentes en los

anaqueles (Barbosa et al., 2000). No obstante, mediante esta operación existe el riesgo de la pérdida de compuestos volátiles, degradación de nutrientes termo-sensibles, alteraciones de pH y cambios en el perfil sensorial; que, en el caso de los jugos concentrados, reduce el flavor del mismo; a comparación de la leche o el licor de cocoa, para el cual es necesario la pérdida de los compuestos volátiles indeseables para la mejora de la calidad del producto (Fellows, 2017). La integración térmica es otro aspecto que destaca a la evaporación, puesto que, durante la evaporación del solvente, la densidad y la viscosidad son directamente proporcionales con el contenido de sólidos, provocando que llegue a un punto de saturación la solución y se obtenga como resultado una incorrecta transferencia de calor (García et al., 2011), sin embargo, el consumo de energía es una de las mayores restricciones que tiene este proceso, se han propuesto soluciones para una disminución del mismo mediante la creación de un diseño basado en el uso de evaporadores de múltiples efectos, con termocompresores o que previo al ingreso de la alimentación al evaporador, se lo precaliente (Díaz et al., 2013), además, se plantea con la posibilidad de la utilización del vapor generado por la operación como una fuente de calentamiento continua para el resto del proceso (Higa et al., 2009).

La integración térmica se encuentra en la mayoría de los procesos químicos utilizados en las industrias, tales como enfriamiento, condensación, entre otros, es por ello que a través del punto de vista económico, este parámetro abarca una importancia significativa, es por ello que en las nuevas investigaciones enfocadas en la ingeniería moderna, los aspectos más importantes son la energía y medio ambiente, esto mediante la búsqueda de recursos energéticos no convencionales que permitan preservar los recursos naturales

existentes (Kulkarni, 2015). La severidad del impacto en la calidad final del producto, es dependiente de un sinnúmero de variables incluyendo la temperatura, la presión, el tiempo de residencia, el tipo de evaporador, las características del alimento y la estrategia del procesamiento (Forero Longas & Vélez Pasos, 2013), es por ello que en la siguiente investigación a través de una redacción literaria y bibliográfica, se analizarán los tipos de evaporadores utilizados en la industria química y alimentaria, con el fin de verificar las condiciones de impacto en la calidad de los productos, basándonos en un enfoque de parámetros fisicoquímicos, composición nutricional, diseño de equipos, economía de la evaporación, reducción en el consumo de energía y tecnologías aplicables a la industria.

Materiales y Métodos

El documento propone una revisión narrativa integradora dentro del marco de la evaporación haciendo hincapié de la importancia de esta operación unitaria en la industria química y alimentaria. Por ende, se llevó a cabo la recolección, procesamiento, análisis y unificación de diversas fuentes de información actuales de relevancia de hasta 10 años y antiguas de acuerdo a su significancia, provenientes de bases de datos científicas (SciELO, ScienceDirect, SpringerLink, Redalyc, Scopus, Elsevier, ResearchGate) y repositorios de algunas universidades de Ecuador, Bolivia, Colombia y Venezuela. Con los datos recopilados, se debe llevar a cabo una comparación cualitativa y cuantitativa entre el uso de los evaporadores en la industria química versus en la industria alimentaria, identificando sus principales usos.

Resultados y Discusión

Por definición, se hace énfasis que la evaporación se produce a través de la

vaporización del solvente volátil para el incremento de la concentración de componentes esencialmente no volátiles en una solución o suspensión; la vaporización por ebullición permite diferenciar las operaciones unitarias de evaporación y deshidratación; mientras que la naturaleza de los componentes no volátiles marca la diferencia entre la evaporación y la destilación (Berk, 2009). En la Industria papelera (papel Kraft), esta operación se utiliza a menudo para la recuperación de sustancias químicas valiosas y no volátiles, en particular en el proceso de pulpa Kraft, el cual su procedimiento consiste en la evaporación del agua que se encuentra en el líquido de cocción usado, también denominado licor negro, buscando concentrar los sólidos. Para los productos químicos inorgánicos, al ya ser sometidos al concentrado, pueden refinarse para su reutilización para su nuevamente ingreso a la cadena (Hackett, 2018). En la industria alimentaria existen principales objetivos de evaporación (Berk, 2018; Ortolá et al., 2018) los cuales son:

- Reducción de masa y volumen, y como resultado obtener menores costos de empaquetado, transporte y almacenamiento.
- Reducción de la actividad del agua de los productos en busca de su preservación. A pesar de ello, la tasa de deterioro químico se incrementa a medida que aumenta la concentración, por ejemplo, en la concentración de jugos; que, aunque se vuelvan más resistentes a la deterioración microbiana que en su concentración simple, tiene mayor tendencia a oscurecerse con mayor rapidez.
- Preparación para tratamientos posteriores, entre ellos la cristalización (azúcar), la precipitación (pectina), la formación (caramelos), deshidratación (leche, suero de leche).

- Obtención de una consistencia deseada y que esté dentro de los parámetros indicados por normativas (mermeladas y jaleas, concentrados de tomate, ketchup).

La evaporación puede emplearse como un paso inicial en la elaboración de un producto seco si el concentrado líquido es sometido posteriormente a un proceso de secado, en particular, el secado por aspersión. La unión de la evaporación con el secado de aspersión ha demostrado ser económicamente ventajosa ya que la evaporación de alta eficiencia tiene un costo considerablemente menor que el proceso de secado y otros tipos de eliminación del agua (Smith, 2011). La evaporación puede realizarse a cabo tanto como un proceso continuo como discontinuo (Hackett, 2018), todo depende de la industria y el tipo de evaporador que se emplee. Todos los evaporadores constan de dos secciones básicas: Una sección de calentamiento, denominada como cámara de vapor y una sección de separación de vapor/líquido. Estas secciones pueden estar ubicadas dentro de un mismo cuerpo, o la sección de calentamiento puede ser externa al recipiente. Los evaporadores pueden estar compuestos de uno o más efectos, donde un efecto se define como uno o más cuerpos que operan a la misma temperatura de ebullición (Hackett, 2018).

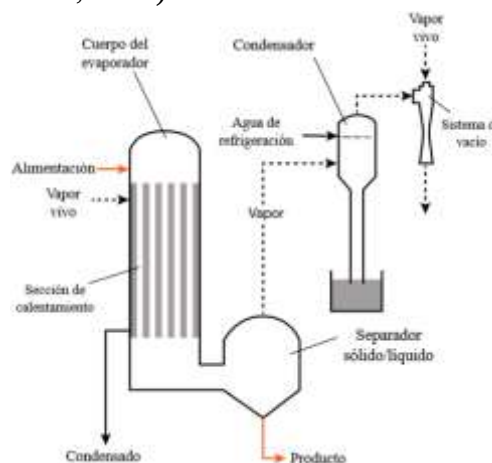


Figura 1. Evaporador de efecto simple

En la Figura 1, se muestra un sistema de evaporación simple de efecto único, que incluye un cuerpo de evaporador con una sección de calentamiento interna, un separador de vapor/líquido, un condensador enfriado por agua con pata barométrica y un sistema de vacío con eyector de vapor. Por lo general, los evaporadores se clasifican en función de su tasa de evaporación, es decir, la cantidad de agua que evaporan por hora (por ejemplo, kg/h, ton/h). Los balances de masas que se pueden deducir a partir de las corrientes del evaporador de efecto simple se observan en la Figura 2.

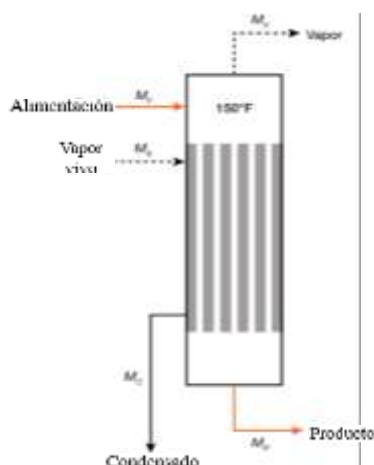


Figura 2. Balance de materia de un Evaporador de Efecto simple.

Por otra parte, en la Ec. 1 y Ec. 2 se indican los caudales másicos de alimentación (M_f), producto (M_p), vapor (M_v), vapor (M_s) y condensado (M_c), todos en unidades de kg/hr o ton/hr.

$$M_f = M_p + M_v \quad \text{Ec. 1}$$

$$M_s = M_c \quad \text{Ec. 2}$$

Trazar un volumen de control alrededor del evaporador permite realizar un balance energético del sistema (Ec. 3), en el que h es la entalpía de las respectivas corrientes, en kJ/mol.

$$M_f h_f + M_s h_s = M_p h_p + M_v h_v + M_c h_c$$

El balance energético supone que no se realiza ningún trabajo en el sistema ($W = 0$ watt) y que la pérdida de calor es despreciable ($Q = 0$ kJ). En aplicaciones reales, la pérdida de calor suele estimarse en un 2% de la energía de vapor aportada a cada efecto (Heldman & Lund, 2006). La concentración de producto, donde X_f y X_p son las fracciones másicas de las corrientes respectivas, puede calcularse a partir de Ec. 4.

$$M_f X_f = M_p X_p \quad \text{Ec. 4}$$

El calor latente del vapor saturado impulsa la evaporación del agua y, dependiendo de la temperatura inicial de alimentación, también puede utilizarse para elevar la temperatura de ebullición, esto se observa en Ec. 5 y Ec. 6. Calor suministrado por el vapor = calor sensible + calor latente de vaporización.

$$Q = m_s \lambda_s$$

$$Q = m_f c_p (\theta_b - \theta_f) + m_v \lambda_v$$

Donde C_p ($J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$) es la capacidad calorífica específica del licor de alimentación, λ_s ($J \cdot kg^{-1}$) como el calor latente del vapor condensado y λ_v ($J \cdot kg^{-1}$) como el calor latente de agua vaporizada. En la práctica, el vapor contiene pequeñas cantidades de sólidos, transportado por el líquido hirviendo, dándonos así un balance de energía evidenciado en Ec. 7.

$$\begin{aligned} &F \cdot h_f \\ &+ S(h_s - h_{sc}) \\ &= C \cdot h_c + V \\ &\cdot h_v + q_1 \end{aligned}$$

Donde $h_f, h_s, h_{sc}, h_c, h_v$ son entalpías específicas ($J \cdot kg^{-1}$) del alimento, vapor vivo (steam), vapor condensado, concentrado y vapor del solvente y q_1 como tasa de pérdida de calor (W) (Berk, 2009). En la mayor parte de un

proceso de evaporación, la velocidad de transferencia de calor es el factor determinante y la velocidad de transferencia de masa sólo adquiere importancia cuando el licor se concentra en gran medida. En teoría, la evaporación de 1 kg de agua requiere algo más de 1 kg de vapor, ya que el calor latente de vaporización disminuye al aumentar la presión (Saravacos y Kostaropoulos, 2016). A medida que el calor latente del vapor se transfiere a la alimentación, parte del calor eleva la temperatura inicial de la alimentación hasta el punto de ebullición y el calor latente restante evapora el agua. Por lo tanto, la economía de vapor siempre será inferior a uno (Hackett, 2018). Sin embargo, una de las principales desventajas identificadas es el alto consumo energético, ya que cada kilogramo de vapor generado requiere una cantidad considerable de energía térmica. Además, el tiempo prolongado de exposición al calor puede producir una pérdida significativa de compuestos termosensibles como vitaminas, pigmentos naturales y compuestos aromáticos, afectando negativamente la calidad del producto final (Fellows, 2017).

En alimentos como la leche evaporada o jugos concentrados, esta pérdida impacta tanto en el perfil sensorial como en el valor nutricional, así como en operaciones por lotes de productos químicos. En términos operativos, este sistema requiere cerca de 1.1 a 1.3 kg de vapor por cada kg de agua evaporada, lo cual es elevado comparado con tecnologías más modernas (Fleer et al., 2021). Los evaporadores de efecto múltiple representan una alternativa eficiente desde el punto de vista energético. Estos utilizan el vapor generado en un efecto como fuente de calor para el siguiente, reduciendo el consumo global de vapor. El número de efectos influye directamente en la eficiencia térmica, siendo la economía de la evaporación uno de los

parámetros más evaluado. Este tipo de configuración puede reducir el consumo de energía hasta en un 50–70 % en comparación con un evaporador de efecto simple (McCabe et al., 2005). El evaporador de efecto múltiple puede operar en diferentes modos gracias a su disposición del flujo de alimentación, es decir, flujo de alimentación en paralelo, flujo de alimentación en contracorriente (Figura 3), flujo de alimentación mixto y flujo de alimentación paralela, además el vapor de calentamiento es otro de los factores a tener en consideración en la operación múltiple de evaporación. Son varios aspectos que permiten la elección de un modo de flujo, entre ellos está la concentración en cada efecto, la viscosidad del líquido y la sensibilidad térmica del producto (Berk, 2009).

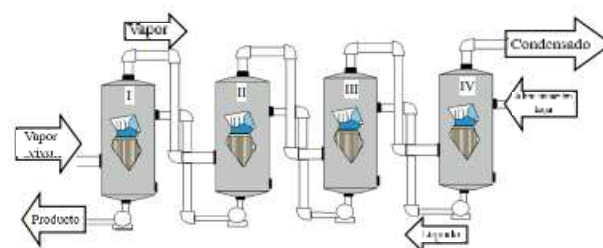


Figura 3. Evaporador de efecto múltiple (4 efectos) con alimentación a contracorriente

Los balances de masa considerando los diferentes volúmenes de control para el conjunto de evaporadores y considerando un sistema de alimentación inverso (Figura 3) se expresan en Ec. 8 y Ec. 9.

$$m_F = m_p + m_{V1} + m_{V2} + m_{V3} \quad \text{Ec. 8}$$

$$\begin{aligned} m_f \times X_{2F} \\ = m_p \times X_{2P} \end{aligned} \quad \text{Ec. 9}$$

Los números I, II y III identifican los efectos a los que se refieren las respectivas corrientes (Figura 3). Los balances de energía aplicados a los diferentes efectos, de acuerdo con las

consideraciones de cada efecto, se expresan en Ec. 10, Ec. 11 y Ec. 12 (Tadini et al., 2015).

$$m_H \Delta_{vap} H_H = m_{p2} C_{pp2} (T_p - T_{p2}) + m_{v1} \Delta_{vap} H_{v1} \quad \text{Ec. 10}$$

$$\begin{aligned} & m_{v1} \Delta_{vap} H_{v1} \\ = & m_{p3} C_{pp3} (T_{p2} - T_{p3}) \\ + & m_{v2} \Delta_{vap} H_{v2} \end{aligned} \quad \text{Ec. 11}$$

$$\begin{aligned} & m_{v2} \Delta_{vap} H_{v2} \\ = & m_F C_{pF} (T_{p3} - T_F) \\ + & m_{v3} \Delta_{vap} H_{v3} \end{aligned} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde Δ_{vap} es la entalpía de vaporización del disolvente sobre la solución (J·kg⁻¹), H_H la entalpía del vapor de calentamiento (J·kg⁻¹), H_v como la entalpía de vaporización del solvente (J·kg⁻¹), C es el calor específico (J·kg⁻¹·°C⁻¹) y T la temperatura (°C). El balance energético simplificado expresado muestra que la condensación del vapor saturado suministra la energía necesaria para calentar la alimentación y evaporar el disolvente. El proceso de transferencia de calor puede ser expresada de la siguiente forma (Ec. 13).

$$q = m_H \Delta_{vap} H_H = UA \Delta T \quad \text{Ec. 13}$$

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor (W·m⁻²·K⁻¹), A es el área de transferencia de calor (m²), y ΔT es la diferencia de temperatura entre las corrientes, es decir, entre el vapor de calentamiento y la solución (°C). La Tabla 1 hace referencia a la economía de vapor que aumenta constantemente en los evaporadores de efectos múltiples a medida que aumenta el número de efectos.

Tabla 1. Comparación de las economías de vapor de los evaporadores de efectos múltiples, TVR y MVR

Tipo de Evaporador	Economía de vapor (kg agua/ kg de vapor)
Efecto Simple	0.90 – 0.98
Efecto Doble	1.7 – 2.0
Efecto Triple	2.4 – 2.8
Seis Efectos	4.6 – 4.9
Tripe Efecto con TVR	4 – 8
Efecto Simple con MVR	10 – 30

Fuente: Hackett (2018).

La adición de un termocompresor a un sistema de tres efectos puede duplicar aproximadamente la economía, pero esta palidece en comparación con la economía potencial del vapor y los compresores mecánicos están limitados económicamente a relaciones de compresión, lo que produce un aumento de temperatura de 5 – 20°C. Y el potencial para aumentar la economía de vapor añadiendo efectos con TVR y MVR puede verse limitado por las propiedades térmicas y reológicas del líquido que se está concentrando (Hackett, 2018). En la Tabla 2, se indica los sectores donde más se aplican los evaporadores en las industrias mencionadas previamente.

Tabla 2. Tipos de evaporadores y los sectores donde se aplican con mayor frecuencia

Tipo de evaporador	Industria Química	Industria Alimentaria
Efecto Simple	Reactivos por lotes	Jugos, leche, mermeladas
Efecto Triple	Licor negro, ácidos inorgánicos	Concentrados, néctares, concentrado de tomate
Triple Efecto con TVR	Efluentes industriales	Jarabes, caramelos
MVR	Glicerina, solventes, Tratamiento de aguas residuales	Extractos vegetales, fórmulas UHT

Fuente: Adaptación de Heldman et al. (2006), Li et al. (2022), Smith (2011).

La información presentada en la Tabla 3 corresponde a una síntesis comparativa de los parámetros cualitativos y cuantitativos encontrados en los estudios revisados durante la investigación (Berk, 2009; Díaz et al., 2013;

Fellows, 2017; Hackett, 2018; Li et al., 2022; Smith, 2011). Por lo tanto, las categorías y los porcentajes asignados no son arbitrarios; en cambio, muestran tendencias que la literatura científica ha reportado con respecto al empleo de la evaporación, la sustentabilidad y los peligros relacionados en las industrias química y alimentaria.

Tabla 3. Comparación cualitativa y cuantitativa del uso de evaporación y sostenibilidad entre industrias

Criterio evaluado	Industria Alimentaria	Industria Química
Nivel de uso de evaporación (%)	Alto (85%)	Moderado – Alto (75%)
Prioridad en sostenibilidad (%)	Alto (80%)	Muy alta (90%)
Riesgo de pérdida de calidad	Alto (nutrientes, calidad organoléptica)	Medio (eficiencia del sistema)
Innovación tecnológica actual	Alta (UHT, MVR)	Muy alta (TAR, recuperación de solventes)
Costo energético relativo	Medio	Alto

Fuente: elaboración propia.

Este tipo de equipo es ampliamente utilizado en la industria láctea, jugos concentrados, mermeladas, concentrado de tomate y ketchup, así como en la industria papelera para la recuperación del licor negro en la industria celulósica y la concentración de soluciones ácidas o alcalinas (Smith, 2011). En la industria del concentrado de tomate y preparación de pasta de tomate, con un evaporador de doble efecto, se observó que en las unidades evaporativas de primer y segundo efecto presentaban eficiencias energéticas racionales del 65,33% y el 56,63%, respectivamente (Mojarab et al., 2016). En alimentos, la reducción del tiempo de residencia térmica permite preservar propiedades sensoriales y nutricionales, mientras que en la ingeniería química se valora su capacidad para minimizar el costo operativo sin comprometer la eficiencia de concentración. A pesar de su mayor complejidad, los beneficios energéticos y

operacionales justifican su implementación en líneas de producción continua.

Evaporadores con recompresión térmica y mecánica (TVR/MVR)

Las tecnologías modernas como la recompresión térmica (TVR) y la recompresión mecánica de vapor (MVR) han revolucionado los procesos de evaporación, permitiendo una eficiencia térmica cercana al 90 %. Estas técnicas reutilizan el vapor generado para realimentar el sistema, reduciendo drásticamente el requerimiento de vapor fresco externo (Atalar et al., 2024). En la recomposición mecánica de vapor, la alimentación fría se calienta hasta el punto de ebullición y se bombea a un calentador, el vapor liberado se comprime a una presión ligeramente superior, transformándose en vapor y alimentando el calentador (Atalar et al., 2024). El consumo puede descender hasta 0.1–0.2 kg de vapor por kg de agua evaporada, siendo ideal para productos altamente sensibles al calor como lácteos UHT, producción de leche en polvo, extractos vegetales o soluciones farmacéuticas (Tsochatzidi et al., 2024; Zhang et al., 2018). En la industria química, los evaporadores MVR se utilizan en el tratamiento de aguas residuales industriales (TAR), en la producción de glicerina refinada, y en procesos de recuperación de disolventes valiosos, optimizando así la eficiencia del sistema y reduciendo el impacto ambiental (Li et al., 2022).

Este tipo de evaporador, aunque implica mayor inversión inicial y sofisticación tecnológica, resulta rentable en procesos de gran volumen o en industrias con restricciones ambientales, debido a la notable reducción de emisiones. A parte, ofrece ventajas significativas como el bajo consumo de energía y mejora de las plantas de evaporación sin necesidad de un generador

de vapor, alto nivel de control automático, alta calidad del producto y larga vida útil (Saroglu y Karadag, 2024).

Parámetros que afectan al funcionamiento del evaporador: Viscosidad

A medida que aumenta la concentración, también lo hace la viscosidad, lo que disminuye la transferencia de calor y aumenta la caída de presión en los tubos del evaporador, lo cual puede afectar su eficiencia (Fleer et al., 2021). Además, los alimentos con mayor viscosidad permanecen más tiempo en contacto con superficies calientes, lo que puede provocar mayores daños por calor. En consecuencia, la selección del tipo de evaporador adecuado para un alimento líquido específico adquiere gran importancia (Auerbach et al., 2008).

Coefficiente de transferencia de calor del equipo y del producto

El coeficiente global de transferencia de calor (U) con unidades depende de la naturaleza del producto y del diseño del equipo. Viscosidades altas, incrustaciones o espumas reducen este valor y obligan a aumentar el diferencial de temperatura para mantener la operación (Geankoplis, 2003).

Punto de ebullición elevado

Algunas soluciones, especialmente salinas o ácidas, presentan un punto de ebullición más alto. Esto requiere más energía y puede generar problemas de incrustaciones y pérdidas térmicas (McCabe et al., 2005). En ingeniería química, esto se presenta en evaporación de sulfatos, álcalis y fosfatos.

Parámetros que afectan a la calidad del producto final: Transferencia de calor y tiempo de residencia

La eficiencia del proceso de evaporación depende en gran medida del coeficiente global de transferencia de calor, que varía según la

viscosidad del producto, la configuración del intercambiador y las condiciones del flujo. En productos altamente viscosos, como el concentrado de tomate o jarabes, se presenta formación de costras que reducen la eficiencia térmica y provocan degradación localizada del producto (Heldman y Lund, 2006). El tiempo de residencia térmica también es determinante. Un tiempo prolongado a temperaturas elevadas promueve reacciones no deseadas como el oscurecimiento enzimático, la desnaturalización de proteínas o la pérdida de compuestos volátiles, generando productos con menor valor nutricional o sensorial (Deeth, 2007).

Efectos térmicos sobre componentes volátiles

El calor puede provocar la pérdida irreversible de aromas y compuestos volátiles, como ésteres o aldehídos. Esto es especialmente crítico en jugos cítricos, café, chocolate líquido o aceites esenciales (Fellows, 2017). Durante la evaporación, algunos componentes se pierden en mayor medida que otros. En consecuencia, la “nota” característica de un zumo de fruta puede verse alterada cuando se concentra por evaporación. En el caso del zumo de piña, por ejemplo, la eliminación del 90% de los ésteres requiere una evaporación del 80%, mientras que la pérdida del 90% de los carbonilos se produce con sólo un 47% de evaporación (Ramteke et al., 1990). En ingeniería química, también se pierde eficacia cuando se evaporan disolventes orgánicos con fines de recuperación.

Diferencia de temperatura mal controlado

Excesivos diferenciales de temperatura generan sobrecalentamiento localizado, lo que deriva en la pérdida de color, oxidación de lípidos o caramelización no deseada. Es común en alimentos con azúcares reductores y en soluciones químicas orgánicas (Heldman y Lund, 2006). Una mayor temperatura del vapor

implica una mayor temperatura de la pared y un mayor riesgo de daños térmicos al producto en contacto directo con la pared, especialmente si la transferencia de calor en el lado del producto no es lo suficientemente rápida (falta de turbulencia, productos muy viscosos). Esta acción implica mayor presión de vapor y una estructura mecánicamente más resistente y costosa (Berk, 2018).

Sostenibilidad y eficiencia energética

El alto consumo energético de los sistemas de evaporación tradicionales ha llevado a una búsqueda activa de procesos más sostenibles. Los enfoques de integración térmica, uso de vapor secundario y diseño de sistemas híbridos permiten reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y los costos operativos (Kulkarni, 2015). En este sentido, la industria química ha adoptado más rápidamente estas tecnologías, motivada por regulaciones ambientales más estrictas y mayores volúmenes de producción. La industria alimentaria también ha mostrado avances, aunque sus limitaciones están ligadas a la necesidad de conservar características sensoriales delicadas. A partir de la comparación de datos cualitativos y cuantitativos, ambas industrias dependen ampliamente de la evaporación, aunque con enfoques distintos. La industria alimentaria emplea la evaporación en un 85 % de sus procesos intermedios y finales, especialmente en el sector lácteo, jugos y dulces, mientras que la industria química mantiene una tasa de uso del 75%, con mayor presencia en procesos de recuperación y tratamiento de corrientes residuales (Deeth, 2007; Hackett, 2018). No obstante, al comparar la búsqueda de sostenibilidad, la industria química ha mostrado una mayor inversión en tecnologías de recuperación energética e integración térmica, alcanzando un enfoque de sostenibilidad

cercano al 90%, motivado por regulaciones ambientales más estrictas y el alto costo energético de sus operaciones (Díaz et al., 2013; Kulkarni, 2015). En ambas ingenierías, se destaca la necesidad de monitoreo continuo de parámetros como la presión de operación, temperatura de ebullición y composición del producto para evitar pérdidas innecesarias. También se sugiere implementar tecnologías de control automatizado y diseños térmicamente integrados que reduzcan el tiempo de residencia y mantengan una transferencia de calor uniforme, elementos claves en la conservación de la calidad.

Conclusiones

La evaporación es una operación crítica en procesos industriales que requieren concentración, estabilización o recuperación de componentes sin comprometer la integridad del producto. Tanto en ingeniería química como alimentaria, su adecuada implementación incide directamente en la eficiencia operativa, el consumo energético y la calidad fisicoquímica del resultado final. El uso de tecnologías como los evaporadores de múltiple efecto, TVR y MVR ha permitido superar limitaciones tradicionales, optimizando la economía del vapor y reduciendo las pérdidas térmicas. Los hallazgos de este estudio demuestran que, si bien las dos industrias analizadas comparten principios operativos comunes, sus objetivos estratégicos divergen, en la industria alimentaria se busca preservar los atributos nutricionales y sensoriales; en la industria química, se privilegia la recuperación de insumos y el cumplimiento de normativas ambientales. La sostenibilidad, por tanto, no depende exclusivamente de la tecnología empleada, sino del equilibrio entre diseño, control de variables térmicas y conocimiento profundo del producto tratado. Avanzar hacia una evaporación inteligente y adaptable es clave

para enfrentar los desafíos industriales del presente y del futuro.

Referencias Bibliográficas

- Atalar, I., Tugrul, K., Gorgulu, A., & Konar, N. (2024). Vapor recompression systems for food processing evaporators. In *Evaporation technology in food processing*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818764-7.00009-8>
- Auerbach, P., Donner, H., & Weiss, E. (2008). *Field guide to wilderness medicine*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-4698-1.50001-1>
- Aurelio, M., Padilla, R., Manuel, J., González, G., Serrano, B., Guadalupe, R., Flores, F., & Moreno, G. (2008). Simulación de un evaporador de doble efecto: jarabe de azúcar. *Revista Investigación Científica*, 4(2).
- Barbosa, G., Vega, H., & Ibarz, A. (2000). *Deshidratación de alimentos*. Acribia.
- Berk, Z. (2009). Evaporation. In *Food process engineering and technology* (pp. 429–458). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373660-4.00021-1>
- Berk, Z. (2018). *Food process engineering and technology*. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03186-8>
- Bonilla, S., Acosta, J., Miño, G., Noguera, A., & Moreno, M. (2019). Operaciones unitarias: evaporadores en la elaboración de productos alimenticios. *Ciencia Digital*, 3(2), 548–560. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.451>
- Carchi, T., Gonzaga, J., & Bravo, M. (2024). Innovación en evaporación al vacío para recuperación de solventes: revisión. *Revista Veritas de Difusión Científica*, 5(2), 1447–1461. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i2.152>
- Deeth, H. (2007). Reseña de *Food processing: Principles and applications*. *International Journal of Dairy Technology*, 60(2), 155. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2007.00310.x>
- Díaz, C., Galván, E., Ramos, E., & Castillo, F. (2013). Metodología para diseño óptimo de evaporadores de película descendente. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(3).
- Díaz, C., & Jafari, S. (2023). Multiple-effect evaporators in the food industry. *Food Engineering Reviews*, 15(4). <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09350-6>
- Fellows, P. (2017). Evaporation and distillation. In *Food processing technology* (pp. 623–658). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100522-4.00013-4>
- Fleer, A., Richter, M., & Span, R. (2021). Heat transfer in highly viscous binary fluids. *Heat and Mass Transfer*, 57(12). <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03087-w>
- Forero, F., & Vélez, C. (2013). Optimización de evaporación osmótica de jugo de maracuyá. *DYNA*, 80(179).
- García, H., Peña, A., López, R., Durán, E., & Olvera, G. (2011). Sistema de evaporación múltiple para panela. AGROSAVIA.
- Geankoplis, C. (2003). *Transport processes and separation process principles*. Prentice Hall.
- Hackett, B. (2018). The essentials of continuous evaporation. *Chemical Engineering Progress*, 114(5).
- Heldman, D., & Lund, D. (2006). *Handbook of food engineering* (2nd ed.).
- Higa, M., Freitas, A., Bannwart, A., & Zemp, R. (2009). Thermal integration of double-effect evaporator. *Applied Thermal Engineering*, 29(2–3). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.03.009>
- Kulkarni, S. (2015). Review on research in evaporators. *International Journal of Research and Review*, 2.
- Li, J., Si, Z., Han, D., & Hang, Z. (2022). Thermo-economic optimization of batch evaporation. *Desalination*, 532, 115735. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115735>
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2005). *Unit operations of chemical engineering* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Mojarab, M., Dadak, A., Hosseini, S., Nasiri, F., Dowlati, M., Tahmasebi, M., & Aghbashlo, M. (2016). Exergy analysis of tomato paste

- plant. *Energy*, 111.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.030>
- Nha, V. (2025). Tecnología de evaporación: beneficios e innovaciones. *Vina NhaTrang*.
- Ortolá, M., Fito, P., & Castro, M. (2018). Tipos de evaporadores en la industria alimentaria. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Ramteke, R., Eipeson, W., & Patwardhan, M. (1990). Aroma volatiles during evaporation of juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50(3).
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740500312>
- Rodriguez, G. (2008). Diversificación productiva en agroindustria panelera. *Cahiers Agricultures*, 17(6).
<https://doi.org/10.1684/agr.2008.0246>
- Saravacos, G., & Kostaropoulos, A. (2016). *Design of food processes and food processing plants*.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5_1
- Saroglu, O., & Karadag, A. (2024). Multiple-effect evaporators. In *Evaporation technology in food processing* (pp. 57–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818764-7.00004-9>
- Smith, P. (2011). *Introduction to food process engineering*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7662-8>
- Tadini, C., Telis, V., Meirelles, A., & Pessoa, P. (2015). *Operações unitárias na indústria de alimentos* (Vol. 1).
- Tsochatzidi, A., Arvanitidis, A., & Georgiadis, M. (2024). Optimization of energy in milk evaporators. *Processes*, 12(1).
<https://doi.org/10.3390/pr12010209>
- Zhang, Y., Munir, M., Udugama, I., Yu, W., & Young, B. (2018). Modelling falling-film milk evaporator. *Journal of Food Engineering*, 225.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.016>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Tanya Alexandra Carchi Tandazo, Lenny Alexia Maldonado Delgado, Jonathan Josue Echeverria Gia y Genesis Alexa Zegarra Cabrera.

