



JABONES ARTESANALES CON EXTRACTOS ANTIOXIDANTES: entre ciencia, tradición y beneficios para la piel.

Naella Sandivel Valencia Pérez ^{*1}, Genaro Iván Cerón Móntes ¹.

¹Centro de Cooperación Academia Industria, Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera Federal México-Pachuca km 37.5, Predio Sierra Hermosa, Tecámac Edo. Méx.

Autor de correspondencia: naellavalenciap@gmail.com



RESUMEN

Este trabajo explora la elaboración del jabón artesanal como una práctica tradicional con fundamentos científicos. Se describen los procesos de saponificación, el papel de los ácidos grasos en las propiedades físicas del jabón y la importancia del índice de saponificación para el desarrollo de fórmulas equilibradas. Asimismo, se analiza la incorporación de extractos vegetales ricos en antioxidantes y su estabilidad durante el curado. Se destaca el potencial de estos jabones en el cuidado de la piel, y se reconoce que existe un amplio campo de estudio para validar científicamente sus beneficios antioxidantes a largo plazo.

Palabras clave: Jabón artesanal, saponificación, ácidos grasos, álcali y antioxidantes

ABSTRACT

This work explores the elaboration of handcrafted soap as a traditional practice supported by scientific principles. It describes the saponification process, the role of fatty acids in the physical properties of soap, and the importance of the saponification index for developing balanced formulations. The inclusion of plant extracts rich in antioxidants and their stability during the curing stage is also discussed. The potential of these soaps in skin care is highlighted, and it is acknowledged that there is a broad field of research to scientifically validate their long-term antioxidant benefits.

Keywords: Handmade soap, saponification, fatty acids, alkali, and antioxidants.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los jabones artesanales elaborados con extractos naturales han ganado una notable popularidad en México, tanto entre consumidores que buscan productos más amigables con su piel, como entre emprendedores que encuentran en su fabricación una opción creativa y rentable. Su elaboración puede realizarse mediante saponificación en frío o en caliente, lo que permite una gran versatilidad en el uso de ingredientes y en las propiedades cosméticas del producto final.

Más allá de su valor estético y artesanal, estos jabones destacan por incorporar compuestos bioactivos como los polifenoles, presentes en extractos vegetales, que actúan como antioxidantes naturales capaces de combatir el daño oxidativo y retrasar el envejecimiento cutáneo

(Rambabu *et al.*, 2020). La calidad del jabón también está determinada por los ácidos grasos presentes en los aceites utilizados, ya que estos influyen directamente en su dureza, textura, capacidad de formación de espuma y suavidad al tacto (Febriani *et al.*, 2021).

Este artículo ofrece una visión integral sobre la evolución del jabón, los métodos tradicionales de fabricación artesanal, la relevancia de los ácidos grasos en su formulación y el potencial de los antioxidantes naturales como aditivos funcionales. Se analizan también los desafíos que plantea su incorporación, como la estabilidad durante el curado, y se destaca la necesidad de más estudios que respalden científicamente sus beneficios a largo plazo en la salud de la piel.

de aceite de oliva, cenizas y perfumes naturales (Forbes y Leiden, 1955). A partir del siglo XIII, su producción comenzó a regularse en Inglaterra, donde se gravó con impuestos, lo que impulsó una fabricación más controlada y con fines comerciales (Routh *et al.*, 1996).

Hasta la Edad Media, la fabricación de jabón se basó en la cocción de cenizas de plantas y grasas en agua, proceso que evolucionó con el tiempo (Forbes y Leiden, 1955). En el siglo XIX, América del Norte llevó la producción del jabón de lo artesanal a lo industrial, recolectando grasas de desecho y elaborándolo en grandes calderas al aire libre, como se muestra en la Figura 1. El jabón resultante se vertía en moldes de madera, se cortaba en barras y se dejaba curar antes de ser comercializado por vendedores ambulantes. Este proceso marcó la transición de un producto artesanal a un artículo de consumo masivo (P&G, 1881)(P&G, 1990).

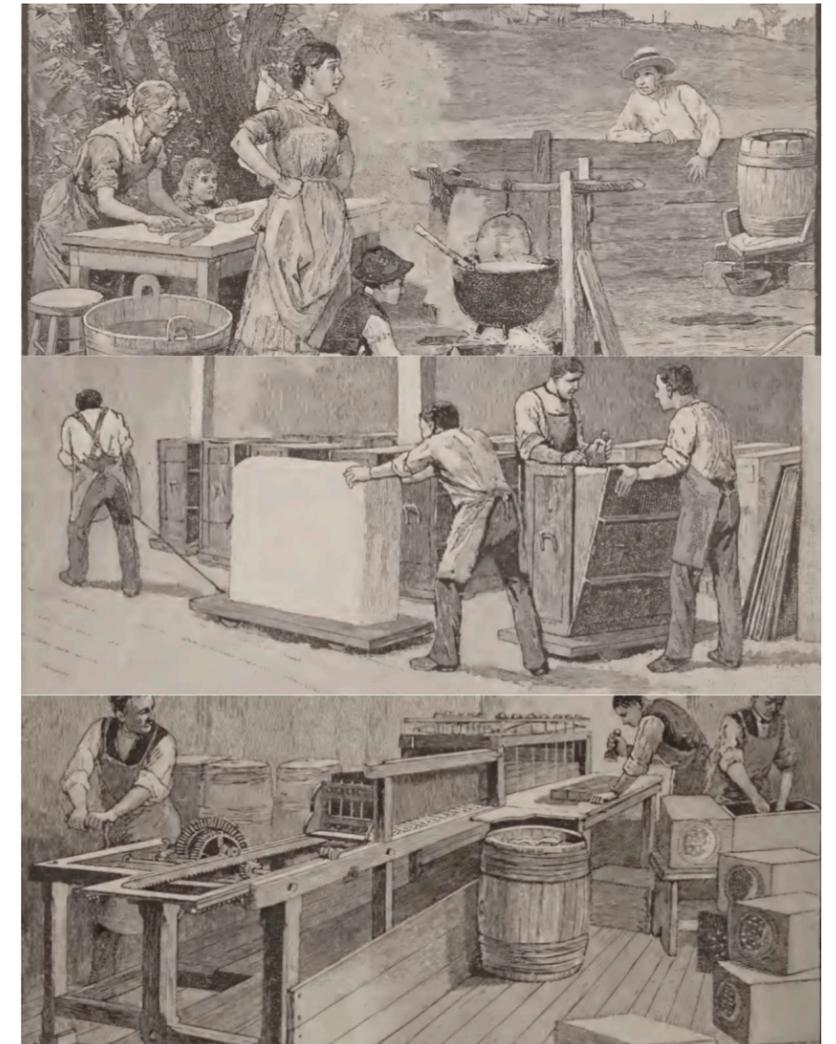


Figura 1. Proceso industrial temprano de fabricación de jabón en Procter & Gamble, Cincinnati, U.S.A. La imagen muestra tres etapas clave del proceso de producción de jabón a finales del siglo XIX: (1) la cocción al aire libre de grasas y álcalis en grandes calderas, (2) el vaciado del jabón fundido en moldes rectangulares para formar bloques sólidos, y (3) el corte manual de estos bloques en barras más pequeñas para su distribución y venta. Fuente: (P&G, 1881)

LA HISTORIA DEL JABÓN

El jabón ha acompañado a la humanidad por más de 3,000 años, aunque su origen exacto es incierto. Los primeros registros escritos datan del 2800 a.C. en Babilonia, donde se usaba una mezcla de grasas y cenizas para limpiar textiles y con fines medicinales. Una leyenda romana sugiere que fue descubierto accidentalmente en el Monte Sapo, cuando las grasas animales de los sacrificios se mezclaron con cenizas y fueron arrastradas por la lluvia, creando una sustancia jabonosa en las orillas del río Tíber (Routh *et al.*, 1996).

El término "soap" proviene del latín *sapo* (P&G, 1881);(P&G, 1990);(Routh *et al.*, 1996), nombre que los celtas daban a su mezcla de grasa animal y cenizas vegetales.

Aunque griegos y romanos preferían los aceites para el aseo personal, eventualmente adoptaron la técnica jabonera de los pueblos del norte de Europa (Heredity, 1891). Durante la Edad Media, la fabricación de jabón evolucionó a partir de la cocción de grasas y cenizas en agua, manteniéndose como un proceso artesanal y doméstico en diversas culturas.

El auge de la jabonería en Europa comenzó entre los siglos VII y IX en regiones como Italia y España entre los años 700 y 800 d.C, con la aparición del célebre jabón de Castilla, elaborado a base



3

MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE JABÓN ARTESANAL

Existen tres métodos principales para la fabricación de jabones artesanales, cada uno de ellos varía en complejidad, tiempo de elaboración y características del producto final.

3.1 Jabón a partir de base de glicerina

Este método emplea una barra de jabón preelaborada, de color blanco o translúcida y sin aroma, que se funde a baño maría y se mezcla con esencias, colorantes y extractos naturales. Luego, se vierte en moldes hasta solidificar (Borkar, 2023). Es una técnica sencilla y segura, ideal para principiantes, ya que no implica el manejo

de sustancias cáusticas. Una de sus principales ventajas es que el jabón puede utilizarse en menos de dos horas tras su solidificación. Sin embargo, su formulación depende de una base comercial cuyo contenido no siempre es totalmente personalizable.

3.2 Saponificación en frío

La saponificación en frío es un proceso que ocurre a temperatura ambiente y consiste en mezclar ácidos grasos con un álcali (hidróxido de sodio, NaOH, o hidróxido de potasio, KOH) hasta que se produce la reacción de saponificación, generando una mezcla de consistencia viscosa. En esta reacción, las grasas o aceites reaccionan con el álcali para formar jabón y glicerina (Borkar, 2023). En este punto, se agregan extractos de plantas, aceites esenciales y fragancias sin que estos se degraden por el calor.

Una vez vertida en moldes, la mezcla debe reposar durante al menos 24 horas para solidificar y, posteriormente, pasar por un proceso de curado de aproximadamente cuatro semanas. Este periodo permite que el álcali se neutralice y sea seguro para la piel, que el exceso de agua se evapore, que la textura y consistencia mejoren, que el pH se estabilice entre 8 y 10, y que el jabón desarrolle un mejor rendimiento en espuma y limpieza. A pesar de su mayor duración, este método permite un control total sobre la formulación y la calidad final del producto (Félix *et al.*, 2017).



3.3 Saponificación en caliente

Este método acelera la reacción de saponificación mediante la aplicación de calor, reduciendo el tiempo de producción. Al igual que en la saponificación en frío, se parte de una mezcla de ácidos grasos con un álcali, usualmente hidróxido de sodio (NaOH). Esta mezcla se calienta en baño maría o en una olla de cocción lenta, alcanzando temperaturas entre 70 y 100 °C. Durante la cocción, debe removerse constantemente hasta alcanzar una textura espesa, similar a un puré de manzana, transformándose gradualmente en una pasta brillante y uniforme.

Tras medir el pH (8-10) y reducir la temperatura, se agregan aditivos sensibles al calor, como aceites esenciales, fragancias o extractos vegetales, cuidando que la temperatura haya descendido lo suficiente para evitar su degradación. Los ingredientes añadidos deben representar entre el 0.5 % y el 3 % del peso total para evitar afectar la dureza y durabilidad del jabón (Rambabu *et al.*, 2020).

Una de sus principales ventajas es que el jabón puede usarse transcurridas 24 horas, ya que el álcali ha reaccionado completamente (Borkar, 2023). Sin embargo, algunos artesanos del jabón recomiendan dejarlo secar de una a dos semanas para mejorar su firmeza y duración (Rambabu *et al.*, 2020). La Figura 2 muestra fotografías de jabones producidos mediante los tres métodos descritos, destacando las diferencias en su apariencia y textura.



Figura 2. Tres tipos de jabones artesanales elaborados con distintas técnicas: a) base de glicerina, b) saponificación en frío y c) saponificación en caliente. Las diferencias en textura, firmeza, color y brillo reflejan el impacto del método de elaboración. Los jabones de glicerina, por ejemplo, muestran colores más intensos y acabados brillantes. Fuente: Elaboración propia.

4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL JABÓN ARTESANAL: ÁCIDOS GRASOS Y SU IMPACTO

Una de las preguntas más comunes entre los fabricantes de jabón artesanal es: ¿Qué cantidad de álcali se debe agregar a la fórmula? La respuesta es clave, ya que la cantidad de base (NaOH) o (KOH) no solo influye en la seguridad del producto final, sino también en su textura, estabilidad, durabilidad y calidad cosmética. Para determinar correctamente esta cantidad, se emplea el índice de saponificación, que indica los gramos de (NaOH) o (KOH) necesarios para saponificar un gramo de un ácido graso específico ver tabla 1 (Santos *et al.*, 2020); (Jiménez *et al.*, 2001); (Benjumea *et al.*, 2004); (Chavez, 2020); (Baque *et al.*, 2023). La Tabla 1 muestra ejemplos representativos de índices de saponificación de diferentes aceites y grasas comunes en la jabonería artesanal. Además, el tipo de álcali utilizado define la textura del producto:

mientras que el NaOH produce jabones sólidos, el KOH se emplea para obtener jabones líquidos o más suaves (Prieto *et al.*, 2018).

Los ácidos grasos, componentes principales de los aceites vegetales y grasas animales, son las moléculas responsables de la formación del jabón (ver Figura 3). Su estructura está compuesta por largas cadenas de átomos de carbono e hidrógeno con un grupo carboxilo (-COOH) en uno de sus extremos. Se clasifican, en función de su estructura química, en saturados e insaturados, y esta clasificación influye directamente en las propiedades físicas del jabón, como su dureza, estabilidad y capacidad de hidratación (Cavalheiro *et al.*, 2023); (Ivanova *et al.*, 2022).

Tipo de ácido graso	Fuentes Principales	Estado Físico del Jabón	Dureza	Espuma	Hidratación	Índice de Saponificación (gramos de NaOH por cada gramo de ácido graso)	Índice de Saponificación (gramos de KOH por cada gramo de ácido graso)	Referencia
Ácido Láurico (Saturado)	Aceite de coco	Sólido	alta	abundante	baja	0.170	0.239	(Santos <i>et al.</i> , 2020)
Ácido Palmítico (Saturado)	Aceite de palma	Sólido	alta	baja	baja	0.138	0.194	(Benjumea <i>et al.</i> , 2004)
Ácido Oleico (Monoinsaturado)	Aceite de aguacate	Líquido	media	cremosa	media	0.134	0.189	(Jiménez <i>et al.</i> , 2001)
Ácido Linoleico (Poliinsaturado)	Aceite de linaza	Líquido	baja	suave	alta	0.79	0.112	(Chavez, 2020)
Ácido Linolénico (Poliinsaturado)	Aceite de chía	Líquido	baja	suave	alta	0.87	0.113	(Chavez, 2020)
Ácido Ricinoleico (Monoinsaturado)	Aceite de ricino	Líquido	media	densa	alta	0.131	0.169	(Baque <i>et al.</i> , 2023)

Tabla 1. Relación entre el tipo de ácido graso, sus fuentes y propiedades cosméticas del jabón artesanal, junto con los índices de saponificación requeridos.

Ácidos grasos saturados



Ácidos grasos insaturados



Fuentes vegetales usados en jabonería artesanal

Figura 3. Fuentes vegetales de ácidos grasos saturados e insaturados usados en jabonería artesanal. Los saturados aportan dureza y estabilidad; los insaturados, suavidad e hidratación. Fuente: Elaboración propia.



4.1 Tipos de ácidos grasos y su función en el jabón

Ácidos grasos saturados: No presentan dobles enlaces y son sólidos a temperatura ambiente. Aportan mayor dureza, buena formación de espuma compacta y alta estabilidad oxidativa al jabón. Son ideales para mejorar la vida útil del producto. Los ácidos grasos insaturados: Presentan uno o más dobles enlaces en su cadena y son líquidos a temperatura ambiente. Se dividen en dos grupos:

- Monoinsaturados: Poseen un solo doble enlace. Aportan suavidad, emoliencia e hidratación, sin comprometer tanto la estabilidad del producto.
- Poliinsaturados: Contienen dos o más dobles enlaces. Contribuyen a la nutrición y regeneración de la piel, pero son más propensos a oxidarse y enranciarse, por lo que deben emplearse en menor proporción o estabilizarse con antioxidantes como la vitamina E (Zahran, 2024).

Para lograr una formulación equilibrada, se recomienda combinar distintos tipos de ácidos grasos, con énfasis en mantener un balance entre dureza, limpieza, suavidad e hidratación. En especial, los aceites con alto contenido de poliinsaturados deben emplearse con precaución, complementándolos con antioxidantes naturales o sintéticos que eviten su degradación (Zahran, 2024).

5

EL PAPEL DE LOS ANTIOXIDANTES EN LOS JABONES ARTESANALES

Los antioxidantes son compuestos esenciales en la elaboración de jabones artesanales, especialmente cuando se emplean aceites ricos en ácidos grasos insaturados. Estos compuestos, si bien aportan suavidad e hidratación a la piel, son más susceptibles al proceso de oxidación, lo que puede llevar al enranciamiento del jabón, reducción en su calidad cosmética, alteración del color y mal olor (Ahmad *et al.*, 2018); (Adigun *et al.*, 2019).

Los antioxidantes actúan como agentes estabilizantes, al prevenir o retardar la oxidación de los lípidos presentes en la fórmula. Su incorporación en la fase final del proceso de saponificación, ya sea en frío o caliente, protege los compuestos más sensibles como los aceites esenciales, extractos botánicos y vitaminas, los cuales pueden perder eficacia o degradarse si se exponen a temperaturas elevadas o a un entorno alcalino por tiempo prolongado (Phansi *et al.*, 2024)(Zahran, 2024). Este efecto puede mitigarse con el uso adecuado de antioxidantes, como los que se observan en la Figura 4.

Fuente natural	Método de elaboración artesanal	% de extracto natural utilizado	Referencia
Café arábigo, hojas de morera y café molido	Base de jabón de glicerina	No indica	(Phansi <i>et al.</i> , 2024)
Ciruela roja y negra	Saponificación en caliente	5%	(Febriani <i>et al.</i> , 2021)
Residuos de jarabe de dátil (DSW)	Saponificación en frío	3%	(Rambabu <i>et al.</i> , 2020)
Bayas silvestres (baya de perdiz y romero)	Saponificación en frío	0.05%	(Adigun <i>et al.</i> , 2019)
Hojas de palma aceitera en polvo (OPAL)	Saponificación en caliente	0.1% y 0.5%	(Adigun <i>et al.</i> , 2018)

Tabla 2. Extractos antioxidantes de plantas utilizadas para la elaboración de jabones artesanales.



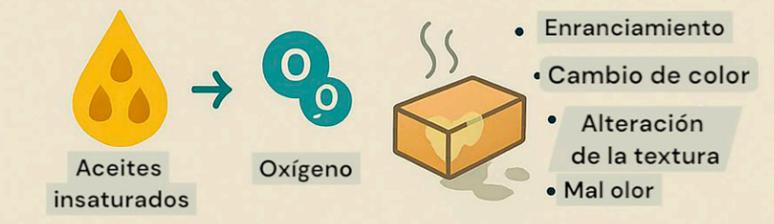
Los antioxidantes utilizados pueden ser de origen natural o sintético. Entre los más comunes es la vitamina E (tocoferol). Se incorpora en pequeñas cantidades (0.5-1%) para prevenir el enranciamiento de aceites ricos en poliinsaturados como el de semilla de uva, girasol o linaza (Zahran, 2024). Algunos de estos antioxidantes naturales, sus fuentes y efectos se resumen en la Tabla 2.

En formulaciones más técnicas o comerciales, pueden utilizarse antioxidantes sintéticos como BHT (butilhidroxitolueno) o BHA (butilhidroxianisol), aunque su uso ha sido objeto de discusión debido a posibles efectos adversos, por lo cual muchas formulaciones artesanales los evitan (Ahmad *et al.*, 2018);(Adigun *et al.*, 2019).

La eficacia de los antioxidantes no solo depende de su tipo, sino también del momento y forma en que se agregan a la mezcla. Idealmente, deben incorporarse al final del proceso de mezcla, justo antes de verter en moldes, para evitar su descomposición. Además, el almacenamiento en recipientes opacos y herméticos contribuye a prolongar la estabilidad del producto.

El papel de los antioxidantes en los jabones artesanales

¿Por qué se oxidan los jabones?



¿Cómo actúan los antioxidantes?



Antioxidantes naturales comunes

 Vitamina E Previene el enranciamiento	 Extracto de semilla de uva Protege aceites esenciales	 Romero Efecto conservante	 Vitamina C Refuerzo antioxidante
--	--	--	---

Figura 4. Antioxidantes naturales usados en jabonería artesanal para prevenir el enranciamiento de aceites ricos en ácidos grasos insaturados. Su incorporación protege compuestos sensibles como aceites esenciales y extractos botánicos, preservando las propiedades cosméticas del jabón. Se recomienda agregarlos al final del proceso para evitar su degradación por calor o alcalinidad. Fuente: Elaboración propia.

6 CONCLUSIÓN

La elaboración de jabones artesanales combina tradición y ciencia para crear productos sustentables, seguros y personalizados. Los métodos de saponificación en frío, caliente y con base de glicerina ofrecen opciones accesibles, cada una con ventajas en tiempo, control de ingredientes y propiedades cosméticas.

El uso de extractos naturales y antioxidantes como la vitamina E mejora la estabilidad y funcionalidad del jabón, aunque aún se requiere validar sus efectos a largo plazo. La jabonería artesanal es una vía para conectar ciencia, bienestar y cultura, con potencial biotecnológico y económico.

7 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Tecámac (UTTEC) por su apoyo al contribuir al desarrollo de una línea de investigación en este campo. Asimismo, se reconoce al emprendimiento de cosmética natural "Naella" por proporcionar las fotografías de sus productos, enriqueciendo la presentación de este trabajo.



REFERENCIAS

Adigun, O., Manful, C., Vidal, N. P., Mumtaz, A., Pham, T. H., Stewart, P., Nadeem, M., Keough, D., & Thomas, R. (2019). Use of natural antioxidants from newfoundland wild berries to improve the shelf life of natural herbal soaps. *Antioxidants*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/antiox8110536>

Ahmad, N., Hasan, Z. A. A., Muhamad, H., Bilal, S. H., Yusof, N. Z., & Idris, Z. (2018). Determination of total phenol, flavonoid, antioxidant activity of oil palm leaves extracts and their application in transparent soap. *Journal of Oil Palm Research*, 30(2), 315–325. <https://doi.org/10.21894/jopr.2018.0010>

Baque P., G., Intriago F., A., García M., S., Burgos B., G., & García V., G. (2023). Epoxidación de aceite de higuera (Ricinus communis) De la provincia de manabí-ecuador. *InfoANALÍTICA*, 11(1), 9–30. <https://doi.org/10.26807/ia.v11i1>.

Benjumea, P., Agudelo, J., & Cano, G. (2004). Estudio Experimental De Las Variables Que Afectan La Reacción Transesterificación Del Aceite Crudo De Palma Para La Producción De Biodiesel. *Scientia et Technica*, 24, 169–174.

Borkar, D. (2023). A Research on Formulation and Evaluation of Herbal Soap. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 4(12), 4360–4367. <https://doi.org/ISSN 2582-7421>

Cavalheiro, N., Stadler, J. P., Giusti, E. D., Chendynski, L. T., & Gomes, S. I. A. A. (2023). Ecological soap production using green chemistry principles. *Acta Scientiarum - Technology*, 46(2004), 1–10. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v46i1.64409>

Chavez, E. V. (2020). *Physicochemical properties of oils from Salvia hispánica L., Linum usitatissimum and Plukenetia volubilis L.* 3(3), 42–48.

Febriani, Y., Mierza, V., & Septimar, E. (2021). Comparison Of Formulations And Antioxidant Activity Of Transparent Soap From Red And Black Plum (Prunus domestica L.). *Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam LLDikti Wilayah*, 1(2), 29–36. <https://doi.org/e-ISSN 2807-3142>

Félix, S., Araújo, J., Pires, A. M., & Sousa, A. C. (2017). Soap production: A green prospective. *Waste Management*, 66, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.036>

Forbes, R.J. Leiden, E. J. B. (1955). *Studies in Ancient Technology. Business History Review*, 3 vols. Pp(30(02)), 238–240. <https://doi.org/doi:10.2307/3111981>

Heredity, S. J. (1891). Heredity, Health and Personal Beauty. *The Journal of the American Medical Association*, XVII(4), 162. <https://doi.org/doi:10.1001/jama.1891.02410820038013>

Ivanova, M., Hanganu, A., Dumitriu, R., Tociu, M., Ivanov, G., Stavarache, C., Popescu, L., Ghendov-Mosanu, A., Sturza, R., Deleanu, C., & Chira, N. A. (2022). Saponification Value of Fats and Oils as Determined from 1H-NMR Data: The Case of Dairy Fats. *Foods*, 11(10), 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods11101466>

Jiménez, Elena M., Aguilar, M. Del. R., Zambrano, M. De La L., & Kolar, E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Revista de La Sociedad Química de México*, 45(2), 89–92.

P&G. (1881). Something about soap. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1, pp. 1–14). Press of Francis Hart & Co. New-York.

P&G. (1990). *Procter & Gamble Company (A)*. 9-854-047, 1–29.

Phansi, P., Raksaphakdee, S., & Duangsrikaew, K. (2024). Study on Antioxidant Activities of Soaps with Coffee Ground Extract and Soaps with Mixed Coffee Ground Extract and Mulberry Leaf Extract. *Science and Engineering Connect*, 47(1), 26–41. <https://doi.org/ISSN 3027-7914>

Prieto Vidal, N., Adeseun Adigun, O., Huong Pham, T., Mumtaz, A., Manful, C., Callahan, G., Stewart, P., Keough, D., & Horatio Thomas, R. (2018). The effects of cold saponification on the unsaponified fatty acid composition and sensory perception of commercial natural herbal soaps. *Molecules*, 23(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/molecules23092356>

Rambabu, K., Edathil, A. A., Nirmala, G. S., Hasan, S. W., Yousef, A. F., Show, P. L., & Banat, F. (2020). Date-fruit syrup waste extract as a natural additive for soap production with enhanced antioxidant and antibacterial activity. *Environmental Technology and Innovation*, 20, 101153. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101153>

Routh, H. B., Bhowmik, K. R., Parish, L. C., & Witkowski, J. A. (1996). Soaps: From the Phoenicians to the 20th century - A historical review. *Clinics in Dermatology*, 14(1), 3–6. [https://doi.org/10.1016/0738-081X\(95\)00101-K](https://doi.org/10.1016/0738-081X(95)00101-K)

Santos, J. C. O., Conceição, M. M., Santos Martins, J., Carlos, J., Santos, O., & Maria Da Conceicao, M. (2020). Comparative Study of Physico-Chemical Properties of Coconut Oil (Cocos nucifera L.) Obtained by Industrial and Artisanal Processes. *Article in BioTechnology: An Indian Journal*, 16(October). [https://doi.org/10.37532/tsbt.2020.16\(3\).210](https://doi.org/10.37532/tsbt.2020.16(3).210)

Zahran, H. A. (2024). From Fat to Foam: The Fascinating World of Soap Chemistry and Technology. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(6), 9–17. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2023.195358.7627>

