

REVISTA COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROINDUSTRIALES



E-ISSN:
2422-4456

Vol. 11 Núm. 2
Jul - Dic 2024



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

COMITÉ CIENTÍFICO

GILLERMO SALAMANCA GROSSO

Posdoctor en Ingeniería de Alimentos
Profesor Titular
Facultad de Ciencias, Departamento de Química
Universidad del Tolima
Ibagué, Colombia

JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ

PhD. en Ingeniería de Alimentos
Pontificia Universidad Javeriana
Cali - Colombia

ANA FUENTES LÓPEZ

PhD. en Ciencias de los Alimentos
Universidad Politécnica de Valencia, España.

RAMÓN GONZALO ARAGADVAY YUNGAN

PhD. En Veterinaria
Universidad Técnica de Ambato.
Ecuador.

JULIANA GAMBOA SANTOS

PhD.
Universidad Nacional de la Plata
Argentina

LUZ MARINA FLÓREZ PARDO

Ph.D.
Universidad Autónoma de Occidente.
Colombia.

JAVIER MAURICIO OBANDO ULLOA,

Ph.D.
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Costa Rica

ALESSANDRA LOPES DE OLIVEIRA

Ph.D.
Universidade de São Paulo.
Brasil.

GERMÁN AYALA VALENCIA

Ph.D.
Universidad Federal de Santa Catarina.
Brasil.

MANUEL CASTILLO ZAMBUDIO

Ph.D.
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).
España.

SIMÓN PÉREZ MARTÍNEZ

Ph.D.
Universidad Estatal de Milagro (UNEMI).
Ecuador.

ALEJANDRO ISABEL LUNA MALDONADO

Ph.D.
Universidad Autónoma de Nuevo León
Mexico.

RAMÓN FELIPE MOREIRA MARTÍNEZ

Ph.D.
Universidad de Santiago de Compostela
España.

COMITÉ EDITORIAL

JOSÉ LIBARDO TAPIERO CUÉLLAR

Editor Jefe
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

JOSÉ EDISON ESCOBAR SALCEDO

Editor de Asociado
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

ADRIANA PAOLA BONILLA SÁNCHEZ

Gestora Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

JOVANY PERTÚZ CRESPO

Auxiliar Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

ISSN electrónico: 2422-4456
Julio - Diciembre 2024

REVISTA COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROINDUSTRIALES VOL.11 NÚM 2 JULIO-DICIEMBRE 2024

La Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales con ISSN 2422-4456 es una revista científica de acceso abierto digital, que publica artículos de investigación originales nacionales e internacionales. La RCIA, da prioridad a la calidad de sus publicaciones tanto científicas como tecnológicas cubriendo las siguientes líneas de investigación:

Ciencias Agroalimentarias (Alimentos 4.0), **Metabolitos Secundarios** (Bioprocesos en alimentos), **Biotechnología Agropecuaria** (Economía Aplicada), **Vida Apícola** y **Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial**.

Copyright

La publicación de los artículos en la Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales es responsabilidad de los autores, los artículos publicados vía electrónica están autorizados por los autores mediante cesión derechos de autor.

Calidad editorial y propiedad intelectual

La Revista se acoge a una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

Esta licencia permite que otros puedan descargar las obras y compartirlas con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se pueden cambiar de ninguna manera ni se pueden utilizar comercialmente. Para más información remitirse al sitio web: <http://co.creativecommons.org/tipos-de-licencias/>



Indexada en:



Redes sociales:



TABLA DE CONTENIDO

Artículo de Reflexión

- Evolución del etiquetado nutricional y frontal: hitos históricos en Colombia y el mundo
María Patricia López-Ramírez, Erika Evelia Celis-Rozo.....1

Ciencias Agroalimentarias (Alimentos 4.0)

- Development of dark chocolate with inulin and sweetened with stevia extract obtained by pressurized hot water
Juan José Hinojosa-González, Santiago Moisés Gallegos-Tintoré, Arturo Francisco Castellanos-Ruelas, Luis Antonio Chel-Guerrero, David Abram Betancur-Ancona.....32

Metabolitos Secundarios (Bioprocesos en Alimentos)

- Overproduction of gamma-aminobutyric acid and increased antioxidant capacity by *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4 through optimization by response surface methodology
Doryan Osmara Orantes-Pérez, Alfredo Vázquez-Ovando, Rito Coronel-Niño, Gemelli López-Martínez, Sonia Ruiz-González, David Mejía-Reyes.....48

Artículo de Revisión

- Operaciones unitarias para la producción de chocolate negro, con leche y blanco. Una revisión sistemática
Franklin Rolando Villafuerte-Carrillo, David Sancho-Aguilera, Miguel Ángel Enríquez-Estrella, Edwin Fernando Basantes-Basantes, Hernán Patricio Ruiz-Mármol.....64

- Aprovechamiento de crías de abeja melífera con potencial alimentario sostenible en Yucatán, México
Daniel García-López, Yolanda Moguel-Ordóñez, Luis Antonio Chel-Guerrero, David Abram Betancur-Ancona.....87

- Etiquetado nutricional: revisión de su enfoque integral en la alimentación y la salud
Juan Sebastián Ramírez-Navas, Katherine Rojas Renjifo, Sandra Milena Ramírez-Guzmán, Fressia Jaramillo López.....107

Ciencias Agroalimentarias (Alimentos 4.0)

- Efecto de tratamientos térmicos por inmersión en características fisicoquímicas de dátil cv. Mejhoul durante el almacenamiento en poscosecha
Anabel Geronimo Cruz, Raúl Enrique Valle-Gough, Fidel Núñez Ramírez, Daniel González Mendoza, Olivia Tzintzun Camacho, René Garroña Hernández, Blanca Yesenia Samaniego-Gámez.....133

- Technological properties of pork in sausage production: comparison of trimmings obtained from animals of meat, meat-lard and lard breeds
Elena Franko, Liubov Voitsekhivska, Liana Nedorizaniuk, Sergii Verbytskyi, Natalia Patsera.....148

Etiquetado nutricional: hitos históricos en Colombia y el mundo

Nutritional labeling: historical landmarks in Colombia and the world

María Patricia López-Ramírez^{*a}  patricia.lopez@javerianacali.edu.co; Erika Evelia Celis-Rozo^a  erikacelis@javerianacali.edu.co;

^aDepartamento de Alimentación y Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
Calle. 18 #118 – 250, Barrio Pance, Cali, Valle del Cauca, Colombia.

^{*}Autor de correspondencia: patricia.lopez@javerianacali.edu.co

Recibido: 20/10/2023 Aceptado: 08/08/2024

Citar, APA: López-Ramírez, M. P., y Celis-Rozo, E. E. (2024). Etiquetado nutricional: hitos históricos en Colombia y el mundo. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 1–31. <https://doi.org/10.23850/24220582.5994>

Resumen El etiquetado nutricional se refiere a la práctica de proporcionar información en los productos alimenticios. Desde la antigüedad, estas etiquetas han evolucionado junto con la industria, los consumidores y las regulaciones gubernamentales. En las épocas romana y fenicia, se utilizaban ánforas etiquetadas con detalles como la fecha, el lugar de fabricación y el nombre del responsable. Durante el Renacimiento, surgieron las primeras etiquetas impresas, cuyo desarrollo se aceleró en el siglo XVIII gracias a los avances tecnológicos y a los requerimientos regulatorios orientados a la salubridad. El etiquetado de alimentos es un campo de estudio transdisciplinario que abarca la nutrición, la ingeniería de alimentos, el marketing y el derecho, entre otras disciplinas. El objetivo de este artículo de reflexión consistió en establecer una línea de tiempo describiendo los hitos más importantes del etiquetado de los alimentos en Colombia y el mundo, con el fin de comprender las dinámicas de este sistema complejo, en el cual diversos actores participan en múltiples componentes que interactúan simultáneamente para cumplir con la normativa vigente. La metodología utilizada para este artículo de reflexión se basó en una revisión sobre el etiquetado nutricional en bases de datos especializadas como Scopus, PubMed, y Scielo, además de los repositorios institucionales de consulta pública de los ministerios encargados de las regulaciones, así como en otros motores de búsqueda académica. La investigación se enfocó en identificar y analizar publicaciones relevantes utilizando palabras clave específicas relacionadas con el origen, antecedentes e historia del etiquetado de alimentos a nivel mundial. Esta reflexión, por tanto, ha generado la demanda de un enfoque transdisciplinario para abordar de manera responsable la construcción de procedimientos bajo normativas para la Industria de Alimentos. Este enfoque busca proporcionar al consumidor final información nutricional clara y comprensible sobre el alimento, facilitando así una elección informada. Además, se orienta a prevenir prácticas engañosas o erróneas dentro de las empresas productoras de alimentos, en consonancia con las Resoluciones 810 de 2021 y 2492 de 2022 del Ministerio de Salud y Protección Social; estas acciones están alineadas con la orientación de FAO sobre alimentación sostenible y sustentable contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda mundial 2030. Partiendo de los hechos históricos y en la medida de que lo descrito no está completamente resuelto, se evidencian necesidades continuas a través de los años, por tanto, se invita a repensar, abstraerse y a redefinir el sistema de Etiquetado Nutricional involucrando el estado, la industria, la sociedad y la academia.

Palabras clave: Alimentos, alimentos industrializados, consumidores, etiqueta, nutrientes.

Abstract Nutritional labeling refers to the practice of providing information on food products. Since antiquity, these labels have evolved in tandem with industry, consumers, and government regulations. In Roman and Phoenician times, amphorae were labeled with details such as the date, place of manufacture, and the name of the responsible party. During the Renaissance, the first printed labels emerged, with their development accelerating in the 18th century due to technological advancements and regulatory requirements aimed at health standards. Food labeling is a transdisciplinary field that encompasses nutrition, food engineering, marketing, and law, among other disciplines. The objective of this reflective article was to establish a timeline describing the most significant milestones in food labeling in Colombia and globally, in order to understand the dynamics of this complex system, wherein various stakeholders engage in multiple components that interact simultaneously to comply with current regulations. The methodology employed for this reflective article involved a review of nutritional labeling through specialized databases such as Scopus, PubMed, and Scielo, as well as public institutional repositories from the ministries responsible for regulations, and other academic search engines. The research focused on identifying and analyzing relevant publications using specific keywords related to the origins, background, and history of food labeling worldwide. This reflection has thus highlighted the need for a transdisciplinary approach to responsibly develop procedures under regulations for the food industry. Such an approach aims to provide the end consumer with clear and comprehensible nutritional information about the food, thereby facilitating informed choices. Additionally, it seeks to prevent misleading or erroneous practices within food production companies, in alignment with Resolutions 810 of 2021 and 2492 of 2022 from the Ministry of Health and Social Protection; these actions are consistent with FAO guidelines on sustainable and resilient food systems, contributing to the achievement of the global 2030 Agenda's Sustainable Development Goals. Based on historical facts and recognizing that the issues described are not yet fully resolved, ongoing needs over the years become evident. Therefore, there is a call to rethink, abstract, and redefine the Nutritional Labeling system, involving the state, industry, society, and academia.

Keywords: Consumers, food, label, nutrients, processed foods

Introducción

El rotulado o etiquetado de productos alimenticios representa un componente esencial dentro del ámbito informativo en la industria alimentaria cumpliendo con la normativa vigente. Este proceso consiste en la aplicación de información escrita, impresa o gráfica sobre el envase o empaque de los alimentos, con el propósito de proporcionar al consumidor datos detallados acerca de las características generales y específicas del producto. Esta práctica no solo cumple una función informativa crucial, sino que también facilita la toma de decisiones informadas por parte de los consumidores (FAO, 1985).

Desde los inicios de la historia humana, han existido las etiquetas, más estas han ido cambiando en el tiempo a medida que ha evolucionado la industria, el consumidor y los asuntos regulatorios de los gobiernos (IQVIA, 2022).

En la antigüedad, se encontraron diversos elementos de la cultura romana y fenicia que evidencian la comercialización y el mercado de alimentos en la práctica de intercambio o trueques entre culturas (Cartwright, 2016); el volumen de estos intercambios aumentó considerablemente, lo que llevó a la creación de magistraturas encargadas de gestionar los mecanismos de venta y compra de alimentos, asegurando así un comercio más eficiente y regulado. Entre estos elementos se incluyen ánforas y recipientes de cerámica utilizados para almacenar y transportar vino, aceite de oliva y otros productos alimenticios. Estas ánforas (jarras de barro con asas y de cuello estrecho usadas para almacenar y transportar alimentos líquidos) llevaban frecuentemente inscripciones o marcas que indicaban el contenido, el origen, el nombre del responsable del envasado y del distribuidor y, en ocasiones, la fecha de producción, funcionando como las

primeras etiquetas alimenticias grabadas en forma de sello en las ánforas, según los estudios arqueológicos (Alcalá, 2022). Estas inscripciones no solo facilitaban el comercio y el intercambio de bienes, sino que también permitían el control de calidad y autenticidad del producto.

Posteriormente, entre los siglos XV y XVI se produjo en Europa un cambio cultural denominado como el Renacimiento; momento cuando aparecieron las primeras etiquetas impresas (Louis, 2021). Hecho que se potencio, gracias a los avances que trajo la tecnología en Francia con la máquina de hacer papel y la litografía, haciendo que la impresión gráfica se desarrollara a pasos agigantados en el siglo XVIII; informando las cualidades de un producto en las etiquetas; también servían para llamar la atención de las personas, estableciendo que los futuros consumidores se sintieran atraídos hacía un producto u otro dependiendo de su formato (Kotler *et al.*, 2016).

En los primeros años de Colombia como nación independiente, no hay registros detallados sobre la llegada de productos importados con etiquetado específico. Sin embargo, es probable que estos productos cumplieran con las normativas de etiquetado de los países exportadores como España, otros países europeos o Estados Unidos, según las épocas y los acuerdos comerciales vigentes en los siglos XVIII y XIX.

A principios del siglo XX, el gobierno colombiano buscaba industrializar el país, enfrentándose al desafío de no contar con capacidad propia para producir maquinaria, dependiendo principalmente de tecnología proveniente de Estados Unidos, Francia e Inglaterra. Simultáneamente, con la llegada de maquinaria y artesanos industriales extranjeros, se introdujeron nuevos códigos de comunicación. Estos códigos respondían a

estrategias industriales de comercialización, promoción y consumo, como la creación de afiches, publicidad en revistas y la impresión industrial de etiquetas de productos, prácticas refinadas en países industrializados desde mediados del siglo XIX (Plata *et al.*, 2022).

A lo largo del siglo XX, las regulaciones de etiquetado se han desarrollado y adaptado para incluir detalles más específicos sobre ingredientes, información nutricional y advertencias de salud, en respuesta al establecimiento progresivo de regulaciones internacionales y nacionales como la creación de los Codex Alimentarius por parte de la OMS y la FAO desde el año de 1949, referentes para la construcción del etiquetado.

En el mundo de la transdisciplinariedad el etiquetado de alimentos se erige como un terreno fértil para la investigación y construcción colectiva desde diferentes perspectivas; en este contexto la interacción entre diversas disciplinas del conocimiento como la nutrición, ingeniería de alimentos, mercadeo, derecho entre otras, ha dado lugar a nuevas fronteras de reflexión sobre la evolución del etiquetado nutricional.

El contexto previo nos presenta la oportunidad de establecer como objetivo general la comprensión de la evolución del etiquetado de alimentos, identificando los componentes clave que han influido y marcado su rumbo. Esta actividad reflexiva se da mediante el establecimiento de una línea de tiempo describiendo los hitos más importantes del etiquetado a nivel mundial, destacando la importancia de un enfoque transdisciplinario en la construcción de normativas para la regulación alimentaria principalmente en Colombia. Este enfoque considerará la interacción entre los diversos actores involucrados en la construcción del sistema de etiquetado nutricional de alimentos.

Hitos históricos

¿Cuáles fueron los primeros alimentos y/o bebidas con etiquetado general?

En la historia, se cree que la primera etiqueta habría sido creada por los antiguos egipcios, debido al notable dominio ejercido por estos desde el 1500 al 1070 a.c, en el mercado vinícola (McGovern *et al.*, 2016). Por otra parte, en la cultura romana utilizaban sellos para marcar el pan individual horneado en hornos comunitarios, las marcas ayudaban a las autoridades a identificar y prevenir precios extorsionadores (Historical Eve, 2022).

Posteriormente en el año 1419 d.c, el vino nuevamente es protagonista por ser un producto valioso en la Edad Media, que se producía en áreas remotas, surgieron problemas relacionados con la autenticidad y la adulteración del producto; una proclamación contra la adulteración del vino exigió que cada botella se etiquetara según su lugar de origen (Bonney, 2022).

Este hecho marcó uno de los primeros esfuerzos registrados para regular y garantizar la autenticidad de los alimentos mediante etiquetas, brindando a los consumidores garantías sobre la calidad y origen del vino que compraban. Esta forma de etiquetado no solo contribuyó a evitar la falsificación, sino que también fomentó la confianza en el comercio vinícola y sentó las bases para futuras normativas en la industria alimentaria. Se hace hincapié que la mención del producto "vino" obedece a las leyendas incluidas en las etiquetas de las bebidas envasadas, las cuales históricamente fueron evolucionando a los criterios de regulación hoy conocidos en el etiquetado nutricional para los alimentos.

La historia de la regulación del pan también se ha extendido por muchos años, aunque la documentación específica sobre su etiquetado no

es tan completa como la del vino y la mantequilla. A pesar de ello, se tiene conocimiento de que la calidad y el peso del pan han sido objeto de regulación desde tiempos antiguos (Consumer Factsheet No. 9 – History of Bread, 2018). La Asamblea del Pan y la Cerveza, atribuida al rey Enrique III y que data de alrededor de 1266 – 1267 d.c, en Inglaterra promulgó la ley "Assize of Bread and Ale" esta regulación establecía normas estrictas sobre la producción y venta del pan que incluían sanciones a las no conformidades por parte de los panaderos.

Para 1662 d.c, la mantequilla era uno de los alimentos más adulterados en Inglaterra (Jephcott, 1960). La exigencia de asegurar la pureza y calidad de la mantequilla condujo a la aplicación de rigurosas medidas, determinándose por medio de estatutos que cada empacador marcara sus iniciales y apellido en cada envase que vendiera, con el objetivo de identificar a los productores (Deelstra *et al.*, 2014). Disuadir la adulteración por tanto representó uno de los primeros auspicios de legislación de etiquetado alimentario, como una iniciativa temprana por regular la calidad y autenticidad de los alimentos.

El escenario descrito marca el inicio del siglo XX como un período de transición epidemiológica activa hacia las enfermedades crónicas, cuya correlación con los problemas de salud de interés nacional se vuelve cada vez más evidente. Esta tendencia se destaca aún más en el contexto actual, donde las crecientes asimetrías globales entre países desarrollados y en desarrollo resaltan la similitud de los desafíos a los que se enfrentan (FAO, 2003).

En relación con lo anterior, estos eventos históricos fueron cruciales en la evolución hacia los sistemas de etiquetado modernos que conocemos hoy, destacando la importancia del etiquetado como un sistema para proteger a los

consumidores y fomentar la transparencia y confianza en los sistemas alimentarios. Además, los avances en la producción y conservación de alimentos han incrementado la cantidad de información en las etiquetas, en respuesta a medidas de salud pública destinadas a mitigar los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) como precaución de seguridad alimentaria.

De manera simultánea, a este escenario se suma un período de transición epidemiológica en el mundo donde Colombia no fue la excepción, además de estar sujeto a las modificaciones de los hábitos alimentarios y los modos de vida por causa de la industrialización, la urbanización el desarrollo económico y la globalización de los mercados. Esto ha generado grandes repercusiones en la salud y el estado nutricional de las poblaciones aumentando significativamente las prevalencias de las enfermedades crónicas, donde las asimetrías globales resaltan desafíos similares enfrentados por países desarrollados y en desarrollo (FAO, 2003).

La FAO destaca que las enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes, la hipertensión y las enfermedades cardiovasculares, están fuertemente influenciadas por la dieta. Por lo cual, un etiquetado nutricional efectivo puede jugar un papel crucial en la reducción de la incidencia de estas enfermedades al permitir a los consumidores identificar y elegir alimentos más saludables (FAO, 2003).

Los registros históricos de imágenes representaron diferentes modelos de etiquetado que en su momento se centraron en la imagen del producto con incipientes manifestaciones de promoción de las características generales de etiquetado básico general (**Figura 1**), hasta lograr su transición hacia los formatos actuales

en Colombia, donde los empaques de alimentos presentan un sistema informativo complejo en el que múltiples partes involucradas gestionan

diversos elementos que interactúan en el mismo plano para garantizar la adherencia a las normativas vigentes.

Figura 1

Referencia del diseño de las primeras etiquetas empleadas en la producción de empaquetados en Colombia



Nota. Etiqueta representativa del Lanzamiento de Sultana Noel, edición navidad. Adaptado de Compañía de Galletas Noel, (1932).

Actualmente, la responsabilidad social de la industria alimenticia no puede reducirse solo a crear alimentos inocuos ni en controlar los nutrientes de interés en salud pública, sino que adicionalmente, deberá procurar la creación de una cultura alimentaria despojada de todos los artilugios y falsas promesas del mercadeo y la publicidad. Ni tampoco deberá buscar solo resguardarse en declarar la información nutricional bajo complejos sistemas divulgativos de difícil comprensión para la sociedad. Por tanto, resulta imperativo que la industria alimentaria se comprometa en la formación de agentes educativos a lo largo de toda la cadena de interés, con el fin de apoyar la divulgación y facilitar la comprensión sobre la alimentación y la importancia de los etiquetados, promoviendo así estilos de vida saludable.

¿Cómo ha sido la evolución al etiquetado nutricional en los Estados Unidos de América?

La Ley de Alimentos y Medicamentos Puros de 1906 (FDA, 2010) fue la primera ley de protección al consumidor de importancia promulgada por el Congreso en el siglo XX y condujo a la creación de la agencia gubernamental Administración de Alimentos y Medicamentos conocida por sus siglas en inglés como Food and Drug Administration – FDA, responsable de la regulación y protección de la salud pública. Esta ley conocida como la (“verdad en el etiquetado”) fue destinada a prohibir los productos adulterados o mal etiquetados y elevar los estándares en las industrias de alimentos y medicamentos en los Estados Unidos de América (Gordon, 2019).

Hasta fines de la década de 1960, seguía siendo insuficiente la información en las etiquetas generales de los alimentos para identificar su contenido de nutrientes, proceso hoy reconocido y normalizado como el etiquetado nutricional; el cual fue mejorando con el tiempo al lograrse su obligatoriedad para todos los alimentos envasados o industrializados dentro del territorio de los Estados Unidos (Gordon, 2019).

Uno de los primeros avances fue la creación de un sistema de normas, que se inició con los códigos alimentarios de la Comisión del Codex Alimentarius, creada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), cuyas orientaciones eran proporcionar normas alimentarias internacionales armonizadas con el fin de proteger la salud de los consumidores y además regular la comercialización internacional de productos alimenticios (FAO, 2015).

Desde 1941 hasta 1966, en los Estados Unidos de América, ciertos alimentos incluían información sobre su contenido calórico y de sodio en sus etiquetas (Wartella *et al*, 2010). La FDA consideraba estos alimentos como de "usos dietéticos especiales", diseñados para satisfacer necesidades dietéticas particulares derivadas de condiciones, patológicas u otras presentes en la población.

Para ese momento, las comidas generalmente se preparaban en casa con ingredientes básicos y había poca demanda de información nutricional (Kessler, 1989). Sin embargo, a medida que ingresaba al mercado un número cada vez mayor de alimentos industrializados, los consumidores solicitaban información que les ayudaría a comprender los productos que compraban. En respuesta a esta demanda y por recomendación de la Conferencia de la Casa

Blanca sobre Alimentos, Nutrición y Salud; la FDA entre los años 1970 y 1972 se desarrolló un sistema para identificar las cualidades nutricionales de los alimentos con directrices que especificaban un formato para proporcionar la información nutricional en las etiquetas de los alimentos envasados (Wartella *et al.*, 2010). La inclusión de dicha información sería voluntaria, excepto cuando se hicieran declaraciones de propiedades nutricionales en el etiquetado o en la publicidad, o cuando se agregarán nutrientes a los alimentos; en estos casos sería obligatorio.

Finalizando el año 1973, estas reglamentaciones especificaban que el etiquetado nutricional, debía incluir la cantidad de calorías; los gramos de proteínas, carbohidratos y grasas; además del porcentaje de la Ingesta Diaria de Referencia (IDR) con relación a proteínas, vitaminas A y C, tiamina, riboflavina, niacina, calcio y hierro (Benton, 2011). El sodio, los ácidos grasos saturados y los ácidos grasos poliinsaturados también podrían incluirse a discreción del fabricante. Se recopilaba por estudios previos el tamaño de porción promedio o habitual de los alimentos, por lo tanto, todos los nutrientes debían informarse sobre esta base (tamaño de porción), incluida en la normativa.

Ingresando a los años 80, el conocimiento científico sobre la relación entre la dieta y la salud creció rápidamente, en paralelo con el interés por parte de los consumidores de ampliar los conocimientos particularmente en las etiquetas de los alimentos industrializados (Capozzi, 2021). Los fabricantes de alimentos estaban ansiosos por responder al interés del consumidor y lo hicieron de varias maneras, a menudo mediante el uso de una variedad de declaraciones nuevas en las etiquetas de los productos que intentaban dar a entender el valor especial del alimento, como por ejemplo "extremadamente bajo en grasas saturadas", para captar la atención de los consumidores

(Taylor y Wilkening, 2008); además de hacer declaraciones sobre el contenido nutricional de los alimentos, algunos fabricantes estaban interesados en hacer declaraciones en salud sobre sus productos, prohibidas en las etiquetas de los alimentos desde la aprobación de la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos en 1938 (Food and Drug Administration (FDA, 1938).

La difusión de etiquetado nutricional se ha extendido gradualmente en los países, ha ganado impulso en los últimos años y evolucionado para alinearse con la evidencia y las políticas de mejores prácticas de la OMS. Los gobiernos que aún están discutiendo y esperando implementar políticas de etiquetado nutricional deben seguir tales prácticas para mejorar la aceptación y el impacto de la política en las poblaciones a fin de reducir las Enfermedades Crónicas no Transmisibles relacionadas con la inadecuada nutrición de las poblaciones.

El inicio de la reglamentación de las declaraciones de propiedades en salud

Las declaraciones de propiedades en salud, también conocidas como declaraciones de propiedades saludables o declaraciones de salud, son afirmaciones sobre los efectos beneficiosos que un alimento o ingrediente alimentario puede tener sobre la salud. Estas declaraciones están respaldadas por evidencia científica y están reguladas por autoridades sanitarias y de alimentos en muchos países para garantizar que sean precisas y no engañosas para los consumidores (Comisión del Codex Alimentarius, 1997).

En agosto de 1987, la FDA publicó una propuesta para permitir declaraciones de propiedades saludables en el etiquetado de los alimentos si se cumplían ciertos criterios. La propuesta generó una gran cantidad

de comentarios reflexivos y, a menudo, contradictorios acerca de la pertinencia de estos mensajes en el etiquetado de los alimentos, y fue seguida de una serie de reuniones entre la agencia y la industria alimentaria, grupos de consumidores, así como de académicos y profesionales de la salud, para llegar a consensos y establecer regulaciones a cumplir por la industria alimentaria (Shank, 1989). Posteriormente, en febrero de 1990, la FDA retiró su propuesta original y publicó un nuevo borrador que definía las declaraciones de propiedades saludables apropiadas de manera más restringida y establecía nuevos criterios que se debían cumplir antes de permitir una declaración (Benton, 2011).

Durante este tiempo, la FDA también actuó aumentando la disponibilidad de información nutricional y proporcionó declaraciones más veraces sobre los nutrientes en salud, en todos los alimentos, respaldándose en dos informes de consenso histórico sobre nutrición y salud la publicación publicados a finales de la década de los 80.

El Informe del Cirujano General sobre Nutrición y Salud (Department of Health and Human Services, 1988) y el informe Diet and Health: Implications for Reducing Chronic Disease Risk del National Research Council (NRC) (National Research Council, 1989), hacían hincapié en la relación entre la dieta y las principales causas de muerte en la población estadounidense, por causa de enfermedades cardíacas, cáncer, derrame cerebral y diabetes. Estos informes sugirieron cambios en los patrones alimentarios, enfocándose en la reducción del consumo de grasas, ácidos grasos saturados, colesterol y sodio, en tanto se aumentará la ingesta de carbohidratos complejos y fibra. Se postuló así, que tales cambios podrían contribuir a la disminución de la incidencia de numerosas enfermedades crónicas.

El proceso de la evolución del etiquetado ha sido dinámico tanto en lo legislativo como a nivel industrial. Sin embargo, es vital destacar que, en la década de los años 80, un actor clave entra en escena: el consumidor. Diversas organizaciones defensoras de los consumidores, como el Centro para la Ciencia en el Interés Público (Malerba, *et al.*, 1994), expresaron preocupaciones ante la FDA respecto a mensajes o afirmaciones engañosas sobre salud y nutrición en los alimentos. A pesar de los esfuerzos de estos defensores y las autoridades sanitarias, no fue sino hasta 1990 con la aprobación de la Ley de Educación y Etiquetado Nutricional cuando se estableció la obligatoriedad del etiquetado con las tablas de información nutricional que conocemos hoy, expandiéndose a todos los alimentos regulados por la FDA (Skrovan, 2017).

Lo anterior, dinamizó y generó un importante avance en el etiquetado de los alimentos que fueron notorias en los 90; en este lapso se desarrollaron varias investigaciones, actualizaciones y discusiones globales que condujeron a relevantes publicaciones (Martínez-Piva, 2019), dadas en:

- Actualizaciones de recomendaciones de ingesta de energía y de nutrientes.
- Desarrollo de valores de referencia de nutrientes con nuevos Valores.
- Diarios de Referencia (VDR) para vitaminas y minerales.
- Regulaciones para determinar los tamaños de las porciones.

En respuesta a estas preocupaciones, la FDA en Estados Unidos propuso la inclusión obligatoria en las etiquetas nutricionales de información sobre calorías, grasas, grasas saturadas, colesterol, sodio, carbohidratos, fibra, proteínas, vitaminas A y C, calcio, hierro, así como la declaración de nutrientes adicionales

cuando se añadieran a un alimento o se hicieran afirmaciones sobre ellos (FDA, 2024). Además, se sugirió la adición de los azúcares totales en la etiqueta nutricional de forma voluntaria, a menos que se hiciera una declaración específica sobre el contenido de azúcares del alimento.

Al reflexionar sobre la evolución histórica del etiquetado nutricional, surge una comprensión de que el futuro de la industria alimentaria está llamado a transformarse. Este cambio debe centrarse en satisfacer de manera efectiva las necesidades del consumidor, fundamentándose en alimentos que no solo estén respaldados por rigurosa evidencia científica, sino que también se desarrollen con una firme responsabilidad social.

Las lecciones aprendidas a lo largo del tiempo resaltan la importancia de ofrecer información clara y precisa en el etiquetado, así como la necesidad imperiosa de fomentar la educación nutricional y promover hábitos alimentarios saludables. En este contexto, es esencial avanzar hacia una industria alimentaria que no solo sea competitiva, sino que también sea saludable, sustentable y sostenible, requiere un compromiso profundo con la colaboración transdisciplinar y el estricto cumplimiento de las normativas establecidas.

Marcando el ritmo: la evolución del etiquetado nutricional en la Unión Europea

Para el año 1991 en la Unión Europea se introdujo el primer tipo de etiquetado de alimentos y se tituló Valores Dietéticos de Referencia (European Commission, 2018). Los grupos de trabajo de expertos establecieron valores dietéticos de referencia (VDR) para la energía, las proteínas, las grasas, los azúcares, los almidones, los no polisacáridos, las vitaminas y los minerales que debían verse reflejados como contenido adicional después de la tabla de

información nutricional para que el consumidor pudiese ver los valores de referencia de los nutrientes sujetos de vigilancia en el etiquetado de los alimentos.

Cinco años después, las Ingestas Diarias de Referencia (IDR) fueron las precursoras de las Cantidades Diarias de Referencia (CDR) y utilizadas por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) del Reino Unido, actualmente llamada Agencia de Normas Alimentarias (ANA). Inicialmente, se establecieron para hombres y mujeres los valores de cada nutriente expresados en gramos, orientados bajo el sistema internacional de unidades (SI).

En el mismo contexto geográfico, en 1998 surgió la iniciativa de establecer un conjunto de directrices para que el consumidor pudiera entender la relación entre la cantidad de nutrientes en un alimento y la cantidad diaria recomendada de esos nutrientes, conocidas como Cantidades Diarias Orientativas (CDO), las cuales se comenzaron a incluir en las etiquetas de los alimentos (Barreiro, 2010).

Entre los documentos de política pública de mayor influencia para el ámbito nutricional a nivel mundial se encuentra el titulado "Choosing Health", implementado por el gobierno del Reino Unido. Este documento recopiló recomendaciones dirigidas a la reducción de la obesidad, estableciéndola como una de las siete principales prioridades para mejorar la salud y el bienestar de la población (House of Commons Health Committee, 2005).

El Instituto de Distribución de Abarrotes (IDA) tomó la decisión de examinar y ampliar las CDO creadas en 1998, generando un nuevo comité técnico, con miembros de la Federación de Alimentos y Bebidas y expertos científicos (FABEC). Después de esto, surgieron las CDO

para niños en cuatro grupos de edad, así como para hombres y mujeres adultos. Otro grupo de comunicaciones de IDG investigó los formatos de CDO para un mejor sistema en la cara posterior del empaque "back-of-pack" de CDO, dando origen a la publicación de un documento llamado "Guía de mejores prácticas con las conclusiones de las deliberaciones del IDG". Desde entonces, muchos alimentos comenzaron a mostrar las CDO de calorías, azúcares, grasas, saturados (grasas saturadas) y sal en la parte posterior del empaque del producto (Rayner *et al.*, 2004).

Sobre la base de las recomendaciones de Eurodiet, la Confederación de Industrias de Alimentos y Bebidas (ahora Food Drink Europe) introdujo un conjunto de CDO para la Unión Europea en 2006. El proyecto Eurodiet, financiado por la Comisión Europea, ofreció un marco para los objetivos dietéticos nacionales basados en alimentos y un plan de acción para crear recomendaciones dietéticas europeas (Eurodiet, 2001). La Federación de Alimentos y Bebidas (FAB) también se unió a este propósito, con el fin de garantizar la consistencia y crear mensajes para los usos potenciales de los CDO frontales del paquete en los productos alimenticios industrializados.

La Comisión de las Comunidades Europeas en 2007, publicó un libro blanco que incluía una estrategia para Europa sobre los problemas de salud relacionados con la nutrición, el sobrepeso y la obesidad. El documento enfatizó la necesidad de brindar a los consumidores a través del etiquetado, acceso a información precisa, confiable y basada en evidencia científica (European Commission, 2007).

La Comisión Europea también subrayó en su estrategia de política del consumidor para 2007 - 2013 la importancia de empoderar a los consumidores para tomar decisiones

informadas era crucial tanto para una competencia saludable como para el bienestar del consumidor (European Commission, 2007). Dos años más tarde, en 2009, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) proporcionó su opinión científica sobre los valores de ingesta de etiquetado sugeridos en el borrador del Reglamento de Información Alimentaria en respuesta a una solicitud de la Comisión Europea (European Food Safety Authority, 2009). Posteriormente, en el 2012 la versión actualizada de este reglamento, incluyendo información alimentaria para los consumidores fue publicada en el Diario Oficial de la UE (Diario Oficial de la Unión Europea, 2012).

Es importante destacar que el etiquetado nutricional ayuda a los consumidores a elegir alimentos en función de sus atributos y beneficios; sobre todo porque su ubicación en la cara principal del empaque recibe más atención que la información en la cara posterior. Las guías de etiquetado nutricional permiten concluir que las alertas ayudan al consumidor a identificar de manera fácil y clara alimentos con excesos de nutrientes críticos, además de reducir la intención de comprar estos alimentos (OPS, 2020).

En resumen, entre los años 2011 y 2015, el Reino Unido progresó con la implementación del etiquetado de advertencia, estableciendo el sistema Guideline Daily Amounts o Cantidad Diaria Orientativa (European Commission, 2020). Por esta razón, la industria de Europa, Canadá y Norteamérica, que compartían tratados de libre comercio, importaron y exportaron portafolios de alimentos y bebidas en los cuales utilizaron voluntariamente el etiquetado con CDO; siendo Europa la región que más avanzó e impulsó este sistema (UNICEF, 2017).

Hasta este punto, se han descrito de manera puntual los principales momentos e hitos históricos asociados al contexto territorial,

demográfico, de morbilidad y estado nutricional de las poblaciones. Además, de exponer las preocupaciones del consumidor a través de organizaciones defensoras de los consumidores frente a la calidad de los alimentos para su consumo. Este legado del “Etiquetado Nutricional” que como se evidenció ha estado en permanente discusión técnica y científica les ha permitido a los países, contar con una línea de base que evidencia la situación en los últimos años y los posibles cambios, a fin de alinearse con la agenda general 2030 (FAO, 2019) para un desarrollo de sistemas alimentarios saludables, sostenibles e inclusivos.

Evidentemente, el etiquetado nutricional es crucial tanto para la toma de decisiones informadas por parte de los consumidores como para la industria de alimentos, cumpliendo con la normativa técnica y asumiendo responsabilidad social hacia el consumidor. Este sistema presenta diversos desafíos, como se discute en la revisión de la Directiva 90/496/CEE, que aborda no solo cuestiones técnicas, sino también la obligatoriedad, la cantidad de información, los formatos alternativos y la presentación del etiquetado. Un enfoque equilibrado y basado en evidencia, es esencial para mejorar la efectividad del etiquetado nutricional en Europa (Unión Europea, 1990).

Actualmente, Europa está debatiendo no solo el nivel de conocimiento de los consumidores sobre el proceso de fabricación de alimentos dentro del contexto industrial, sino también su comprensión de la trazabilidad de las materias primas o insumos utilizados en los sistemas agrícolas para la elaboración de alimentos (FAO, PAHO & UNICEF, 2023). Es importante destacar que no basta con conocer solo una parte de este proceso para que los consumidores puedan tomar decisiones de compra informadas. Por lo tanto, podría ser necesario que la información sobre los atributos y beneficios de los alimentos este a disposición del consumidor de manera clara y sencilla en el

contenido de los alimentos. Es esencial contar con información sobre sistemas de etiquetado responsables, considerando además la visión de organizaciones proactivas que buscan empoderar a los consumidores ayudándolos a elegir alimentos saludables y sostenibles, como por ejemplo la Freedom Food Alliance en el Reino Unido (FFA, 2023).

Es claro que todos los sistemas de etiquetado presentan ventajas y desventajas. Sin embargo, todos tienen como finalidad ayudar a los consumidores a identificar las diferencias en la calidad nutricional de los productos. Esta función es y debe ser reconocida tanto por la gestión gubernamental a través de políticas y normativas, como por la industria mediante la innovación, investigación y desarrollo de alimentos con valor agregado, además del cumplimiento de las normativas establecidas. Lo anterior, sin desconocer a la academia quien también contribuye con investigación aplicada orientada a las necesidades colectivas, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población.

Etiquetado en el contexto latinoamericano

Los cambios en el etiquetado nutricional en Latinoamérica comenzaron en diferentes países entre estos Chile, Ecuador, Bolivia, Perú y Colombia, y en cada uno de estos se propiciaron hechos históricos a nivel del etiquetado, con importantes movimientos sociales, políticos y legislativos, previo al establecimiento de normas y leyes desde los entes gubernamentales del estado, con la participación del sector de la industria de alimentos y la academia (OPS, 2017).

Antes de que una norma o legislación entre en vigor en un país, se llevan a cabo debates y discusiones dentro del sistema de gobernanza (CEPAL, 2021). Estas etapas previas son fundamentales, ya que permiten considerar

diferentes perspectivas y opiniones tanto de los proponentes como de los opositores de las normas, con el fin de aprobarlas o no, considerando el contexto local y global para estar en sincronía con otros sistemas legislativos que operan en el mercado mundial de alimentos. Sin embargo, una vez que la ley o normativa se implementa oficialmente, estas discusiones deben retomarse de acuerdo con las fechas de monitoreo establecidas en la propia legislación para su actualización, atendiendo al contexto y a las necesidades del momento y considerando los análisis de impacto en la población local para extrapolar en otras regiones.

Uno de los países pioneros en implementar cambios significativos en el etiquetado nutricional fue Chile, quien inició procesos reglamentarios de reconocimiento de las características de un producto según su naturaleza, empleando para ello la Ley de Alimentos 20.606 (Ley 20.606, 2012); esta ley evolucionó en el 2016, cuando se introdujo un nuevo sistema de etiquetado de advertencia, esta vez implementando octógonos negros para resaltar los alimentos altos en azúcares, grasas saturadas, sodio y calorías.

Así mismo, en Colombia el Ministerio de Salud y de la Protección Social desarrolló normativas importantes como la Resolución 333 de 2011 (Ministerio de Salud, 2011) y la Resolución complementaria 684 de 2012 (Ministerio de Salud, 2012) enfocadas en el reglamento técnico sobre los requisitos del rotulado nutricional y los protocolos para la aprobación de nuevas declaraciones de propiedades de salud de los alimentos, respectivamente para luego avanzar con la promulgación de la resolución 810 del 2021 (Ministerio de Salud, 2021), la cual establece los lineamientos en el etiquetado nutricional de advertencia de los alimentos y bebidas envasadas en el país. Esta resolución se creó con el objetivo de informar a los consumidores

sobre los productos con alto contenido de azúcares añadidos, grasas saturadas, grasas trans y sodio, nutrientes críticos cuyo exceso en la alimentación de las personas constituyen un factor de riesgo para enfermedades, de especial preocupación para la salud pública (OPS, 2011).

Otros países de la región también han seguido el ejemplo de Chile y Colombia comenzado a implementar medidas similares para mejorar la divulgación de la información nutricional en los productos alimenticios. Tomando como ejemplo la Ley 20.606/2012 promulgada en Chile, Ecuador implementó el sistema de etiquetado nutricional basado en el semáforo nutricional en 2014, como parte de la Ley Orgánica de Regulación y Control del Poder de Mercado (Registro oficial 555, 2011).

En este contexto cabe mencionar a Perú, el cual implementó el etiquetado de advertencia con octógonos negros para alimentos procesados altos en grasas saturadas, azúcares y sodio en el 2019, como parte de la Ley de Promoción de la Alimentación Saludable para Niños, Niñas y Adolescentes (Ministerio de Salud del Perú, 2019).

Finalmente, cabe destacar la reglamentación aprobada en Uruguay, implementando así el etiquetado de advertencia en forma de octógonos negros, como parte de la Ley de Etiquetado de Alimentos, Decreto 272, 2018 (Ministerio de Salud Pública del Uruguay, 2018).

Actualidad del Etiquetado en América Latina

De acuerdo con el más reciente estudio de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2016), acerca del etiquetado nutricional en la parte frontal del envase en América Latina y el Caribe, 10 países han promulgado legislaciones o normativas del etiquetado nutricional en la

Parte Frontal del Envase (ENPFE). Seis de las cuales han sido implementadas y cuatro en vías de implementarse. Los países que cuentan con una legislación de etiquetado frontal con carácter obligatorio son: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Uruguay y Venezuela.

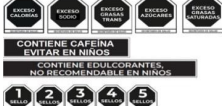
A medida que las normativas evolucionaban, los gobiernos como el de Chile comenzaron a desarrollar un novedoso sistema de etiquetado frontal pensando en una mejor funcionalidad ante el consumidor, al permitir la identificación de los productos con exceso en calorías, azúcares, grasas saturadas y sodio, siendo el primer país de la zona de las Américas en adoptar un sistema de etiquetas con sellos de advertencia en el 2012 (González *et al.*, 2022). Tras este éxito y en conjunto con las recomendaciones internacionales, desde fines de la década de 2010, los gobiernos de: Argentina, Colombia, México, Uruguay y Venezuela se han centrado principalmente en la implementación de sistemas de etiquetas de sellos de advertencia de forma octogonal (González *et al.*, 2022).

De acuerdo con la **Tabla 1**, los países allí listados han discutido diferentes características de políticas en etiquetado a lo largo de los últimos 20 años; por ejemplo, usando semáforos, sellos de advertencia, tratando de alinear enfoques basados en las mejores prácticas de la OPS (OPS, 2021), cambios de implementación a nivel de etiquetado que resultaron necesarios y generaron efectos positivos esperados.

Posteriormente, otros gobiernos también iniciaron discusiones sobre el etiquetado nutricional frontal a fines de la década de 2000 y principios de la de 2010 considerando la adopción de los CDO (México) o el etiquetado de semáforos (Bolivia, Chile, Ecuador) para sus sistemas obligatorios (OPS, 2021).

Tabla 1

Estatus de implementación y modelos de etiquetado frontal en diversos países

País	Ejecutado y vigente / Implementado y en transitoriedad	Modelos
Ecuador	Ejecutado País con semáforo nutricional desde el año 2014	
Bolivia	Ejecutado Segundo país que opta por el semáforo nutricional	
Chile	Ejecutado Primer país con etiquetado frontal de advertencia desde el año 2016	
Perú	Ejecutado Segundo país con etiquetado frontal de advertencia año 2019	
México	Ejecutado Comienza a regirse a partir del año 2020	
Brasil	Ejecutado De acuerdo a la reglamentación de la ley de Promoción de la Alimentación Saludable, desde el 20 de agosto de 2022 y hasta febrero de 2023 debe cumplirse la norma.	
Argentina	En Implementación El plazo límite tiempo hasta el 12/05/2023, y de veinticuatro (24) meses para las Pequeñas y Medianas Empresas, por lo que tienen tiempo hasta el 12/11/2023.	
Colombia	En implementación Se adopta en primera instancia y por un periodo de 2 años (2021 al 2023) el modelo circular que luego es derogado y se establecen en el 2023 los sellos octagonales por una mayor rigurosidad científica. Después del 15 de junio de 2024 se retiran del mercado aquellos alimentos que no cumplan con la norma de etiquetado frontal.	
Paraguay	En implementación Ley de etiquetado nutricional sancionado en Mayo 2023; adopta modelo brasileiro	
Venezuela	En implementación Se inició desde el año 2021 y la industria cuenta con 36 meses para el cumplimiento de la norma.	

Nota. Adaptado de “Informe de Situación: Nutrición en las Américas 2022” (pg. 8) por Organización Panamericana de la Salud (2022).

La evidencia y la experiencia de la implementación de etiquetado nutricional frontal continuaron evolucionando y las mejoras en la aplicación de sellos de advertencia octogonales, persistieron.

Esto incluía disposiciones nuevas que requerían tamaños más grandes, dispositivos de fondo contrastantes para el diseño, la aplicación de la palabra "exceso" en lugar de "alto contenido" para las advertencias en mejora de la eficacia y la adopción del Perfil de Nutrientes de la OPS que categoriza los productos que deben tener los sellos de advertencia (OPS, 2021).

Dentro del etiquetado nutricional, especialmente el etiquetado de advertencia ha demostrado ser una herramienta efectiva para ayudar a los consumidores a tomar decisiones informadas sobre los alimentos que compran.

Investigaciones como las de (Hersey *et al.*, 2013) y (Hawley *et al.*, 2013), demuestran que los consumidores son más propensos a notar y utilizar la información nutricional cuando está claramente visible en la parte frontal del envase. Estos sistemas de etiquetado también pueden influir en la reformulación de productos, ya que las industrias buscan evitar etiquetas de advertencia negativas que pudiesen afectar su mercado.

En general la evolución del etiquetado nutricional ha sido testigo de avances significativos que han transformado la manera en que los consumidores acceden y comprenden la información sobre los productos alimenticios.

Desde la introducción de normas básicas hasta la implementación de regulaciones más detalladas y específicas, cada hito ha

contribuido a un panorama más transparente y orientado a la salud. Estos avances no solo han mejorado la claridad y precisión de las etiquetas, sino que también han promovido una mayor responsabilidad por parte de los fabricantes y una mayor protección para los consumidores.

En la siguiente línea de tiempo acerca del etiquetado nutricional a nivel global (**Figura 2**), se ilustra cómo distintos hitos han marcado una trayectoria hacia un etiquetado más informado y regulado, reflejando el compromiso continuo con la salud pública y la transparencia en la industria alimentaria (OPS, 2022).

¿En Colombia, como ha evolucionado el etiquetado?

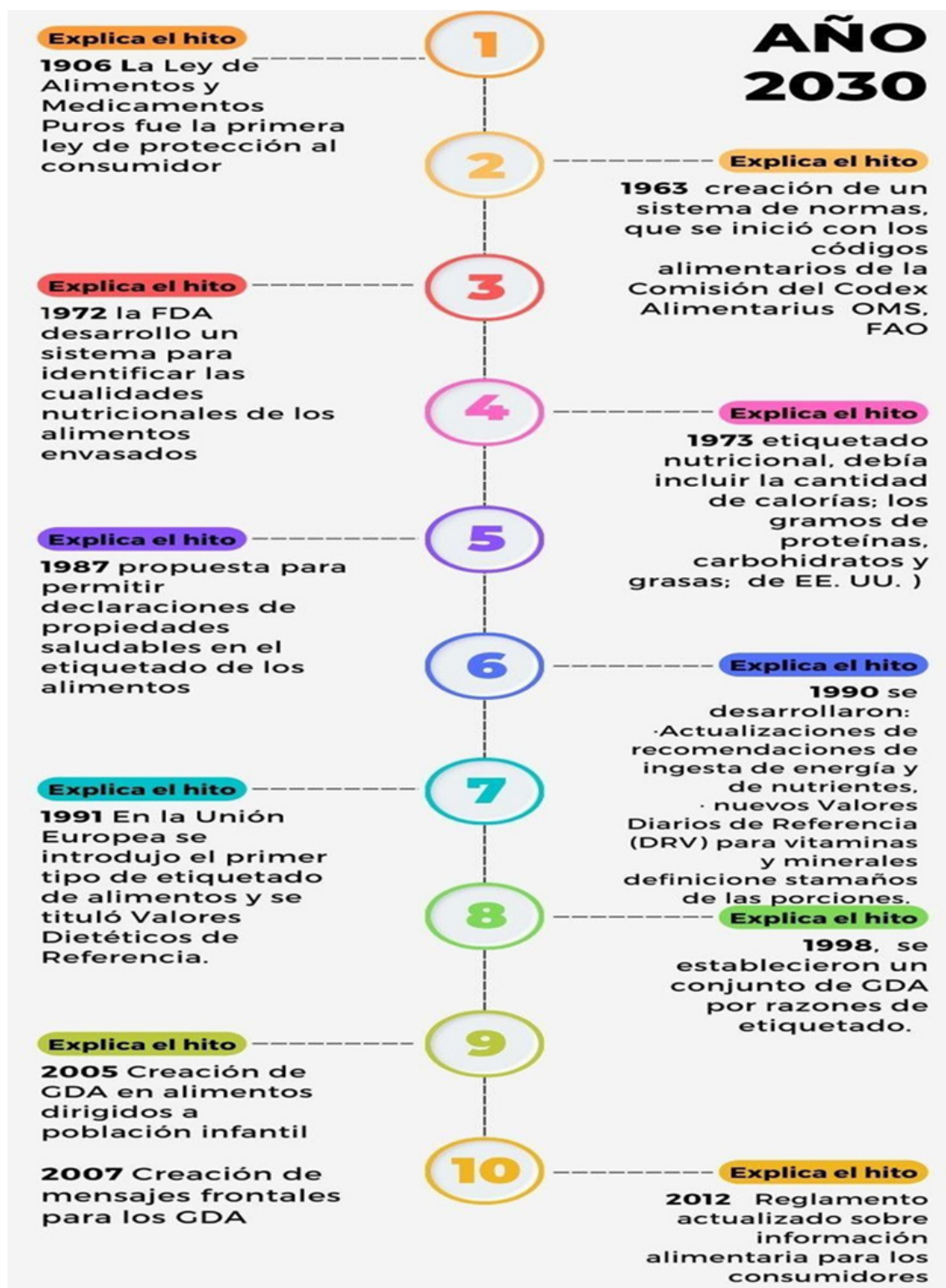
La modernidad ha introducido nuevos estilos de vida que dificultan el consumo regular de alimentos en el hogar según los horarios habituales. Como resultado, muchas personas con agendas laborales o académicas intensas encuentran difícil cocinar en casa y optan comer por fuera, recurriendo cada vez más a alimentos preparados fuera del hogar (López, 2016).

Para este tipo de población, es frecuente desayunar de camino al trabajo, al colegio, o la universidad, y comer ya sea en una cafetería cercana, en un restaurante particular o dentro de las instituciones laborales o educativas.

Según López (2016), esta situación involucra un factor de riesgo en la seguridad alimentaria y nutricional del individuo y de su familia, ocasionada por la pérdida de control y el seguimiento a la calidad y cantidad de alimentos consumidos, que han sido preparados por terceras personas, así como por la creciente oferta de alimentos altos en grasa, azúcares añadidos, entre otros.

Figura 2

Línea de tiempo referente a los hitos destacados del etiquetado nutricional a nivel global



Nota. la Asamblea General de las Naciones Unidas adopta la Agenda Mundial para el Desarrollo Sostenible 2030, (año visible en la esquina superior de la figura). Adaptado del “Informe de situación: Nutrición en las Américas 2022” (pg. 9, 10), por Organización Panamericana de la Salud (2022).

Cuanto más se come fuera de casa, más importante resulta elegir apropiadamente los alimentos por tanto la información nutricional registrada en las etiquetas permite a los consumidores identificar los alimentos que constituyen un riesgo para su salud y al mismo tiempo aumenta la intensidad de compra de alimentos más sanos (Ares *et al.*, 2018); haciendo que la población demande mayores alternativas alimentarias que le aseguren un balance entre la adecuada alimentación y lo satisfactorio en cuanto al gusto con el fin de propender por una segura alimentación que minimice y la proteja de la aparición temprana de patologías que deterioran la calidad de vida y la salud (López, 2016).

En Colombia hubo factores condicionantes para el desarrollo de nuevos patrones alimentarios propiciando la evolución de una sociedad rural en transición a un modelo mayormente industrializado, estos cambios también se vieron relacionados con la migración poblacional del campo a la ciudad, la participación de la mujer en la fuerza laboral, entre otros hitos históricos locales (CEPAL, 2019). El siglo XX dio lugar a la creación de productos alimenticios particulares que a través de la cotidianidad que los involucró, participaron de la historia nacional y, hoy se mantienen tanto en la memoria como en el paladar de los colombianos (Revista IAlimentos, 2015).

Perspectivas de cambio: regulación del etiquetado nutricional y la industria alimentaria

La agroindustria en Colombia data de los años 1904 en donde existían algunas empresas artesanales de alimentos. A partir del año 1936, se empieza a desarrollar la legislación para esta área, en donde se analizaban los mecanismos principales de los procesos y la tecnología incipiente (López *et al.*, 2016).

La industria funcionaba limitadamente en tecnología y conocimientos técnicos por causa de limitaciones del recurso humano a nivel nacional, además de contar con un mercado local insuficiente a raíz de la poca importación de productos que trajo consigo la Primera Guerra Mundial alrededor de los años 1914 a 1918 (BBC Mundo, 2014). Casi una década después se dio el auge del desarrollo nacional, centrado en la producción y en la adquisición de tecnologías, un ejemplo de este hecho fue la producción en el país de galletas en 1916 por la empresa Noel, que nacieron buscando recrear las versiones de galletas que se preparaban en los hogares, luego estas evolucionaron a rellenos e inclusión de cremas con multiplicidad de sabores (Compañía de Galletas Noel, 2015). Se despertó entonces el interés por el conocimiento de novedad y sabor, reforzando la premisa industrial de “ofrecer el mayor sabor posible”.

Después de la segunda guerra mundial, con la inclusión de los mercados y nuevas tecnologías, la industria de los alimentos y bebidas fueron evolucionando. En 1968, los productos básicos de la alimentación colombiana empezaron a ganar dinamismo con la introducción de diversos portafolios de alimentos industrializados. Entre los sectores destacados de la industria alimentaria se encontraban la molinería, el azúcar, las grasas y aceites, la panificación, los productos lácteos, las chocolaterías, las charcuterías y las dulcerías, entre otros.

La evolución de este sector en su momento fue respaldada por inversiones dirigidas a la asimilación de tecnologías e innovaciones en productos y procesos. Esto permitió ofrecer a los consumidores nacionales y extranjeros alimentos con valor agregado satisfaciendo de manera competitiva sus crecientes necesidades. Además, se produjo un cumplimiento riguroso de las normativas en mercados de exportación en expansión, donde el etiquetado se consolidó

como un componente crucial de los alimentos industrializados (FAO, 1996). Este desarrollo incluyó el surgimiento de etiquetas informativas incipientes que, en su momento, proporcionaron conocimientos sobre las propiedades del alimento, implicando cambios en las etiquetas conforme a la legislación vigente y las demandas del sector (MSPS, 2022).

A partir de los años 60, el sector industrial en Colombia inicia un proceso hacia la reglamentación del etiquetado de alimentos dado que en el contexto global, el país se sumó activamente a las conferencias internacionales promovidas por la OMS y la FAO (Revista IALimentos, 2023), sobre promoción de la salud y la construcción de los códigos alimentarios de la Comisión (OPS, 2015), sentando las bases para la legislación alimentaria que inició con la aprobación del código sanitario nacional por parte del Congreso de la República (Ley 9, 1979). Este código estableció normas sanitarias para prevenir y controlar agentes biológicos, físicos o químicos que pudieran afectar la salud humana.

Según el artículo 565 de la Ley 9 de 1979 (Congreso de la República, 1979), el Ministerio de Salud fue responsable de oficializar las normas técnicas colombianas para todos los productos de interés sanitario. En ese mismo año, se aprobó la Resolución 8688 de 1979 (Ministerio de Salud, 1979), que especificaba que los empaques debían incluir información como el nombre específico del producto, palabras o frases adicionales que orientaran al consumidor sobre la naturaleza y estado físico del alimento, lista de ingredientes, nombre y dirección del fabricante, fecha de vencimiento e instrucciones de conservación y uso. Estos elementos, que en aquel momento no se consideraban para informar a los consumidores, debían ocupar una parte específica de la superficie de los productos, incluyendo sus caras laterales y accesorias, además de la principal.

Esta exigencia no surgió arbitrariamente, sino como resultado de acuerdos alcanzados en consensos internacionales donde participaron las directivas oficiales en salud de países miembros del a OMS, representantes de la industria, de la Academia y del Consumidor, que llevaron a la creación del Codex Alimentarius (Organización Mundial de Comercio , 2015), un instrumento regulatorio de aceptación internacional patrocinado por la FAO y la OMS. Este código contiene normativas sobre estándares en aspectos como mecanismos de información sobre riesgos, colorantes y saborizantes permitidos y no permitidos en las diversas variedades de alimentos.

En la década de 1980, la publicidad en la industria representó para los consumidores valores aspiracionales de indulgencia y placer alimenticio, envueltos en un aura de misterio que evocaba seducción y sensualidad (Drichoutis & Rodolfo, 2006). Esto porque se consideraba que la motivación para procesar la información podía modular el efecto de las etiquetas nutricionales y la intención de compra, ya fuera de forma beneficiosa o perjudicial, buscando motivar al consumidor por el deseo de disfrutar de los alimentos (Hess *et al.*, 2012). Estos aspectos actualmente se encuentran bajo constante escrutinio.

El crecimiento de este mercado generó la creación de un Comité Provisional y Asesor para el estudio y aprobación de la publicidad de alimentos y bebidas, validado posteriormente bajo la Resolución 6328 de 1984 (Ministerio de Salud, 1984).

Desde esta perspectiva de mejora en las normas y procesos que acompañaron el desarrollo de la industria alimentaria durante los últimos 40 años y su destacado crecimiento en relación con las tecnologías de producción de los

alimentos, fue notoria la necesidad de diseñar y formular políticas, leyes y resoluciones forjando el marco normativo en miras de regular la industria nacional.

En pro de la innovación, investigación y el desarrollo de alimentos la legislación interna busco adaptarse a las diferentes dimensiones de la seguridad alimentaria y nutricional de cada individuo y de los colectivos en Colombia, buscando hacer partícipe a entidades como la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI, agremiación de los industriales en el país creada en 1977 para promover la competitividad, el progreso económico y el desarrollo social del país hacia modelos más eficientes y responsables a la legislación de los diferentes sectores (MSPS, 2011).

Sin duda, la innovación en la industria desempeña un papel crucial en el desarrollo de nuevos productos, influenciando de manera efectiva la reformulación de alimentos ya establecidos. Por lo tanto, es fundamental comprender y analizar exhaustivamente todas las variables e indicadores relacionados con la alimentación, nutrición, salud y bienestar. Esto debe respaldarse con evidencia científica sólida, así como considerar políticas, tendencias y parámetros tanto internacionales como locales que afectan directa o indirectamente al consumidor.

Estos factores deben orientar la selección de ingredientes en el desarrollo o reformulación de alimentos, así como fortalecer la legislación alimentaria para garantizar el cumplimiento de normativas que benefician a la población consumidora habitual de productos industrializados.

Desde esta perspectiva de mejora en las normas y procesos que acompañaron

el desarrollo de la industria alimentaria, el Ministerio de Salud Colombiano continuó fortaleciendo la legislación alimentaria. Esto incluyó la promulgación de resoluciones destacadas como la Resolución 4603 de 1980 (Ministerio de Salud, 1980), que dictaba normas sobre el etiquetado de productos alimenticios. En orden cronológico, también se encuentra la Resolución 2387 de 1999 (Ministerio de Salud, 1999), que oficializó la Norma Técnica Colombiana 512 - 1 estableciendo los requisitos mínimos de rotulación y etiquetado de envases de productos alimenticios aptos para consumo humano.

Posteriormente, se emitió la Resolución 2652 de 2004 (Ministerio de Salud, 2004), que estableció el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado para alimentos envasados y materias primas. Esta normativa fue complementada por la Resolución 5109 de 2005 (Ministerio de Salud, 2005), que derogó la Resolución 485 de marzo de 2005 y estableció requisitos claros para los rótulos o etiquetas de envases de alimentos envasados o empacados, así como para las materias primas, asegurando una información suficientemente clara y comprensible para el consumidor, evitando cualquier tipo de engaño o confusión.

En este sentido, los gobiernos, conscientes de los beneficios de prevenir enfermedades crónicas no transmisibles, colaboraron con la OMS y otros países para reducir la alta prevalencia de indicadores de hábitos alimentarios y estilos de vida poco saludables. En 2004, Colombia se comprometió a trabajar contra la obesidad a través de la Estrategia Mundial sobre Régimen Alimentario, Actividad Física y Salud de la OMS (OMS, 2004).

En concordancia con esta estrategia, el estado colombiano adoptó medidas legales significativas, como la Ley 1355 de 2009

(MSPS, 2009), que reconoció la obesidad y las enfermedades crónicas no transmisibles asociadas como prioridades de atención a nivel de salud pública. Esta ley incluyó estas enfermedades en los planes de intervención en salud pública, alineándose con las metas establecidas por entes internacionales de promoción de la salud (Portal de Salud de la Junta de Castilla y León, 2016).

Y adicionalmente, estableció directrices en educación, comunicación, información y promoción de estrategias de hábitos de vida saludables, destacando la necesidad del etiquetado nutricional como herramienta para mejorar el conocimiento sobre el contenido nutricional y calórico de los alimentos, facilitando un consumo adecuado de los mismos (Ley 1355 de 2009).

Además, el Ministerio de Salud y Protección Social desarrolló normativas clave como la Resolución 333 de 2011 (Ministerio de Salud, 2011) y la Resolución 684 de 2012 (Ministerio de Salud, 2012), modificando el artículo 24 de la Resolución 333 y estableciendo el protocolo para la aprobación de nuevas declaraciones de propiedades saludables de los alimentos.

En el ámbito de la regulación de otros nutrientes alimenticios como grasas y sodio, se promulgó en el mismo año el reglamento técnico sobre los requisitos para alimentos envasados con grasas trans y/o saturadas, según lo dispuesto en la Resolución 2508 de 2012 (Ministerio de Salud, 2012). Asimismo, la Resolución 2013 de 2020 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020) estableció los contenidos máximos de sodio, como parte de la estrategia nacional para reducir su consumo.

En su momento, el crecimiento continuo del mercado alimentario llevó a complementar la regulación con el Decreto 3075 de 1997

(Ministerio de Salud, 1997), que estableció las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

Este decreto actualmente vigente obliga a personas naturales y jurídicas involucradas en la fabricación, procesamiento, preparación, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas, a cumplir con normas técnicas en todos los alimentos envasados, garantizando su inocuidad y la calidad sanitaria para proteger la salud pública, posteriormente este decreto fue regulado por la Resolución 2674 de 2013 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

En octubre de 2014, se aprobó el Plan de Acción para la Prevención de la Obesidad en la Niñez y la Adolescencia durante el 53º Consejo Directivo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2014), del cual Colombia forma parte. Este plan involucra la formulación de políticas y regulaciones para prevenir el consumo de alimentos poco saludables mediante el uso de etiquetas de advertencia en envases y la promoción de guías nutricionales regionales en el entorno escolar.

La creación de criterios regionales para un perfil de nutrientes constituye una tarea fundamental para abordar las necesidades específicas de diversas poblaciones en términos de salud nutricional. Este proceso requiere un enfoque riguroso respaldado por evidencia científica, con la participación de autoridades reconocidas en el campo de la salud y la nutrición (OPS, 2016). La formulación de estos criterios debe considerar las variaciones, como los patrones y la cultura alimentaria, la prevalencia de enfermedades nutricionales y otros factores sociodemográficos (OPS, 2016).

Para lograr este objetivo, es crucial llevar a cabo evaluaciones de las necesidades nutricionales de la población, que incluyan

encuestas dietéticas y de salud, análisis de biomarcadores nutricionales y estudios sobre la prevalencia de enfermedades crónicas relacionadas con los hábitos alimentarios (Ravasco et.al., 2010). Estos datos deben orientar el desarrollo de políticas y programas nutricionales efectivos, que promuevan la creación de alimentos más saludables. Esto debe complementarse con iniciativas de educación nutricional, estrategias de fortificación y regulaciones para la publicidad de alimentos no saludables.

En consecuencia, la propuesta de perfiles de nutrientes presentada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2016) representa una oportunidad significativa, aprovechando la creciente disponibilidad de datos en salud y nutrición, así como los avances en ciencias y tecnología de los alimentos.

Como autoras desde una perspectiva reformuladora de los alimentos, consideramos se abre una valiosa oportunidad para mejorar el perfil nutricional general de los productos, abordando no solo la cantidad de nutrientes críticos, sino también la composición integral de los alimentos. En este contexto, los modelos de etiquetado nutricional emergen como una herramienta clave para fomentar la colaboración de trabajo transdisciplinar, donde se debe analizar cada caso con detenimiento. Es crucial implementar estrategias que incluyan la eliminación, sustitución o control de nutrientes y aditivos que puedan afectar negativamente la salud de los consumidores.

Este enfoque no solo responde a la creciente demanda de alimentos que promueven una mejor calidad de vida, sino que también refleja un compromiso con la mejora continua en la salud pública, alineándose con las expectativas de consumidores cada vez más conscientes y exigentes en términos de calidad alimentaria.

En este sentido, será pertinente señalar que la investigación y la innovación son fundamentales para abordar las problemáticas de alimentación y nutrición. La evidencia científica debe guiar el desarrollo de productos alimentarios que no solo cumplan con los estándares de seguridad y calidad, sino que también ofrezcan beneficios adicionales para la salud (MSPS, 2020). Esto incluye la reformulación de alimentos para reducir la cantidad de nutrientes críticos como azúcares, grasas saturadas y sodio, y la incorporación de ingredientes funcionales que mejoren el perfil nutricional general de los productos.

Estudios como los de Drewnowski & Fulgoni (2008), sobre la creación de índices de calidad nutricional en los alimentos ricos en nutrientes, subrayan la importancia de desarrollar criterios claros y basados en evidencia para evaluar y mejorar el contenido nutricional de los alimentos.

Para finalizar este segmento, en la (Figura 3) se aprecian varios hitos históricos en la línea de tiempo del etiquetado nutricional en Colombia una visión integral de los principales eventos e hitos en la evolución del etiquetado general y nutricional en Colombia. Esta línea de tiempo destaca los momentos clave que han definido y reformado las políticas de etiquetado, desde las primeras regulaciones hasta las reformas más recientes, reflejando el compromiso de Colombia con la promoción de una alimentación saludable y la protección de los derechos del consumidor.

A través de esta representación visual (Figura 3), buscamos ofrecer una comprensión clara y concisa de cómo la regulación del etiquetado ha avanzado y continúa evolucionando para satisfacer las necesidades de la población.

Figura 3*Hitos en la línea de tiempo del etiquetado nutricional en Colombia*

Nota. Adaptado de “Informe de Situación: Nutrición en las Américas” (pg. 8) por Organización Panamericana de la Salud (2022).

Fortalecimiento del Etiquetado nutricional en Colombia

El contexto comercial entre los países está mediado por la Organización Mundial de Comercio (OMC), de la cual Colombia es miembro activo desde 1995 (OMC, 1995). Esta vinculación sin duda generó un impacto positivo para el país, debido a que la OMC establece normativas de alcance mundial que regulan los tratados de libre comercio, buscando velar por la fluidez, previsibilidad y libertad posible en el comercio internacional (OMC, 2006).

En el proceso de clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo con el riesgo en salud pública, se establecieron categorías específicas. Esta tarea fue llevada a cabo por la Sala Especializada de Alimentos y Bebidas Alcohólicas (SEABA) bajo el mandato de la Subdirección de Salud Nutricional, Alimentos y Bebidas del Ministerio de Salud, lo cual quedó ratificado con la emisión de la Resolución 719 de 2015 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015).

Después de la creación de la Resolución 333 de 2011 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2011), el país trabajó en la actualización del etiquetado nutricional generándose un amplio debate por parte del gobierno, la academia, la industria y la sociedad civil que por primera vez tomó liderazgo respecto al impacto de los alimentos industrializados en los entornos alimentarios de los escolares (MSPS, 2020).

Luego de este ejercicio de cohesión social se aprueba la Ley 2120 de 2021 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021), en la cual se establecen medidas para fomentar entornos alimentarios saludables y a su vez garantizar el derecho fundamental a la salud, con el fin de prevenir enfermedades no transmisibles

mediante el acceso a la información clara, veraz, visible, oportuna y eficiente sobre los componentes de los alimentos en el territorio nacional; cobijando a todos los actores del sector industrial. Dentro de las acciones promovidas por esta ley, cabe destacar el artículo 5, que hace referencia al etiquetado nutricional donde se incorporan los sellos de advertencia, de alto impacto preventivo, claros, visibles, legibles, de fácil identificación y comprensión para los consumidores, con mensajes inequívocos que adviertan al consumidor de los contenidos excesivos de nutrientes críticos”. Sin duda, este significativo avance fue puesto en marcha gracias al apoyado tanto de los actores locales que militaban la alimentación saludable como por organismos internacionales, entre ellos la Organización Panamericana de la Salud (OPS), UNICEF y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El Ministerio de Salud de Colombia en consecuencia, expidió la Resolución 810 el 16 de junio del 2021 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021) que estableció el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional que debían cumplir los alimentos envasados o empacados para consumo humano. Cuyo objetivo estableció que los consumidores pudiesen tener un conocimiento informado sobre los alimentos y bebidas a consumir; de esta manera, los sellos de advertencia y sellos positivos en su momento lograron el cometido de informar a la población sobre los productos que consumían a través de un sistema de etiquetado que advertía de un producto con "exceso en azúcares", "exceso en sodio", "exceso en grasas saturadas", "exceso en grasas trans" o por el contrario presentar el logo de visto bueno indicando que el alimento ofrecía contenidos bajos de aquellos nutrientes considerados “inapropiados” o que en exceso podrían repercutir en la salud del consumidor, por lo cual se denominaron sellos positivos.

Finalizando el año, puntualmente en diciembre de 2022 se modifica la Resolución 810 del 2021 (MSPS, 2021) del etiquetado nutricional en los artículos 2, 3, 16, 25, 32, 37 y 40 creándose la Resolución 2492 de diciembre del 2022 (MSPS, 2022), como resultado de la consultoría que realizó la Universidad de Antioquia para el Ministerio de Salud frente a la diagramación de los sellos de advertencia que pasaron de ser circulares a octagonales en sinergia con las disposiciones internacionales.

Actualmente, Colombia se encuentra en una etapa de transición respecto a la aplicación de la normativa del etiquetado nutricional, la cual se establece de carácter obligatorio a partir de junio de 2024. Esta fase de transición permite la corrección de errores en los textos de la resolución original en cuanto a contenidos del acto administrativo, a nivel aritmético, de digitación, de transcripción o de omisión de palabras para los artículos 5, 6 y 7, que corresponden al etiquetado de advertencia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023). Además, se expide la autorización a la industria para el agotamiento de existencias de etiquetas y transitoriedad, contemplados en la Resolución 254 de febrero de 2023 (MSPS, 2023), por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA).

En Colombia, la evolución del reglamento en materia de etiquetado nutricional y las regulaciones conexas ofrece un panorama complejo y multifacético que exige una comprensión detallada desde diversas perspectivas. Aunque la legislación vigente otorga a las autoridades sanitarias los recursos legales necesarios para una implementación efectiva, los objetivos en salud pública se enfrentan a numerosos desafíos. Estos retos están profundamente arraigados en factores políticos, económicos, culturales y sociales que han influido en el contexto nacional y han impactado la aplicación del etiquetado

nutricional, revelando limitaciones que obstaculizan el progreso hacia una salud pública óptima. Para abordar estas limitaciones, es esencial realizar un análisis exhaustivo y sistemático de los factores que interfieren con la implementación efectiva del etiquetado nutricional. Futuros estudios deben centrarse en identificar y comprender estos desafíos en profundidad, desarrollando estrategias que no solo se alineen con el marco regulatorio existente, sino que también consideren las particularidades del contexto colombiano. La propuesta consiste en desarrollar un enfoque integrado que contemple la participación activa de todos los actores involucrados desde formuladores de políticas hasta consumidores y que promueva un marco regulatorio flexible y adaptativo, capaz de superar las barreras identificadas y avanzar hacia objetivos más ambiciosos en salud pública.

Como academia, debemos reconocer que la efectiva implementación de las regulaciones de etiquetado nutricional exige mucho más que la mera existencia de un marco normativo. Es crucial contar con un entorno que facilite tanto el cumplimiento como la aceptación de estas regulaciones. Los factores políticos, como los cambios en la administración gubernamental y las fluctuaciones en las prioridades políticas, pueden afectar de manera significativa la continuidad y el rigor en la aplicación de estas normativas.

Asimismo, las condiciones económicas juegan un papel determinante, ya que las industrias alimentarias deben ajustar sus procesos y etiquetados para alinearse con las regulaciones, lo que puede implicar costos adicionales. Estos costos, en ocasiones, son rechazados durante períodos de crisis económica o recesión, lo que dificulta aún más la implementación efectiva de las normas. En este contexto, es esencial que se desarrollen estrategias que no solo fortalezcan el marco

regulatorio, sino que también aborden estos desafíos contextuales para asegurar que las políticas de etiquetado nutricional cumplan sus objetivos de manera integral.

En este contexto, la formación adecuada de los profesionales de la alimentación y nutrición se vuelve indispensable. Estos profesionales deben contar con un sólido criterio y capacidad de análisis crítico para trabajar eficazmente con la industria de alimentos. La capacidad de estos expertos para interpretar y aplicar las regulaciones, así como para colaborar con la industria en la reformulación de productos y procesos, es crucial para superar las barreras que puedan surgir debido a las condiciones políticas y económicas. La academia debe, por lo tanto, centrarse en proporcionar una formación integral que no solo abarque el conocimiento técnico, sino también las habilidades necesarias para la gestión de los desafíos que presentan estos factores contextuales. Solo a través de una formación robusta y un análisis crítico, los profesionales podrán contribuir eficazmente a la implementación y mejora continua de las regulaciones de etiquetado nutricional, promoviendo así una mayor salud pública y un entorno alimentario más transparente y seguro.

En esta estructura, también se deberán considerar factores tanto culturales como sociales, determinantes para lograr la aceptación y comprensión por parte de la población, sobre la importancia del etiquetado nutricional. La educación nutricional y estrategias de sensibilización para la adopción de estilos de vida saludable pueden ser herramientas útiles para superar barreras sobre todo relacionadas con la aceptación. Sin embargo, Colombia con diversidades culturales y niveles variados de escolaridad, esta tarea puede ser compleja.

Ratificamos que las observaciones actuales subrayan la necesidad de que las futuras investigaciones no se limiten únicamente a la

evaluación de la normativa en sí misma, sino que también aborden los factores externos que influyen en su implementación. Es fundamental desarrollar estudios transdisciplinarios que integren perspectivas de salud pública, economía, ciencias políticas y sociales para obtener una comprensión completa de los desafíos y oportunidades que se presentan en este ámbito. En este sentido, un enfoque transdisciplinario permitirá analizar las complejas interacciones entre los distintos factores que afectan la aplicación efectiva de las políticas de etiquetado nutricional para poder diseñar estrategias que no solo aseguren el éxito de las políticas implementadas, sino que también promuevan la mejora integral de la salud pública.

La colaboración entre diversas disciplinas es, por tanto, esencial para crear soluciones que sean tanto viables como sostenibles en el contexto real del país. Según Antonovsky (1996), un modelo salutogénico que enfoca la promoción de la salud puede guiar el diseño de políticas y programas con miras a fomenten una mejor nutrición y estilos de vida saludables. Por lo tanto, la cooperación entre el gobierno, la industria y la academia será esencial para garantizar políticas de etiquetado nutricional basadas en evidencia científica rigurosa que estén disponibles para el público y se implementen de manera que maximicen su impacto positivo en la salud pública.

Al respecto, Colombia ha intensificado la implementación de normas más estrictas buscando garantizar que la información proporcionada a los consumidores sea clara, precisa y útil para tomar decisiones informadas sobre su alimentación. Por lo tanto, en la **Tabla 2**, se presenta una lista de chequeo útil para un etiquetado responsable, y se convierte en una herramienta fundamental para garantizar que los productos cumplan con los requisitos establecidos por la normativa vigente en Colombia.

Tabla 2*Lista de chequeo para un etiquetado responsable según la norma vigente en Colombia*

No.	ITEMS	RESOLUCION	OBLIGATORIO/ OPCIONAL	AREA RESPONSABLE
1	Nombre del Producto/Alimento	RESOLUCION 5109 DE 2005	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
2	Marca del Producto/ Alimento	Responsabilidad del Fabricante	OBLIGATORIO	Mercadeo
3	Ilustraciones/Imagen de Marca	Responsabilidad del Fabricante	OBLIGATORIO	Mercadeo
4	Sellos de Advertencia	Resolución 2492 de 2022 – 254 de 2023	OBLIGATORIO	Nutrición
5	Declaraciones de propiedades Nutricionales y de Salud	Responsabilidad del Fabricante	OPCIONAL	Nutrición
6	Contenido Neto y Peso Escurrido	RESOLUCION 5109 DE 2005	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
7	Tabla Información Nutricional	Resolución 810 de 2021	OBLIGATORIO	Nutrición
8	Lista de Ingredientes	RESOLUCION 5109 DE 2006	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
9	Frases precautorias	Responsabilidad del Fabricante	OBLIGATORIO	Innovación, investigación y Desarrollo
10	Instrucciones de Conservación	RESOLUCION 5109 DE 2005	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
11	Instrucciones de Uso	RESOLUCION 5109 DE 2005	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
12	Nombre y dirección del fabricante, distribuidor del producto/ Alimento y País de origen	RESOLUCION 5109 DE 2006	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
13	Registro, Permiso o Notificación Sanitaria	RESOLUCION 5109 DE 2007	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
14	Código de Barras	Responsabilidad del Fabricante	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
15	Identificación del lote	RESOLUCION 5109 DE 2006	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
16	Marcado de la fecha de vencimiento	RESOLUCION 5109 DE 2006	OBLIGATORIO	Innovación, Investigación y Desarrollo
17	Línea de atención al Cliente	Responsabilidad del Fabricante	OPCIONAL	Mercadeo
18	Educación Nutricional: Textos educativos en Alimentación/ Nutrición y/o Textos gastronómicos en Recetas	Responsabilidad del Fabricante	OPCIONAL, previa aprobación por INVIMA	Nutrición

Nota. Adaptado de “Consultoría Industria Alimentaria colombiana” por López (2010).

Además, esta lista permite a los fabricantes y reguladores evaluar de manera sistemática y efectiva la conformidad de las etiquetas con las disposiciones legales, promoviendo así la transparencia y la protección de la salud

de los consumidores. La adopción y rigurosa aplicación de esta lista contribuyen a un entorno alimentario más saludable y a una mayor confianza del público en la información nutricional disponible.

Esta reflexión nos invita a considerar que la industria alimentaria del futuro no se medirá únicamente por la capacidad de ofrecer alimentos atractivos para los consumidores, sino también por la habilidad de integrar principios científicos y éticos en el proceso de desarrollo y comercialización. Así, la industria alimentaria tendrá la oportunidad de jugar un papel crucial en la promoción de una salud pública global, sustentada en la transparencia y la responsabilidad.

Conclusiones

Partiendo de la reflexión y considerando que lo descrito está aún en desarrollo, se observan necesidades específicas de la industria alimentaria. El futuro demanda portafolios de alimentos más robustos y diferenciados que satisfagan las exigencias del consumidor, respaldados por evidencia científica, basados en investigación, innovación y desarrollo de alimentos responsables para promover la salud y el bienestar colectivo.

Lecciones aprendidas en el histórico proceso del etiquetado nutricional, honran el pasado de manera que los desafíos y oportunidades del presente que enfrentan las compañías de alimentos hace necesario prepararse con sólidas competencias en ciencias de la alimentación y nutrición. Promoviendo una alimentación completa, equilibrada, suficiente, adecuada, variada e inocua (CESAVI), para evitar riesgos asociados a problemas de salud pública o ser sujetos a nuevas normativas en la expansión a mercados seguros y sostenibles.

Se invita todos los sectores involucrados a asumir el reto de trascender en una visión incluyente que integre los distintos actores con perspectiva salutogénica y transdisciplinar para liderar alternativas de solución a problemáticas alimentarias/nutricionales con

enfoque multifactorial, donde se prioricen los determinantes de la nutrición y la salud, integrando la educación alimentaria y nutricional.

Reconocer al etiquetado nutricional como una oportunidad de educación nutricional con una perspectiva que potencia las Buenas Prácticas de Información, Comunicación y Educación en Alimentación y Nutrición (ICEAN).

La búsqueda de un sistema global y armonizado de etiquetado nutricional, que estandarice la información sobre alimentos y promueva la salud humana, avanza de manera gradual y se vislumbra distante la implementación de una política uniforme y obligatoria. Esto podría facilitar en los consumidores la adopción de dietas saludables y mejorar el acceso a la información nutricional.

Agradecimientos

Agradecemos a la institución educativa universitaria Pontificia Universidad Javeriana de Cali, quien respaldó nuestra producción científica y proporcionó el apoyo necesario para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Alcalá, R. (2022). Cuando las ánforas contenían el poder de un imperio. *El Mercantil*. <https://elmercantil.com/2022/01/15/cuando-las-anforas-contenian-el-poder-de-un-imperio/>
- Antonovsky, A. (1996). The salutogenic model as a theory to guide health promotion. *Health Promotion International*, 11(1), 11–18.
- Ares, G., Aschemann-Witzel, J., Curutchet, M. R., Antúnez, L., Machín, L., Vidal, L., & Giménez, A. (2018). Advertencias nutricionales y sustitución o abandono de productos: Implicaciones políticas derivadas de una simulación de compra repetida. *Calidad y Preferencia Alimentaria*, 65, 40–48.
- BBC Mundo. (2014). La primera guerra mundial y la economía: cómo la guerra transformó

- la industria. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/09/140904_economia_industria_primera_guerra_mundial_finde
- Barreiro, D. (2010). Guía para la implementación del sistema de etiquetado CDO en el sector alimentario español. *Eurocarne*, 42(183), 42.
- Benton, D. (2011). Vitamin status and psychiatric disorders. En D. Benton (Ed.), *Lifetime nutritional influences on cognition, behaviour and psychiatric illness* (pp. 359–391). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857092922.3.359>
- Bonney, A. (2022). Wine in history: Tales of adulteration and fraud From 18th-century. <https://worldoffinewine.com/2022/02/09/wine-in-history-ales-of-adulteration-and-fraud/>
- Capozzi, F., Magkos, F., Fava, F., Milani, G.P., Agostoni, C., Astrup, A., & Saguy, I.S. (2021). A multidisciplinary perspective of ultra-processed foods and associated food processing technologies: A view of the sustainable road ahead. *Nutrients*, 13(11), 3948. <https://doi.org/10.3390/nu13113948>
- Cartwright, M. (2016). *Trade in the Roman world*. *World History Encyclopedia*. <https://www.worldhistory.org/article/638/trade-in-the-roman-world/>
- Compañía de Galletas Noel. (1932). Una historia para compartir. <https://ciadegalletasnoel.com.co/historia/>
- Compañía de Galletas Noel. (2015). Una historia para compartir. <https://ciadegalletasnoel.com.co/historia/>
- Comisión del Codex Alimentarius. (1997). Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables (CAC/GL 23-1997). <https://www.codexalimentarius.org>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Panorama social de América Latina 2020*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2bbb5a3a-316e-40b1-8b94-d5d39fbd088b/content>
- Commission of the European Communities. (2007). White paper on a strategy for Europe on nutrition, overweight and obesity related health issues (COM (2007) 279 final). Brussels.
- Eurodiet. (2001). Core report: Nutrition & diet for healthy lifestyles in Europe, science & policy implications.
- Decreto 3075 de 1997 [Ministerio de Salud]. (1997). Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 y se dictan otras disposiciones. 31 de diciembre, 1997 <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3337&dt=S>
- Deelstra, H., Burns, D. T., & Walker, M. J. (2014). The adulteration of food, lessons from the past, with reference to butter, margarine and fraud. *European Food Research and Technology*, 239, 725–744. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2266-3>
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2012). CE 370. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2012:370E:FULL>
- Drewnowski, A., & Fulgoni, V. L. (2008). Nutrient profiling of foods: creating a nutrient-rich food index. *Nutrition Reviews*, 66(1), 23–39.
- Drichoutis, Andreas C. & Lazaridis, Panagiotis & Nayga, Rodolfo M., Jr., (2006). "Nutritional food label use: A theoretical and empirical perspective," 98th Seminar, June 29–July 2, 2006, Chania, Crete, Greece 10033, European Association of Agricultural Economists.
- European Food Safety Authority. (2009). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to various food products. *EFSA Journal*, 7(9), 1008. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1008>
- European Commission. (2016). Labelling: Competitiveness, consumer information and better regulation for the EU. European Commission. https://food.ec.europa.eu/system/files/2016-10/labelling-nutrition_better-reg_competitiveness-consumer-info_en.pdf.
- European Commission. (2018). Origin labelling. https://food.ec.europa.eu/safety/labelling-and-nutrition/food-information-consumers-legislation/origin-labelling_en
- European Commission. (2020). Front-of-pack nutrition labelling in the EU: A comparative analysis of mandatory, national and voluntary systems. https://food.ec.europa.eu/document/download/310ad7a1-aa8b-49f6-babf-55ec572f0f75_en?filename=labelling-nutrition_fop-report-2020-207_en.pdf
- FAO. (1985). Food labeling: A guide for developing countries. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- FAO. (2015). *Directrices generales para el control de los aditivos alimentarios* [PDF]. Codex Alimentarius. https://workspace.fao.org/sites/codex/Standards/CXG%2B2-1985/CXG_002s.pdf
- FAO, PAHO & UNICEF. 2023. Front-of-pack nutrition labelling in Latin America and the Caribbean – Guidance note. Santiago.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/02d85961-3c26-4d3b-ad67-a60c879693aa/content>

- Freedom Food Alliance. (2023). About us. <https://www.freedomfoodalliance.org/about-us>
- González, R., Branca, F., & Lartey, A. (2022). Supplementary appendix: Public health nutrition interventions. *The Lancet*, 399(10337), 273–284. <https://www.thelancet.com/cms/10.1016/j.lana.2022.100400/attachment/c436f5a9-d339-4e9a-ba7b-0dceccf847c9/mmc2.pdf>
- Gordon, A. (2019). The origins and evolution of nutrition facts labeling. *Food Dive*. <https://www.fooddive.com/news/the-origins-and-evolution-of-nutrition-facts-labeling/507016/>
- Hawley, K. L., Roberto, C. A., Bragg, M. A., Liu, P. J., Schwartz, M. B., & Brownell, K. D. (2013). The science on front-of-package food labels. *Public Health Nutrition*, 16(3), 430–439.
- Hersey, J. C., Wohlgenant, K. C., Arsenault, J. E., Kosa, K. M., & Muth, M. K. (2013). Effects of front-of-package and shelf nutrition labeling systems on consumers. *Nutrition Reviews*, 71(1), 1–14.
- Historical Eve. (2022). Ancient Egyptians invented wine labels. *Historical Eve*. Recuperado de <https://historicaleve.com/ancient-egyptians-invented-wine-labels/>
- History of Bread. (2018). Food and Drink Industry: History of bread. *Flour Advisory Board*. <https://www.fob.uk.com/wp-content/uploads/2020/02/FS9-History-of-Bread-Rev-03-18.pdf>
- House of Commons Health Committee. (2005). The Government's Public Health White Paper (Cm 6374): Written evidence. <https://www.parliament.uk/documents/commons-committees/health/63974.pdf>
- IQVIA. (2022). The evolution of regulatory affairs. Recuperado de <https://www.iqvia.com/library/white-papers/the-evolution-of-regulatory-affairs>
- Jephcott, H. (1960). To the prejudice of the purchaser. *Food, Drug, Cosmetic Law Journal*, 15(6), 359–372. Food and Drug Law Institute (FDLI).
- Kessler, D. A. (1989). The federal regulation of food labeling: Promoting foods to prevent disease. *New England Journal of Medicine*, 321(11), 717–725. <https://doi.org/10.1056/NEJM198909143211106>
- Kotler, P. & Keller, K. (2016). *Marketing Management* (15th ed.). Pearson Education. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=3155681>
- Ley 1355 de 2009 (14 octubre de 2009). Congreso de la República. Diario oficial. No. 47502 <https://www.mineducacion.gov.co/portal/normativa/Leyes/381525:Ley-1355-de-octubre-14-de-2009#:~:text=Ley%201355%20de%20octubre%2014,%20de%202009%3B%20por%20medio%20de,su%20control%2C%20atenci%C3%B3n%20y%20prevenci%C3%B3n>
- Ley 20.606 de 2012. (06 de junio de 2012). Ley sobre composición nutricional de los alimentos y su publicidad. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1041570>
- Ley 2120 de 2021 (30 de julio de 2021). Congreso de la República. Diario oficial. No. 51751 <https://www.andi.com.co/Uploads/LEY%202120%20DEL%2030%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>
- Ley 9 de 1979 (24 enero de 1979). Congreso de la República. Diario oficial. No.35308. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
- López, P. (2010). Consultoría industria alimentaria colombiana.
- López, P. (2016). Prácticas de alimentación - nutrición en el ámbito escolar: Una aproximación desde los usos de la lonchera (Tesis de maestría en comunicación). Universidad Autónoma de Colombia.
- Louis. (2021). Western civilization: a concise history Pressbooks.pub. Recuperado el 18 de julio de 2024, de <https://louis.pressbooks.pub/westernciv/chapter/chapter16>
- Malerba, F., & Orsenigo, L. (1994). The dynamics and evolution of industries (IIASA Working Paper WP-94-120). International Institute for Applied Systems Analysis.
- Martínez-Piva, J. M. (Ed.) (2019). Logros y desafíos de la integración centroamericana: aportes de la CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44590/S1801065_es.pdf
- McGovern, P. (2016). Ancient Wine: The Search for the Origins of Viniculture (Princeton Science Library Book 66) eBook.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2011). Dimensión de seguridad alimentaria y nutricional (Documento de plan decenal). <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-seguridadalimentariaynutricional.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). *Análisis de la información nutricional del etiquetado de alimentos envasados en Colombia*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/ain-etiquetado-alimentos-ensados.pdf>

- Ministerio de Salud Pública del Uruguay. (2018). Octágonos para etiquetado de alimentos. <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/comunicacion/noticias/octogonos-para-etiquetado-de-alimentos>
- Ministerio de Salud del Perú. (2019). Conoce las advertencias publicitarias (octógonos). <https://www.gob.pe/1066-ministerio-de-salud-conoce-las-advertencias-publicitarias-octogonos>
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2021). Resolución No. 810 de 2021. <https://www.minsalud.gov.co/Normatividad/Nuevo/Resolucion%20No.%20810de%202021.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Guía para el etiquetado de alimentos envasados. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/ain-etiquetado-alimentos-ensados.pdf>
- National Research Council (US) Committee on Diet and Health. (1989). *Diet and Health: Implications for Reducing Chronic Disease Risk*. Washington (DC): National Academies Press (US). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25032333/>
- NU Cepal. (2019). Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2019. El nuevo contexto financiero mundial: efectos y mecanismos de transmisión en la región. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/items/9dd11508-a70b-4d45-b930-63aa536978da>
- Organización Panamericana de la Salud. (2011). Plan de acción para la prevención de enfermedades no transmisibles en la Región de las Américas 2011-2015. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/18622>
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). Manual del Codex Alimentario: Directrices para el etiquetado de alimentos. <https://www3.paho.org/hq/dmdocuments/2015/cha-codex-alimentario.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2017). Ecuador, Chile y Bolivia defienden etiquetado de alimentos procesados. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12542:ecuador-chile-bolivia-defienden-etiquetado-alimentos-procesados&Itemid=0&lang=fr#gsc.tab=0
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). El etiquetado nutricional en el frente de los envases ayuda a los consumidores a elegir alimentos más saludables. <https://www.paho.org/es/noticias/9-12-2020-etiquetado-nutricional-frente-envases-ayuda-consumidores-elegir-alimentos-mas>
- Organización Panamericana de la Salud. (2022). Informe de situación: Nutrición en las Américas 2022. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56520/9789251367537_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Organización Mundial del Comercio. (1995). Colombia y la OMC. https://www.wto.org/spanish/thewto_s/countries_s/colombia_s.htm
- Organización Mundial del Comercio. (2015). Normas alimentarias: El vínculo vital entre la FAO/OMS y la OMC. https://www.wto.org/spanish/thewto_s/coher_s/wto_codex_s.htm
- Organización Panamericana de la Salud. (2014). Plan de acción para la prevención de la obesidad en la niñez y la adolescencia. <https://www.paho.org/es/documentos/plan-accion-para-prevencion-obesidad-ninez-adolescencia>
- OMS. (2004). Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud. Aprobado en la 57ava Asamblea de la Organización Mundial de la Salud, el 22 de mayo del 2004. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43037/924359222X_spa.pdf?sequence=1
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1996). La alimentación y el comercio internacional (Documentos técnicos de referencia 12-15, Vol. 3)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). Ley N° 20.606 - Ley sobre composición nutricional de los alimentos destinados al consumo humano. FAOLEX. [https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC114209/#:~:text=Chile%20\(Nivel%20nacional\)-,Ley%20N%2020.606%20%2D%20Ley%20sobre%20composici%20nutricional%20de%20los%20alimentos,alimentos%20destinados%20al%20consumo%20humano.](https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC114209/#:~:text=Chile%20(Nivel%20nacional)-,Ley%20N%2020.606%20%2D%20Ley%20sobre%20composici%20nutricional%20de%20los%20alimentos,alimentos%20destinados%20al%20consumo%20humano.)
- Organización Panamericana de la Salud. (2021). Advertencias nutricionales octogonales son las que mejor ayudan a los consumidores. <https://www.paho.org/es/noticias/9-3-2021-ops-advertencias-nutricionales-octogonales-son-que-mejor-ayudan-consumidores>
- Organización Panamericana de la Salud. (2016). Perfil de nutrientes. Recuperado el 30 de julio de 2024, <https://www.paho.org/es/perfil-de-nutrientes>
- Pan American Health Organization [PAHO]. (2015). Codex alimentarius: General principles of food hygiene. <https://www3.paho.org/hq/dmdocuments/2015/cha-codex-alimentario.pdf>

- Plata Becerra, D., Hoyos, M. A., & Arias, M. (2022). Mestizaje gráfico en Colombia entre 1900 y 1930: El diseño gráfico y la construcción de una imagen de nación moderna y civilizada. *Nuevo Mundo - Mundos Nuevos*, Cuestiones del tiempo presente. <https://doi.org/10.4000/nuevomundo.89980>
- Portal de Salud de la Junta de Castilla y León. (2016). 9ª Conferencia Mundial de Promoción de la Salud. Declaración de Shanghai sobre la promoción de la salud en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://www.saludcastillayleon.es/es/salud-estilos-vida/declaracion-shanghai-promocion-salud-agenda-2030-desarrollo>
- Ravasco, P., Anderson, H., & Mardones, F. (2010). Métodos de valoración del estado nutricional. *Nutrición Hospitalaria*, 25(supl. 3), 42–55. <https://doi.org/10.3305/nh.2010.25.3.4480>
- Rayner, M., Scarborough, P., & Williams, C. (2004). The origin of Guideline Daily Amounts and the Food Standards Agency's guidance on what counts as 'a lot' and 'a little'. *Public Health Nutrition*, 7(4), 549–556. <https://doi.org/10.1079/PHN2003552>
- Resolución 2013 de 2020 [Ministerio de Salud]. (2020). Por la cual se establece el reglamento técnico que define los contenidos máximos de sodio de los alimentos procesados priorizados en el marco de la Estrategia Nacional de Reducción del Consumo de Sodio y se dictan otras disposiciones. 9 de noviembre, 2013. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2013-de-2020.pdf>
- Resolución 2387 de 1999 [Ministerio de Salud]. (1999). Por la cual se oficializa la Norma Técnica Colombiana 512-1. 12 de agosto, 1999 https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCION%202387%20DE%201999.pdf
- Resolución 2492 de 2022 [Ministerio de Salud]. (2022). Por la cual se modifican los artículos 2, 3, 16, 25, 32, 37 y 40 de la Resolución 810 de 2021 que establece el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados y empacados para consumo humano. 13 de diciembre, 2022 https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion%20No.%202492de%202022.pdf
- Resolución 2508 de 2012 [Ministerio de Salud]. (2012). Por la cual se establece el Reglamento Técnico sobre los requisitos que deben cumplir los alimentos envasados que contengan grasas trans y/o grasas saturadas. 29 de agosto, 2012 <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col115903.pdf>
- Resolución 254 de 2023 [Ministerio de Salud]. (2023). Por la cual se corrige un error en la Resolución 2492 de 2022, modificatoria de la Resolución 810 del 2021. 21 de febrero, 2023 https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion%20No.%20254%20de%202023.pdf
- Resolución 2652 del 2004 [Ministerio de Salud]. (2004). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano. 20 de agosto, 2004. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCION%202652%20DE%202004.pdf
- Resolución 2674 de 2013 [Ministerio de Salud]. (2013). Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones. 22 de julio, 2013. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>
- Resolución 333 de 2011 [Ministerio de Salud]. (2011). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. 10 de febrero, 2011. https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/R_MPS_0333_2011.pdf
- Resolución 4603 de 1980 [Ministerio de Salud]. (1980). Por la cual se dictan normas sobre rotulado de productos alimenticios.
- Resolución 485 de marzo de 2005 [Ministerio de Salud]. (2005). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano. 25 de febrero, 2005. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion_0485_de_2005.pdf
- Resolución 5109 [Ministerio de Salud]. (2005). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano. 29 de diciembre, 2005. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion%205109%20de%202005.pdf>
- Resolución 6328 de 1984 [Ministerio de Salud]. (1984). Por la cual se crea un Comité Provisional y un Comité Asesor para el estudio y aprobación de la publicidad o propaganda de los alimentos y bebidas no alcohólicas. 18 de mayo, 1984. <https://rosdary.files.wordpress.com/2008/03/resolucion-6328-de-1984.pdf>
- Resolución 684 de 2012 [Ministerio de Salud]. (2012). Por la cual se define el Protocolo para la Aprobación de Nuevas Declaraciones de Propiedades de Salud de los Alimentos. 28 de marzo, 2012. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0684-de-2012.pdf>
- Resolución 719 de 2015 [Ministerio de Salud]. (2015). Por la cual se establece la clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo

- con el riesgo en salud pública. 11 de marzo, 2024. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0719-de-2015.pdf>
- Resolución 810 de 2021 [Ministerio de Salud y Protección Social]. (2021). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados o empacados para consumo humano. 16 de junio, 2021. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%20No.%20810de%202021.pdf
- Resolución 8688 de 1979 [Ministerio de Salud]. (1979). Condiciones de rotulado y etiquetado de alimentos. <https://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Protocolos%20de%20Vigilancia%20en%20Salud%20Publica/Alimentos%20Control%20Especial.pdf>
- Revista I Alimentación. (2015). Productos con historia nacional. Recuperado el 30 de julio de 2024, <https://www.revistaialimentos.com/es/noticias/productos-con-historia-nacional>
- Revista IALimentos. (2023). 10 años en la regulación de la industria de alimentos de Colombia. *Revista IALimentos*. <https://www.revistaialimentos.com/es/blog/10-anos-en-la-regulacion-de-la-industria-de-alimentos-de-colombia>
- Registro Oficial N° 555 Suplemento de 2011. (2011). Ley Orgánica de Regulación y Control de Poder de Mercado. 13 de octubre de 2011 <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC139407/>
- Shank, F. A. (1989). Health claims on food labels: The direction in which we're headed. *Journal of the Association of Food & Drug Officials*, 53, 45-49.
- Skrovan, S. (2017, October 16). Deep dive: The origins and evolution of Nutrition Facts labeling. *Nutrition Today*. <https://www.nutritiontoday.com/deep-dive-nutrition-facts-labeling>
- Taylor, C., & Wilkening, V. (2008). How the nutrition food label was developed, Part 1: The nutrition facts panel. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(4), 437-442. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18313424/>
- UNICEF. (2017). Technical guidance: Front-of-pack nutrition labelling: A 'how-to' guide for countries.
- Unión Europea. (1990). Directiva 90/496/CEE del Consejo, de 24 de septiembre de 1990, relativa al etiquetado de los alimentos en lo que respecta a su composición nutricional. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:31990L0496>
- U.S. Food and Drug Administration. (1938). Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, FD&C Act. <https://www.usp.org/sites/default/files/fda-exhibit/legislation/1938.html>
- U.S. Food and Drug Administration. (2010). Part I: The 1906 Food and Drugs Act and its enforcement. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.fda.gov/about-fda/changes-science-law-and-regulatory-authorities/part-i-1906-food-and-drugs-act-and-its-enforcement>
- U.S. Food and Drug Administration. (2024). How to understand and use the Nutrition Facts label. <https://www.fda.gov/food/nutrition-facts-label/how-understand-and-use-nutrition-facts-label>
- U.S. Department of Health and Human Services. (1988). The Surgeon General's Report on Nutrition and Health. DHHS Publication No. 88-50210. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Wartella, E. A., Lichtenstein, A. H., & Boon, C. S. (Eds.). (2010). *Front-of-Package Nutrition Rating Systems and Symbols: Phase I Report*. Washington (DC): National Academies Press (US). <https://doi.org/10.17226/12957>

Development of dark chocolate with inulin and sweetened with stevia extract obtained by pressurized hot water

Desarrollo de chocolate amargo con inulina y endulzado con extracto de estevia obtenido con agua caliente presurizada

Juan José Hinojosa-González^a  juanjosehinojosa.qa@gmail.com; Santiago Moisés Gallegos-Tintoré^a  santiago.gallegos@correo.uady.mx;
Arturo Francisco Castellanos-Ruelas^a  cruelas@correo.uady.mx; Luis Antonio Chel-Guerrero^a  cguerrer@correo.uady.mx
David Abram Betancur-Ancona^{a*}  bancona@correo.uady.mx

^aGrupo de Investigación Desarrollo Alimentario-FIQ-UADY. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203 Mérida, Yuc., México

*Corresponding author: bancona@correo.uady.mx

Received: 01/07/2024 Accepted: 28/08/2024

Citing, APA: Hinojosa-González, J. J., Gallegos-Tintoré, S. M., Castellanos-Ruelas, A. F., Chel-Guerrero, L. A., & Betancur-Ancona, D. A. (2024). Development of dark chocolate with inulin and sweetened with stevia extract obtained by pressurized hot water. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 32–47. <https://doi.org/10.23850/24220582.6447>

Abstract Because of its taste, texture, and aroma, chocolate is consumed as a way to generate pleasant sensations. Due to its high caloric density, moderate consumption is recommended. Seeking to offer the benefits of this product to a more selective public, the aim of this research was to determine the chemical composition and sensory properties of a sugar-free dark chocolate added with inulin and sweetened with stevia extract obtained by pressurized hot water, which was compared with a commercial dark chocolate and accompanied by a sensory analysis of the samples. A completely randomized statistical experimental design was used to compare the properties of the alternative and commercial chocolates. The treatments were carried out in triplicate and the results obtained were analyzed by descriptive statistics and one-way analysis of variance with 95 % confidence level. The results showed that the treatment of stevia leaves with hot pressurized water allowed an extraction of 41.51 g of steviol glycosides for rebaudioside A and 6.76 g for stevioside per 100 g of leaves subjected to processing. The chemical analysis of the alternative and commercial chocolates indicated that the fat and total dietary fiber contents showed no significant difference ($p > 0.05$) between the dark chocolates, unlike the other components. Moisture, ash, fat, and protein contents were slightly higher in the two types of chocolate, and carbohydrate content was 4.1 % lower than in the commercial chocolate. Both products had 0 % added sugars and high dietary fiber content (> 37 %), and there was a reduction of 100 kcal/100 g compared to the commercial brand. Consumer sensory evaluation showed a higher level of liking ($p < 0.05$) for the elaborated chocolate with respect to the commercial product in attributes such as appearance, color, and texture. These findings suggest the use of stevia extracts obtained by pressurized hot water as a non-caloric sweetener for healthy, alternative dark chocolates suitable for people with diabetes.

Keywords: Dark chocolate, dietary fiber, fructans, subcritical water, sugar-free.

Resumen El chocolate es un alimento que por su sabor, textura y aroma se consume para generar sensaciones placenteras. Más debido a su alta densidad calórica, se recomienda un consumo moderado. Buscando ofertar las bondades de este producto a un público más selectivo, el objetivo de esta investigación fue determinar la composición química y propiedades sensoriales de un chocolate amargo sin azúcar adicionado con inulina y endulzado con extracto de estevia obtenido con agua caliente presurizada, el cual se comparó con un chocolate amargo comercial, acompañada de un análisis sensorial de las muestras. Un diseño estadístico experimental completamente al azar fue utilizado para comparar las propiedades del chocolate alternativo con el comercial. Los tratamientos fueron realizados por triplicado y los resultados obtenidos fueron analizados por estadística descriptiva y análisis de varianza de una vía con un nivel de confianza del 95 %. Los resultados evidenciaron que el tratamiento de las hojas de estevia con agua presurizada caliente permitió una extracción de glucosidos de esteviol de 41,51 g para rebaudiósido A y 6,76 g para esteviósido por cada 100 g de hojas sometidas a procesamiento. El análisis químico de los chocolate alternativo y comercial, indicó que los contenidos de grasa y fibra dietética total no mostraron diferencia significativa ($p > 0,05$) para el chocolate amargo elaborado y el producto comercial, contrariamente a los demás componentes. Los contenidos de humedad, cenizas, grasa y proteína fueron ligeramente mayores en los dos tipos de chocolate, en tanto la cantidad de carbohidratos totales fue 5,5 % menor en el chocolate amargo elaborado respecto al comercial. Ambos productos presentaron 0 % de azúcares añadidos y un elevado contenido de fibra dietética (> 37 %), con una reducción de 100 kcal/100 g de muestra respecto de la marca comercial en estudio. La evaluación sensorial de consumidores mostró un nivel de agrado mayor ($p < 0,05$) para el chocolate desarrollado frente al producto comercial, particularmente en los atributos de apariencia, color y textura. Los hallazgos representan una propuesta para el uso de extractos de estevia obtenidos con agua presurizada como endulzante no calórico de un chocolate oscuro, saludable y alternativo para personas con diabetes.

Palabras clave: Agua subcrítica, chocolate amargo, fibra dietética, fructanos, libre de azúcar.

Introduction

The word "chocolate" is derived from the classical Nahuatl word *chocolātl* (Minali *et al.*, 2020). The chocolate bar is a commercial product obtained after processing the fruit of the *Theobroma cacao* L. species. This type of chocolate is mainly composed of cocoa solids, cocoa butter, sugar, lecithin as an emulsifier, thickener agents such as gums, starch, inulin, and, in the case of milk chocolate, milk powder in varying concentrations (Cikrikci-Erünsal *et al.*, 2023). It is a brown and sweet product, a preparation of roasted and ground cocoa beans that can be made as a liquid, paste, or block and used as an ingredient in other foods. The earliest evidence of its use dates back to the Olmec in present-day Mexico, with evidence of chocolate drinks dating back to 1900 BC. Most Mesoamerican peoples prepared chocolate drinks, including the Maya and Aztecs.

Chocolate confections are one of the snacks that use emotional marketing, a communication strategy that focuses on generating enjoyable experiences at the time of purchase and before and after consumption (Merlino *et al.*, 2021). Chocolate consumption can modify, positively or negatively, the consumer's mental state by influencing their emotions and their cognitive and sensory responses. It is usually consumed in enjoyable situations; many people find it delicious because it has a characteristic texture, dissolves in the mouth, has a pleasant aroma, and has a slightly bittersweet taste (Merlino *et al.*, 2021).

Historically, dark chocolate is a food that has been used for medicinal purposes (Raza-Shah *et al.*, 2017). Its consumption has been reported since 500 AD and has been increasing in recent years due to the increased availability of commercial products. According to statistics provided by the Expert Market Research (2024), the world cocoa and chocolate market in 2022

was 14.5 billion dollars, with West Africa and Europe as the largest producer and consumer, respectively. Although it is a product with high consumption, it has been proven that adults with diabetes avoid consuming chocolate due to its sugar content. However, dark chocolate, high in polyphenols, has been proven to mitigate the harmful effects of hyperglycemia (Samanta *et al.*, 2022). Not all types of chocolate elicit the same glucose response; in a study examining the consumption of isocaloric doses of dark, milk, and white chocolate, white and milk chocolate had higher blood glucose levels than dark chocolate 30 min after ingestion (Marsh *et al.*, 2017). Furthermore, dark chocolate has been shown to improve plasma glucose levels during fasting and insulin resistance to a degree three times higher than milk chocolate (Leyva-Soto *et al.*, 2018).

In recent years, the challenge in the chocolate market has been to produce new products that meet specific consumer demands, such as low-fat, vegan, or sugar-free chocolates (Selvasekaran & Chidambaram, 2021), especially since there is serious concern about obesity and diabetes. 45 % of the world's population has been reported to have positive attitudes towards naturally sweetened foods and beverages (Ibrahim *et al.*, 2020). Sugar-free products widely use sweeteners, such as aspartame and acesulfame K, whose side effects, such as laxative effects and hyperactivity, still cause concern in those who consume them (Cikrikci-Erünsal *et al.*, 2023). Instead, the use of natural sweetener sources, such as *Stevia rebaudiana* Bertoni, could be appealing since they provide sweetness, nutritional value, and physicochemical properties that improve the quality of chocolate.

Stevia is a natural, calorie-free sweetener 250 to 350 times sweeter than sugar. It is extracted from the leaves of *S. rebaudiana*, a sweet plant native to northeastern Paraguay

and commercially available in many countries (Barbosa-Martín *et al.*, 2022). Its sweetness is due to the presence of glycosides, mainly stevioside and rebaudioside A, whose concentration in the extracts determines the level of sweetness (Aranda-González *et al.*, 2015). Among the methods for obtaining stevia glycosides, there is liquid extraction with different solvents: supercritical co-solvent CO₂, hot water, or alcohol used below their boiling points and at atmospheric pressure (Pól *et al.*, 2017). Unlike artificial sweeteners, stevia doesn't cause health issues and has several health benefits related to obesity and high blood pressure, possessing anti-diabetic activity (Chowdhury *et al.*, 2022). Regulation in the United States and Europe allows consumption up to a level of 4 mg/kg of body weight. There is little evidence that this sweetener poses a health risk or side effects like as mutagenicity, carcinogenicity, or teratogenicity (Iatridis *et al.*, 2022).

The use of high-density sweeteners in the production of sugar-free chocolates can decrease the viscosity and bulk properties of the final product (Homayouni-Rad *et al.*, 2012). However, the inclusion of starch or inulin as a texture modifier can improve these characteristics in chocolate-based products (Minali *et al.*, 2020). Therefore, the aim of this research was to develop a sugar-free dark chocolate, with added inulin and sweetened with stevia extract obtained by pressurized hot water, to determine its chemical composition and consumer sensory properties in comparison with a commercial dark chocolate.

Materials and methods

The samples of *S. rebaudiana* Morita II variety were obtained from productive plots of the Campo Experimental of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), located in Mococho,

Yucatan, Mexico (21°06'233''N 89°26'19''W). Leaves were selected from healthy plants, free of necrosis, cankers, pellets, or chlorosis on leaves, stems, and roots.

Extraction of glycosides from *S. rebaudiana* by pressurized hot water

The leaves (800 g of sample) were dried under shade and pulverized in a Thomas Model 4 Wiley Mill (Thomas Scientific, NJ, USA) to obtain flour that passed through 60 mesh (1 mm), which was then protected from light for later use.

The extraction of glycosides was performed by pressurized hot water in an extraction equipment model SFT-150 SFE/SFR System (Supercritical Fluid Technologies Inc., DE, USA) according to the Yildiz-Ozturka *et al.* (2014) method. This incorporates a high-performance air-driven pump, which can quickly produce the high pressures required for working with supercritical fluids, and has certain interlocks to provide safety precautions, preventing over-temperature or excessive pressure conditions. It has a restrictive valve that provides precise control over flow rates.

The extraction of the steviol glycosides was carried out punctually under the following conditions: 300 bar pressure, 30 min run time, 150 °C temperature, and 1:20 m/v stevia/water ratio (10 g/200 mL). Subsequently, the extracts were freeze-dried with a Labconco FreeZone 4.5 (Labconco Corporation, MO, USA) equipment at -47 °C and 0.7 mbars. Five runs were carried out to obtain sufficient material for the production of the chocolates. These parameters were established through preliminary experimental tests.

The contents of the glycosides rebaudioside A and stevioside were quantified following the methodology recommended by the Food and Agriculture Organization/World Health

Organization Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA, 2010), validated by Aranda-González *et al.* (2015). The samples were analyzed in triplicate, and the concentration was determined through the linear regression line obtained with the standards (rebaudioside A Sigma 01432 and stevioside Sigma S3572). The extraction yields of steviol glycosides (g dry extract/100 g leaf) was calculated according to Equation 1.

Eq 1.

$$\text{Steviol glycosides yields} = \frac{\text{g rebaudioside A or g stevioside (db)}}{100 \text{ g ground stevia leaf (db)}}$$

Chocolate elaboration

The ingredients were purchased in shopping malls located in Mérida, México. The chocolates were made with a standardized formulation through preliminary tests considering the Official Mexican Standard's criteria NOM-186-SSA1/SCFI-2002 (NOM, 2002), which indicates a minimum amount of 22.0 % cocoa butter and 18.0 % defatted cocoa for the dark chocolate denomination and NOM-086-SSA1-1994 (NOM, 1994), which specifies that fiber-added products are defined as containing 2.5 g/portion or more of fiber in relation to the content of the original food. The following proportions were used for

the preparation: cocoa butter (37.1 %), cocoa powder (24.6 %), Enature® agave inulin (20 %), sorbitol (7.56 %), water (5.7 %), vanilla (3.6%), soy lecithin (0.92 %), *S. rebaudiana* extract (0.47 %), and gum arabic (0.05 %), (Table 1).

Addition of inulin and sweetener

The procedure for the preparation of dark chocolate was done following the methodology by Minali *et al.* (2020). For the mixing stage, the inulin and stevia extract were placed in a metal container; then, water, vanilla, and sorbitol were added and stirred at medium speed with a stirrer Caframo RZ-1 (Caframo Limited, ON, Canada) until they were completely homogenized. Subsequently, the amount of cocoa butter was placed in a water bath, or double-boiling configuration, with constant agitation, and was started at a temperature of 45 °C to melt the fat and keep the mixture fluid. To avoid splashing, the cocoa powder was added while the agitation was slowed down. The mixture was stirred for 30 min, maintaining the temperature at 45 °C. To temper the mixture, water was heated to a temperature higher than 80 °C, and the heating and melting stage was done by placing the container with the mixture in a water bath while stirring continuously until the mixture reached 48 °C, when it was removed from the bath.

Table 1

Formulation used in the preparation of an alternative dark chocolate with inulin and sweetened with steviol glycosides extracted by pressurized hot water

Ingredient	Percent (%)
Cocoa butter	37.1
Cocoa powder	24.6
Inulin	20.0
Sorbitol	7.56
Water	5.7
Vanilla	3.6
Soy lecithin	0.92
<i>S. rebaudiana</i> extract	0.47
Gum arabic	0.05

For the temperature-lowering stage, the paste obtained was placed on top of a container with cold water and ice, mixing continuously until it reached 26 °C. The water bath was reheated, and the container with the chocolate was placed on top of it, continuously stirring it until 33 °C was reached. Finally, the paste was carefully placed in molds, avoiding the formation of bubbles. It was left to cool and then unmolded for its respective storage in refrigeration (4 °C).

Proximal chemical analysis and sensory evaluation were conducted for our alternative chocolate proposal, as well as for the commercial chocolate sample (dark chocolate with fiber and no added sugar from the commercial brand Tasty Dbs®), for comparison purposes. This commercial product was designed for the diabetic food market; it is made in Mexico, with presence in Latin America.

Chemical analysis

The proximate chemical composition was performed in triplicate (100 g were taken independently for each sample to be analyzed) according to the official methods described by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC).

- **The moisture** was based on the gravimetric determination of the weight loss from the sample dried at 100 °C in a convection oven until it reached constant weight according to method 925.10 (AOAC, 2005a).
- **Ash content** was quantified by burning the sample at 550 °C in a muffle for 4 h, method 923.03 (AOAC, 2005b).
- **Crude fat** of the samples was extracted with hexane for 4 h and evaluated as the percentage of weight after evaporation of the solvent, method 2003.06 (AOAC, 2012).
- **Crude fiber** was calculated after the sample was digested with sulfuric acid and sodium

hydroxide solutions, and the residue was calcined, method 962.09 (AOAC, 1990).

- **Crude protein** content was determined by the Kjeldahl method for nitrogen quantification, with 6.25 used as the protein conversion factor according to method 992.23 (AOAC, 2000).
- **Carbohydrates** were estimated as a difference of 100 % from the other chemical components and expressed as a nitrogen-free extract (NFE) according to AOAC (1990). The total dietary fiber (TDF) content was determined by the gravimetric enzymatic method proposed by McCleary (2023). Samples were subjected to sequential enzymatic digestion for starch and protein removal with α -amylase, protease, and amyloglucosidase.
- **The energy content** was determined according to the method described by Cohen & Schilken (1994), using a Parr 6100 calorimeter (Parr Instrument Co. Moline, IL, USA) with 1 g of sample for combustion; it was hermetically sealed, and oxygen was added at a pressure of 25 kg/cm². The terminals of the resistor were plugged into an electrical generator, the sample was combusted with the electrical system on, and the temperature rise was measured at regular intervals until it reached a maximum.

Consumer sensory preference test

The consumer sensory evaluation was performed using a liking rate test based on the methods by Civille & Carr (1995). It was conducted with 100 consumers or untrained panelists who evaluated the product elaborated and the commercial product (Tasty Dbs®). Because it was a consumer test, a single panel was used for all the evaluators. They all tasted the alternative and commercial chocolates in batches of 35 people based on the capacity of the sensory evaluation laboratory booths. A test with a 5-point affective hedonic scale was used for the attributes: appearance, color, aroma, taste, texture, and general acceptability according to their liking rating, considering a hedonic

5-point descriptor scale, where 1 represented "I dislike it a lot", 5 "I like it a lot", and the intermediate point 3 indicated indifference. Preference of chocolates (%) was evaluated to determine the predisposition to consume. With the results obtained from the questionnaires, the answers were tabulated with the values of the ratings. Panelists were provided with duly coded samples and asked to score their attributes to their liking rating. The samples were placed randomly, balanced and coded with three-digit numbers to avoid bias (Watts *et al.*, 1992). Affective tests are used when it is necessary to know the "affective state" of consumers for the product, and hedonic scales are used for this purpose. From the relative acceptance values, preference can be inferred. That is, the most accepted samples are the most preferred.

The sensory evaluation was performed in the Sensory Analysis Laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the Universidad Autonoma de Yucatan, Mexico. The two different dark chocolates were provided in small portion sizes (~5 g) and a glass of water for rinsing between samples. Each panelist marked with an "X" the expression that they best associated with the sample, according to the attribute and hedonic scale, and from highest to lowest degree of preference.

Information regarding the evaluation procedure was explained to the panelists before the test was conducted. All procedures performed were done in accordance with the ethical standards of the Universidad Autonoma de Yucatan, and the participants in the study signed an informed consent agreement.

Additionally, to carry out the analysis of the response variables in the sensory evaluation process of the two chocolates, a radar or spider chart in which the average value of the attributes

obtained for each sample is reported was generated to facilitate the comparison between them.

Statistical analysis

For the extraction yields of steviol glycosides (rebaudioside A and stevioside), the statistical analysis was performed using a Student's t-test for the comparison of means of two independent samples with a confidence level of 95 % ($\alpha = 0.05$).

A completely randomized experimental design was used to compare the properties of the alternative and commercial chocolates. The data obtained were analyzed with descriptive statistics and one-way analysis of variance (95 % confidence level) using the statistical software package Statgraphics Centurion version 18 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA).

Duncan's test was applied to determine significant differences between the means of the average values of the chemical composition and attributes according to the hedonic 5-point descriptor scale in the consumer sensory preference (appearance, color, aroma, taste, texture, and overall acceptability), and preference for chocolate (%) which were used as response variables to rate the experiment.

Results and discussion

Extraction of glycosides from *S. rebaudiana* by pressurized hot water

After averaging out the values obtained from each of the five experimental runs for the extraction of the compounds (steviol glycosides by the pressurized hot water method), a yield of 57.67 % dry extract was obtained from *S. rebaudiana* leaves subjected to treatment at high pressures (300 bar) using hot water as the extraction fluid. The amount of steviol glycosides obtained

with these conditions was 41.51 ± 0.7 g for rebaudioside A and 6.76 ± 0.13 g for stevioside per 100 g of leaf subjected to processing (Table 2). Steviol glycosides, the compounds responsible for the sweet taste, are about 200 to 300 times

sweeter than simple table sugar, and contain no carbohydrates, calories, or artificial ingredients (Minali *et al.*, 2020), which is relevant as an alternative for people with diabetes.

Table 2

Extraction yields of steviol glycosides from S. rebaudiana leaves by pressurized hot water

Steviol glycoside	Extraction yield g / 100g of leaf
Rebaudioside A	41.51 ± 0.7^a
Stevioside	6.76 ± 0.13^b

Note. ^{a-b} Data with different letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the glycosides compounds.

Yildiz-Ozturk *et al.* (2014) found that only temperature was a significant ($p < 0.1$) factor, whereas time and flow rate, individually, were not statistically significant ($p > 0.1$) for the extraction by water in subcritical conditions of rebaudioside A and stevioside. They also investigated the effect of different combinations of factors, like temperature and time, on the amount of rebaudioside A and stevioside yields when keeping the flow rate constant, finding maximum rebaudioside A (35.68 mg/g) and stevioside (38.67 mg/g) contents at a temperature of 125 °C, for 45 min, and flow rate at 4 mL/min. In our study, values were obtained well above those mentioned, so the extracts have a greater potential sweetening for use as a food ingredient. It is possible that the variation in temperature and exposure time, which was higher (150 °C for 30 min) in our study, improved or increased the concentration of rebaudioside A and stevioside per 100 g of sample. Studies, such as those reported by Németh & Jánosi (2019) and Kovačević *et al.* (2018), have also found improvements in the extraction of steviol glycosides by increasing the process conditions with hot pressurized water.

Pressurized hot water extraction has been optimized using a response surface methodology to maximize rebaudioside A extraction yields,

using the applied pressure (1.33 -1.99 bar), temperature (100 - 120 °C), extraction time (10 - 30 min) and the proportion of dry leaves and water (0.01 - 0.10 g/mL) as variables, obtaining rebaudioside A values between 5.87 and 10.63 g/100g of leaf (Németh & Jánosi, 2019). Kovačević *et al.* (2018) performed "green extraction" of steviol glycosides with pressurized hot water at different temperatures (100 - 160 °C), static extraction times (5 - 10 min), and with a constant pressure of 10.34 MPa. They obtained values between 7.49 and 9.09 g of stevioside per 100 g of leaf.

Some research has shown high solubility in water and hydroalcoholic solutions for steviol glycosides. A considerable increase in the amounts of glycosides extracted by pressurized hot water was found in comparison to the amount extracted in aqueous medium with a water bath reported by Woelwer-Rieck *et al.* (2010), who obtained yields of 15.20 ± 0.2 g rebaudioside A and 3.97 ± 0.003 g stevioside per 100 g of leaf. Pól *et al.* (2017) compared two solvents for extraction, water and ethanol, finding that the aqueous extract contained 22.53 mg of rebaudioside A/g stevia leaf and 41.96 mg of stevioside/g leaf, while the ethanol extract values for these glycosides were 33.76 mg/g and 14.84 mg/g leaf, respectively. These values were

10 to 15 times lower than those obtained in this study, showing the higher extraction efficiency with the pressurized hot water method.

Finally, with the pressurized hot water extraction technique used in this study, it can be said that a sufficient volume of *S. rebaudiana* extract rich in rebaudioside A and stevioside was obtained to add to the chocolate formulated in this research.

Chemical composition

In relation to the chemical composition of the chocolate bar formulas evaluated here, the results show the following:

Moisture values were between 1.02 and 1.17 %, the percentage being higher for the chocolate with added stevia. In addition, significant differences ($p < 0.05$) were found when comparing this variable (Table 3). These water levels are indispensable to provide the texture and palatability desired in this type of food. In both cases, the water content was less than 2 %, which favors the consistency of the chocolate because it is known that chocolates

with values higher than 2 % tend to present abnormal rheological behavior since the chocolate particles stick together and cause agglomeration, resulting in an increase in viscosity and a sensation of hardness during food consumption (Kusumadevi *et al.*, 2021).

Although the hardness variable was not evaluated in this study, it has been reported that the hardness of chocolate tends to be inversely correlated to moisture content. This behavior has been demonstrated by Saputro *et al.* (2017) when they investigated the impact of sucrose replacement with coconut sugar and palm sugar on the quality characteristics of dark chocolate. The presence of moisture in chocolate dissolves soluble solid particles or creates sticky patches on the surfaces of the particles, causing them to stick together and increasing the values of the flow parameters that affect mouthfeel. Velciov *et al.* (2021) reported similar moisture contents in dark chocolates with values between 1.22 and 1.39 %. They were low enough to maintain the stability and preservation of the dark chocolate, given the small amount of water available for the development of microorganisms or undesirable reactions.

Table 3

Extraction yields of steviol glycosides from S. rebaudiana leaves by pressurized hot water

Composition	Dark chocolate with inulin and Stevia	Commercial Product (Tasty Dbs®)
Moisture (g/100g)	1.17 ± 0.06 ^a	1.02 ± 0.01 ^b
Ash (g/100g)	1.42 ± 0.05 ^c	1.02 ± 0.11 ^b
Crude fat (g/100g)	39.48 ± 0.23 ^a	37.21 ± 0.38 ^b
Crude fiber (g/100g)	2.36 ± 0.28 ^a	2.29 ± 0.27 ^a
Crude protein (g/100g)	6.48 ± 0.11 ^a	5.29 ± 0.12 ^b
Carbohydrates as NFE (g/100 g)	49.09 ± 0.83 ^a	53.17 ± 0.58 ^b
Total dietary fiber (g/100 g)	33.02 ± 0.54 ^a	32.52 ± 0.77 ^a
Energy intake (kcal/100g)	445.9 ± 2.39 ^b	542.5 ± 1.93 ^a

Note. NFE = Nitrogen-free extract. ^{a-c} Data with different letters in the same row indicate a significant difference ($p < 0.05$).

As shown in **Table 3**, the samples showed ash of mineral residue amounts between 1.4 % for the experimental sample and 1% for the commercial product. Significant differences ($p < 0.05$) were found between the two samples, with the highest ash value found in the alternative chocolate, which indicates the presence of a higher mineral content that would ultimately translate into a more efficient product for the consumer.

Hence, the importance of consuming dark chocolate, as it provides important minerals such as iron, magnesium, zinc, copper, and phosphorus that are useful for the immune functions of the body, help maintain bone and tooth health, and can contribute to better sleep quality (Cinquanta *et al.*, 2016).

Regarding crude fat content, there was a ~2 % difference in the fat content of the elaborated dark chocolate (39.48 %) compared to the commercial product (37.21 %) (**Table 3**). In both cases, the content was high, which may be caused by an imbalance in the other chemical components of the product, particularly the non-inclusion of sugars in both formulations since, by reducing the sugar content in the formulation, the fat content is increased or concentrated and vice versa (the higher the sugar content, the lower the fat level) (Velciov *et al.*, 2021). However, the contents were lower than those reported by Oliveira *et al.* (2020), with 15 g of fat for a 34 g (~44 %) serving of sugar-free dark chocolate. This difference could be related to the amounts of fat that were taken into account in the design of our chocolate (37.1 g of fat per 100 g of chocolate mix with stevia extract) and for the commercial one with g of 29 g fat per 100 g of chocolate mix with sugar.

Besides, Barbosa de Melo *et al.* (2020) indicated that chocolate bars have a healthier fatty acid profile because of their unsaturated fatty acid content (30 - 39 %), with oleic acid,

considered responsible for reducing LDL (low-density lipoprotein) cholesterol levels, being the most common. Since a considerable amount of raw fat (~37 %) was used in the formulation of the alternative bar chocolate, it could be considered a relevant contribution of said fatty acids in our product, which should be determined and characterized in the future.

It is vital to consider the amount of fat to use in the design of chocolate for human consumption since it is known that the melting point of chocolate bars is highly influenced by fat content (Chen *et al.*, 2022), and it depends largely on the fatty acids contained in the fat, which plays a fundamental role in the mouthfeel of the product (Merlino *et al.*, 2021). The chocolates in the study were made with cocoa butter with high contents of fat and fatty acids such as stearic, palmitic, and oleic acids (Chang *et al.*, 2022), which possibly facilitates the melting of the product when tasted by the consumer. Another key factor in this process would be the temperature. The ideal temperature for melting chocolates made with cocoa butter is around 32 - 35 °C (Chen *et al.*, 2022). This temperature is close to the mouth temperature (Hussain *et al.*, 2018), so a pleasant sensation is expected when consuming due to the melting of the fat contained in them.

Regarding protein, the content was 1.2 % higher in the elaborated dark chocolate (6.48 %) than in the commercial product (5.29 %). In addition, statistical differences ($p < 0.05$) were presented between the contents of the two chocolates analyzed. In this sense, the chocolate produced in the present study is more beneficial due to the greater contribution of amino acids that make up its proteins, which represents a nutritional advantage for the consumer. Protein levels in commercial chocolate are in agreement with the values reported by Oliveira *et al.* (2020) with ~5.9 % (2 g of protein in a 34 g serving of chocolate), but both were lower than the chocolate produced in our study.

The total carbohydrate content was 4.1 % lower in the elaborated chocolate (49.09 %) than in the commercial brand sample (53.17 %). For this chemical component, statistical differences ($p < 0.05$) were found for the two chocolates analyzed. Similar behavior was reported by Asghari *et al.* (2023), finding significant differences ($p < 0.05$) between the samples in terms of total sugar for chocolate milk samples that were formulated using sugar, stevia, and inulin at different concentrations. According to the formulation, the samples will have a higher content of complex carbohydrates because, in both products, the amount of added simple carbohydrates was limited, which makes them suitable for consumption by people with diabetes.

Total dietary fiber content was high in both elaborated chocolate and the commercial chocolate (Table 1). Data indicates that the contents of crude fiber and total dietary fiber showed no significant difference ($p > 0.05$) between the elaborated chocolate (33.02 %) and the commercial product (32.52 %), contrary to the other components where there was a significant difference ($p < 0.05$) in the contents. This was probably due to the inclusion of inulin as an ingredient to moisturize the mixtures and stabilize the emulsions during the manufacturing process in both formulations (Homayouni-Rad *et al.*, 2012). The main contribution of inulin will be to the soluble dietary fiber fraction, which will provide physiological benefits such as increased food bolus volume, increased viscosity, and faster gastric emptying time by modifying the absorption of compounds such as carbohydrates and lipids, which are responsible for the increase in blood glucose (Williams *et al.*, 2014). Thus, the product elaborated will be an innovative food and a potential source of dietary fiber with prebiotic effects.

The last measurement parameter refers to energy intake. The caloric value for the elaborated product was almost 100 kcal less per 100 g of sample than the commercial brand

under study. Statistical differences ($p < 0.05$) were found for the calories of the processed chocolate (445 kcal/100g) with respect to the commercial sample (542 kcal/100g). The caloric value of chocolates depends essentially on the carbohydrates and fat present in their formulation (Selvasekaran & Chidambaram, 2021). Because of its lower caloric value, the dark chocolate produced in the present study would have a low glycemic index, would not cause large spikes in blood sugar levels, and could help maintain healthy blood vessels and smooth circulation, which protects against type II diabetes and obesity (Patel *et al.*, 2019).

This same behavior was found by Oliveira *et al.* (2020) with values of ~441 kcal/100g (150 kcal per 34 g serving) for a sugar-free dark chocolate compared to ~567 kcal/100g (193 kcal per 34 g serving) for a conventional dark chocolate. This, together with the reduction of total carbohydrates and the contribution of dietary fiber, is beneficial to consumers' health, particularly for people with diabetes. Some studies by Greenberg (2015) suggest a negative association between chocolate consumption and the risk of diabetes mellitus since cocoa and chocolate have beneficial effects on insulin resistance, oxidative stress, and inflammation that play important roles in the pathogenesis of diabetes.

In general terms, it could be said that the chemical properties and the addition of stevia as a sweetener make our chocolate proposal a product with ample possibilities to meet, through chocolate bars, the nutritional needs of a public that requires special attention.

In the future, this proposal could be strengthened with the analysis of the determination of fatty acids, amino acid contribution, the evaluation of the glycemic index, the quantification of molecules such as polyphenols, flavonoids, catechins, among others, as well as their biological activity.

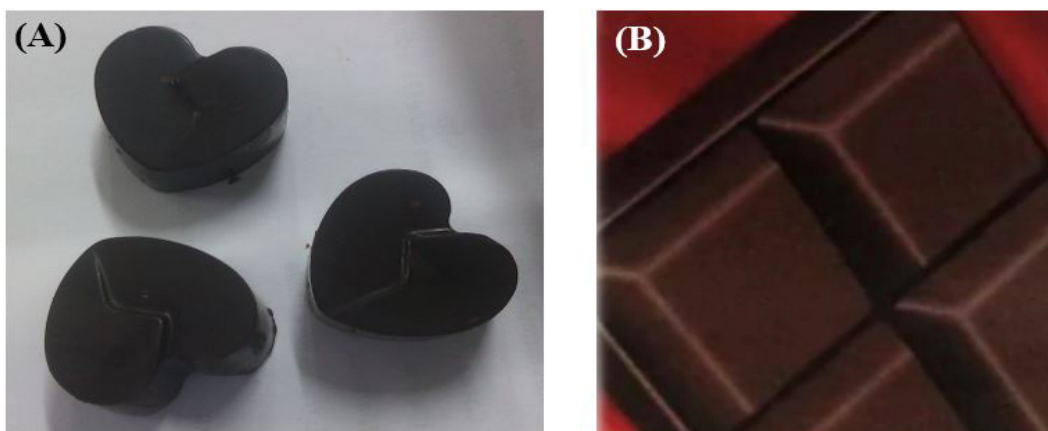
Consumer sensory preference

Figure 1 shows the three replicates of the elaborated chocolate according to the formulation established, with a trademark dark

chocolate included for comparison purposes. As can be seen, the visually perceived color and texture met expectations. These samples were used for sensory evaluation.

Figure 1

Elaborated dark chocolate (A) with inulin and sweetened with steviol glycosides extracted by pressurized hot water and (B) a commercial product™



The analysis of variance of data for attributes in the consumer sensory preference indicated significant differences ($p < 0.05$) for appearance, color, and texture with a higher level of acceptance for the elaborated chocolate than for the commercial chocolate (Table 4). Particularly, color acceptance of chocolate produced in this study (score 4.3) was higher than the commercial product (score 3.7),

according to several of the panelist comments. For aroma, taste, and general acceptability (overall), the consumers found no differences ($p > 0.05$) between the attributes of both chocolates (Table 4). A score of 4.3 was obtained for color and 4.2 for appearance on the 5-point descriptor scale, indicating a liking rating between the categories "I like it" and "I like it a lot" for the dark chocolate elaborated.

Table 4

Scores for sensorial attributes and preference (%) of dark chocolate with inulin and Stevia extract compared to a commercial one

Samples	Sensorial attributes						Preference %
	Appearance	Color	Aroma	Taste	Texture	Overall	
Dark chocolate with inulin and Stevia	4.2 ± 0.3a	4.3 ± 0.2a	3.8 ± 0.1a	3.0 ± 0.2a	3.8 ± 0.3a	3.4 ± 0.3a	82
Commercial Product (Tasty Dbs®)	3.3 ± 0.4b	3.7 ± 0.2b	3.8 ± 0.2a	3.2 ± 0.3a	3.1 ± 0.1b	3.3 ± 0.3a	18

Note. ^{a-b} Data with different letters in the same row indicate a significant difference ($p < 0.05$).

Minali *et al.* (2020) demonstrated the use of stevia as a sweetener for chocolates to be taste successful, using a mixture of cocoa powder, milk powder, stevia, unsalted butter, cocoa butter, cranberries, agar-agar, and starch as a thickening agent. Although the taste variable did not show significant differences ($p > 0.05$) between the two samples, the score obtained in the alternative chocolate remained close to the value obtained with the commercial chocolate. Possibly, the taste that our chocolate generated in the palate of the panelists is associated with the extract of *S. rebaudiana* leaves added as a sweetener and did not exaggerate the sweet taste, unlike what is offered with commercial chocolate. Sensory analysis was performed based on a 5-point hedonic descriptor scale, obtaining scores between 3 and 5 for the attributes of color, taste, texture, appearance, and general acceptability.

According to the panelists, texture was better in the elaborated dark chocolate (score 3.8) with respect to commercial chocolate (score 3.1) **Table 4**, which may be due to the inclusion of inulin as a stabilizing agent. This non-digestible carbohydrate acts as a texture modifier, resulting in improved viscosity and consistency in products where it is used as an ingredient or food additive (Homayouni-Rad *et al.*, 2012). This may be because the experimental level of inulin included is close to the value reported as optimal for chocolate elaboration, which was approximately 25 %, and it has been shown that with a higher value in the formulation, the chocolate would taste bitter (Cankar *et al.*, 2024).

The other attributes, taste and overall, presented lower ratings for both products but were always higher than the indifference point (**Table 4**). The panelists evaluated the variable "Taste" as the attribute with the lowest liking rating according to the scores (3.0 ± 0.2) but since our goal was to evaluate a formula suitable for a particular audience, the sweetness level was kept within the typical levels for dark chocolate. Overall, of the 100 respondents in the panel, 82 % showed preference for the chocolate proposed

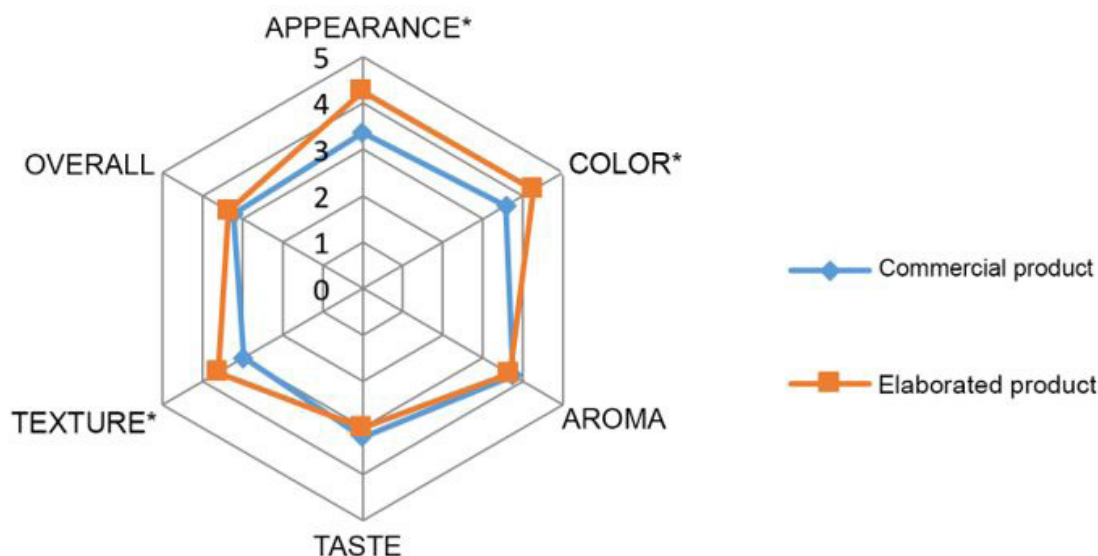
in this study. One limitation of the research was the use of a general consumer panel as a first approach. In the future, the study could be aimed at evaluating the acceptability of the alternative product to a particular public, such as people with diabetes, who may have a greater appreciation for the products studied since they are accustomed to consuming foods that are not very sweet or contain less sugar.

Complementing the analysis of the response variables in the sensory evaluation process of the two chocolates, the blue star plot in the radar diagram (**Figure 2**), representing the commercial chocolate, shows that the measurement of the all sensory variables of interest had a good performance by surpassing the midpoint of the hedonic scale, just like the alternative chocolate. If these results are compared with the orange star plot, representing the alternative chocolate produced in this study, the attributes of appearance, color, and texture that would make our product more sensorial appealing stand out. The radar or spider chart allows us to visually identify the discrepancies between the expected value and the real value in the attributes of chocolates, which allows us to identify the innovative capacity of the industry and the potential to develop them.

Chocolate is a delicious food that has conquered palates for centuries. It is not only a sensory pleasure but also a key element in the economy and culture. Its production can be approached from two points of view: the artisanal and the industrial (Seçuk & Seçim, 2024), considering for the purposes of this research, the first option. The operations used in artisanal production are similar to those employed in the present study, such as mixing, melting, conching, tempering, and molding, with the particularity of adding inulin and stevia extract in the mixing stage, with variations in the process that allowed the generation of an alternative proposal for chocolate bars that meets the requirements of the standard (NOM-186-SSA1/SCFI-2002).

Figure 2

Radar chart with the attribute profile generated from the sensory evaluation of dark chocolate with inulin and stevia extract compared to a commercial one



Note. (*) Indicates significant difference ($p < 0.05$).

According to Pereiro-López (2023), different market niches can be clearly differentiated: regular chocolate consumers who are looking for new flavors and new experiences; gourmet consumers who like to eat well and appreciate good food products; vegan, vegetarian, and flexi-vegetarian consumers; and finally, those who are looking for healthy options. The dark chocolate developed here, which is aimed at diabetic consumers, falls into the latter category.

Some challenges to interpreting key aspects of the chemistry of manufactured dark chocolates would include determining physicochemical properties: parameters such as particle size, viscosity, and melting behavior that can influence texture and mouthfeel for consumers. Adopting healthy eating habits, such as consuming foods low in calories and rich in bioactive compounds and dietary fiber, like the chocolates in this study, could help prevent these health problems. These chocolates may be suitable for people with diabetes and obesity. Based on the findings of this study and considering industrial production of the finished

product, studies on scaling up and technical and economic feasibility of the process must be contemplated. One of the very important characteristics to consider is to ensure that the cocoa and ingredients for making dark chocolate come from sustainable sources, where both the farmer and the environment are respected. These efforts are essential for the sustainable and responsible development of this agri-food sector.

Conclusions

Stevia rebaudiana extracts obtained by pressurized hot water (temperature of 150 °C, 300 bar for 30 min, and a stevia/water ratio of 1:20 m/v) were used as a sweetener for sugar-free dark chocolates with added inulin as a stabilizer and as a source of dietary fiber. An extraction yield of 57 % of steviol glycosides was obtained from the leaves.

The compositional analysis indicated that in the bar chocolate formulated in this study, a nutritionally balanced, rich in dietary fiber and

with a lower caloric intake (up to 100 kcal/100 g less than commercial dark chocolate) was obtained. Moisture levels were low to provide the texture and palatability of the chocolates, together with the contribution of potentially beneficial fats. Higher ash and protein values were found in alternative chocolate, which indicates the presence of a higher mineral and amino acid content that would make it a more nutritionally efficient product for the consumer.

Sensory analysis by consumers revealed preferences for the formulation proposed here, generating two predominant pleasure profiles: "I like it" and "I like it a lot". The consumer preference evaluation of both products showed higher liking rating values in the attributes of texture, appearance, and color, being higher for the elaborated chocolate compared to the commercial product.

Acknowledgments

This study is part of the activities of the Thematic Network CONHACYT, 12.3 "To Reduce and Valorize Food Losses and Waste: Towards Sustainable Food Systems."

References

- Asghari, A., Javadi, A., Nikniaz, Z., Pourali, F., & Nikniaz, L. (2023). Effects of sugar substitution with stevia on physicochemical and sensory properties of chocolate milk. *International Journal of Drug Research in Clinics*, 1, e7. <https://doi.org/10.34172/ijdr.2023.e7>
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). Official Method 962.09. Official Methods of Analysis of AOAC International 15th Edition., Virginia, Arlington, MA. USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2000). Official Method 992.23. Crude protein in cereal grains and oil seeds, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005a). Official Method 925.10 - Solids (total) and Moisture in Flour - Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005b). Official Method 923.03 - Ash of Flour (Direct Method): Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2012). Official Method 2003.06. Crude fat in feeds, cereal grains, and forages. Randall/Soxtec/hexanes extraction-submersion method, Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Aranda-González, I., Moguel-Ordoñez, Y., & Betancur-Ancona, D. (2015). Validation of HPLC-UV method for determination of minor glycosides contained in *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Biomed Chromatography*, 29, 733-738. <https://doi.org/10.1002/bmc.3349>
- Barbosa de Melo, C.W., Bandeira, M.J., Maciel, L.F., Bispo, E.S., Oliveira de Souza, C., & Soares, S.E. (2020). Chemical composition and fatty acids profile of chocolates produced with different cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Food Science and Technology Campinas*, 40, 326-333. <https://doi.org/10.1590/fst.43018>.
- Barbosa-Martín, E., Moguel-Ceballos, J. E., Rodríguez-Rosas, C., Valencia-Rivera, D. E., Zarza García, A. L. (2022). Effect of the consumption of a fibrous extract of *Stevia rebaudiana* stems on glycemia. *Horizonte Sanitario*, 21(2), 178-186. <https://www.scielo.org.mx/scielo.hp?pid=S200774592022000200178&script=sci-artet>.
- Cankar, K., Van Laere, K., Bosch, D. (2024). Genome editing for reduction of bitterness and for production of medicinal terpenes in Cichorium species. In: Riccio, A., Eriksson, D., Miladinović, D., Sweet, J., Van Laere, K., Woźniak-Gientka, E. (eds) *A Roadmap for Plant Genome Editing*. Springer, Cham. pp 373-384. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46150-7_21
- Chang, H.Y., Chen, J.R., Chen, Y.H., Xiao, Q., Chen, Y.L., & Yang, S.C. (2022). The preliminary results for evaluating cocoa butter's hepatoprotective effects against lipid accumulation and inflammation in adult male rats chronically fed ethanol. *Bioengineering*, 9(10), 526. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100526>
- Chen, Y., Wang, Y., Jin, J., Jin, Q., Akoh, C.C., & Wang, X. (2022). Formation of dark chocolate fats with improved heat stability and desirable miscibility by blending cocoa butter with mango kernel fat stearin and hard palm-mid fraction, *LWT-Food Science and Technology*, 156, 113066. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113066>.

- Chowdhury, A.I., Rahanur-Alam, M., Raihan, M.M., Rahman, T., Islam, S., & Halima, O. (2022). Effect of stevia leaves (*Stevia rebaudiana* Bertoni) on diabetes: A systematic review and meta-analysis of preclinical studies. *Food Science & Nutrition*, 10(9), 2868–2878. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2904>.
- Cikrikci-Erunsal, S., Sila-Basturk, Z., Canturkoglu, I., & Inci-Ozturk H. (2023). Development of 3D printed dark chocolate sweetened with carob extract. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 34, 100794. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100794>.
- Cinquanta, L., DiCesare, C., Manoni, R., Piano, A., Roberti, P., & Salvatori, G. (2016). Mineral essential elements for nutrition in different chocolate products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 67, 773–778. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1199664>.
- Civille, G.V., & Carr, B.T. (1995). *Sensory Evaluation Techniques* (5th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19493>.
- Cohen, B.L., & Schilken, C.A. (1994). Calorie content of foods: A laboratory experiment introducing measuring by calorimeter. *Journal of Chemical Education*, 71, 342–348. <https://doi.org/10.1021/ed071p342>.
- Expert Market Research. (2024). Global cocoa and chocolate market: analysis, trends and forecasts 2023–2028. <https://expertreports.com/global-cocoa-and-chocolate-market-analysis-trends-and-forecasts-2023-2028>.
- Greenberg, J.A. (2015). Chocolate intake and diabetes risk. *Clinical Nutrition*, 34, 129–33. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.02.005>.
- Homayouni-Rad, A., Delshadian, Z., Arefhosseini, S.R., Alipour, B., & Asghari-Jafarabadi, M. (2012). Effect of inulin and stevia on some physical properties of chocolate milk. *Health Promotion Perspectives*, 2(1), 42–47.
- Hussain, N., Agus, B.A.P., Rahim, S.N.F.A., & Halim, H.S.A. (2018). Comparison of quality characteristics between compound and pure milk chocolate. *MOJ Food Processing & Technology*, 6(3), 292–296. <https://doi.org/10.15406/mojft.2018.06.00178>.
- Iatridis, N., Kougioumtzi, A., Vlataki, K., Papadaki, S., & Magklara, A. (2022). Anti-Cancer properties of *Stevia rebaudiana*; more than a sweetener. *Molecules*, 27(4), 1362. <https://doi.org/10.3390/molecules27041362>.
- Ibrahim, S.F., Ezzati, N.S., Dalek, M., Firdaus, Q.A., Raffie, M., & Ain, M.R.F. (2020). Quantification of physicochemical and microstructure properties of dark chocolate incorporated with palm sugar and dates as alternative sweetener. *Materials Today Proceedings*, 31, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.235>.
- JECFA. (2010). Steviol Glycosides [Prepared at the 73rd JECFA (2010) and published in FAO JECFA Monographs 10 (2010)]. In: Combined Compendium of Food Additive Specifications (Online Edition). General Specifications for Enzymes Analytical Methods, Volume 4. (FAO JECFA Monographs 10). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Rome. <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/monograph10/additive-442-m10.pdf>.
- Kovačević, B.D., Barba, F.J., Granato, D., Galanakis, Ch.M., Herceg, Z., Dragović-Uzelac, V., & Putnik, P. (2018). Pressurized hot water extraction (PHWE) for the green recovery of bioactive compounds and steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Food Chemistry*, 254:150–157. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.192>.
- Kusumadevi, Z., Saputro, A. D., Dewi, A.K., Irmandharui, F., Oetama, T., Setiowati, A.D., Rahayoe, S., & Bintoro, N. (2021). Physical characteristics of compound chocolate made with various flavouring agents produced using melanger as a small scale chocolate processing device. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 653, 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012036>.
- Leyva-Soto, A., Chavez-Santoscoy, R.A., Lara-Jacobo, L.R., Chavez-Santoscoy, A.V., & Gonzalez-Cobian, L.N. (2018). Daily consumption of chocolate rich in flavonoids decreases cellular genotoxicity and improves biochemical parameters of lipid and glucose metabolism. *Molecules*, 23, 2220. <https://doi.org/10.3390/molecules23092220>.
- Marsh, C.E., Green, D.J., Naylor, L.H., & Guelfi, K.J. (2017). Consumption of dark chocolate attenuates subsequent food intake compared with milk and white chocolate in postmenopausal women. *Appetite*, 116, 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.050>.
- McCleary, B.V. (2023). Measurement of Dietary Fiber: Which AOAC Official Method of AnalysisSM to Use, *The Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 106, 917–930. <https://doi.org/10.1002/star.201500017>.
- Merlino, V.M., Mota-Gutierrez, J., Borra, D., Brun, F., Cocolin, L., Blanc, S., & Massaglia, S. (2021). Chocolate culture: Preferences, emotional implications and awareness of Italian consumers. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100374. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100374>.
- Minali, M., Tushar, D., Jasper, V., Ankita, B., Ananya, M., & Shamsha. (2020). Development and quality evaluation of the handmade chocolate using stevia and starch. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9, 915–921.

- Németh Á., & Jánosi, S.Z. (2019). Extraction of steviol glycosides from dried *Stevia rebaudiana* by pressurized hot water extraction. *Acta Alimentaria*, 48, 241–252. <https://doi.org/10.1556/066.2019.48.2.12>.
- Norma Oficial Mexicana NOM-186-SSA1/SCFI-2002. (2002). Productos y servicios. Cacao, productos y derivados. I Cacao. II Chocolate. III Derivados. Especificaciones sanitarias y Denominación comercial.
- Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. (1994). Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
- Oliveira, B., Falkenhain, K., & Little, J.P. (2020). Sugar-free dark chocolate consumption results in lower blood glucose in adults with diabetes. *Nutrition and Metabolic Insights*, 15, 1–7. <https://doi.org/10.1177/11786388221076>.
- Patel, N., Jayswal, S., & Maitreya, B.B. (2019). Dark chocolate: Consumption for human health. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 2887–2890.
- Pereiro-López, G. (2023). Ficolate, el chocolate enriquecido con recursos marinos como alternativa alimentaria y nutricional. *Agroalimentaria*, 29(56), 155–161. <https://doi.org/10.53766/Agroalim/2023.01.56.09>.
- Pól, J., Varadová-Ostrá, E., Karásek, P., Roth, M., Benesová, K., Kotlířková, P., & Čáslavský, J. (2017). Comparison of two different solvents employed for pressurised fluid extraction of stevioside from *Stevia rebaudiana*: methanol versus water. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 388, 1847–1857. <https://doi.org/10.1007/s00216-007-1404-y>.
- Raza-Shah, S., Alweis, R., Issa-Najim, N., Muhammad-Dharani, A., Ahmed-Jangda, M., Shahid, M., Nabeel-Kazi, A., & Arbab-Shah, S. (2017). Use of dark chocolate for diabetic patients: a review of the literature and current evidence. *Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives*, 7, 218–221. <https://doi.org/10.1080/2009666.2017.1361293>.
- Samanta, S., Sarkar, T., Chakraborty, R., Rebezov, M., Shariati, M.A., Thiruvengadam, M., & Rengasamy, K.R.R. (2022). Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. *Current Research in Food Science*, 15, 1916–1943. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>.
- Saputro, A.D., Van de Walle, D., Aidoo, R.P., Mensah, M.A., Delbaere, C., De Clercq, N., Van Durme J., & Dewettinck, K. (2017). Quality attributes of dark chocolates formulated with palm sap-based sugar as nutritious and natural alternative sweetener. *European Food Research and Technology*, 243, 177–191. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2734-9>.
- Seçuk, B. & Seçim, Y. (2024). Concept of artisan chocolate from the perspective of chocolatiers. *International Journal of Food Design*, 9 (1), 27–52. https://doi.org/10.1386/ijfd_00064_1.
- Selvasekaran, P., & Chidambaram, R. (2021). Advances in formulation for the production of low-fat, fat-free, low-sugar, and sugar-free chocolates: An overview of the past decade. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 315–334. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.008>.
- Velciov, A.B., Riviş, A., Lalescu, D., Popescu, G.S., Cozma, A., Kiss, A.A., Gherman, A.M., Anghel, I.M., Simescu, R.E., & Rada, M. (2021). Determination of some nutritional parameters of dark chocolate. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 27, 271–276.
- Watts, B.M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E. & Elias, L.G. (1992). Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá. 184 p. ISBN: 0-88936-564-4.
- Williams, R.A., Roe, L.S., & Rolls, B.J. (2014). Assessment of satiety depends on the energy density and portion size of the test meal. *Obesity*, 22, 318–324. <https://doi.org/10.1002/oby.20589>.
- Woelwer-Rieck, U., Lankes, C., Wawrzun, A., & Wüst, M. (2010). Improved HPLC method for evaluation of the major steviol glycosides in leaves of *Stevia rebaudiana*. *European Food Research and Technology*, 231, 581–589. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-010-1309-4>.
- Yildiz-Ozturka, E., Tagb, O., & Yesil-Celiktas, O. (2014). Subcritical water extraction of steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves and characterization of the raffinate phase. *The Journal of Supercritical Fluids* 95:422–430. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2014.10.017>.

Overproduction of gamma-aminobutyric acid and increased antioxidant capacity by *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4 through optimization by response surface methodology

Sobreproducción de ácido gamma-aminobutírico y aumento de la capacidad antioxidante por *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4 mediante ensayo de superficie de respuesta

Osmara Orantes-Pérez^a  osmiorpe7@gmail.com; Alfredo Vázquez-Ovando^{*a}  jose.vazquez@unach.mx;
Rito Coronel-Niño^a  rito.coronel@unach.mx; Gemelli López-Martínez^a  gemelli.lopez@unach.mx
Sonia Ruiz-González^a  sonia.ruiz@unach.mx; David Mejía-Reyes^a  jose.mejia@unach.mx

^aInstituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Boulevard Príncipe Akishino sin número, Colonia Solidaridad 2000 30798 Tapachula, Chiapas, México

*Corresponding author: jose.vazquez@unach.mx

Received: 15/05/2024 Accepted: 13/09/2024

Citing, APA: Orantes-Pérez, O., Vázquez-Ovando, A., Coronel-Niño, R., López-Martínez, G., Ruiz-González, S., & Mejía-Reyes, D. (2024). Overproduction of gamma-aminobutyric acid and increased antioxidant capacity by *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4 through optimization by response surface methodology. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 48–63. <https://doi.org/10.23850/24220582.6398>

Abstract Lactic acid bacteria (LAB) are the main producers of bioactive compounds (peptides, exopolysaccharides, antioxidant compounds, gamma-aminobutyric acid-GABA, etc.). Different strains produce at least one metabolite in high quantities as part of their metabolism, however, there are few reports of LAB with the capacity to produce two or more metabolites simultaneously. Due, the ability of 35 LAB strains previously isolated from dairy products, fermented beverages, and honey to produce gamma-aminobutyric acid (GABA) and the antioxidant capacity was determined. Based on analysis of variance and subsequent comparison of means, the *Lactiplantibacillus pentosus* strain was selected, and subsequently, using a Draper-Lin small composite design, the conditions of the culture medium (MRS broth) were optimized to achieve the highest production of GABA and increase the antioxidant capacity evaluated by the DPPH assay. The optimal conditions for obtaining 7.99 mg/mL of GABA were 100 mM glutamic acid, a pH of 6, a temperature of 40 °C, and 72 h of fermentation. To obtain the highest antioxidant capacity (6.87 µmol TE/mL), 200 mM glutamic acid and a pH of 4.0 were used. We reported an isolated strain of nondairy product (*L. pentosus* TEJ4) with the capacity to produce both bioactive, GABA, and antioxidants in a single fermentation process in a non-dairy defined medium, which is a feasible alternative to the normal process of producing bioactive compounds. **Keywords:** Dark chocolate, dietary fiber, fructans, subcritical water, sugar-free.

Keywords: Bioactive compounds, Draper-Lin small composite design, DPPH, GABA, lactic acid bacteria.

Resumen Las bacterias ácido lácticas (BAL) son las principales productoras de compuestos bioactivos (péptidos, exopolisacáridos, compuestos antioxidantes, ácido gamma aminobutírico-GABA, etc.). Distintas cepas producen al menos un metabolito como parte de su metabolismo, sin embargo, existen pocos reportes de BAL con capacidad para producir dos o más metabolitos de forma simultánea. Por lo anterior, se determinó la capacidad para producir GABA y la capacidad antioxidante de 35 cepas de BAL previamente aisladas de productos lácteos, bebidas fermentadas y miel. Basado en análisis de varianza y posterior comparación de medias, se seleccionó la cepa *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4 de todas las evaluadas y, posteriormente, utilizando un diseño compuesto reducido de Draper-Lin, se optimizaron las condiciones del medio de cultivo (caldo MRS) para lograr la mayor producción de GABA e incrementar la capacidad antioxidante evaluada mediante el ensayo DPPH. Las condiciones óptimas para obtener 7,99 mg/mL de GABA fueron, 100 mM de ácido glutámico, pH de 6, temperatura de 40 °C y 72 h de fermentación; mientras que, para obtener la mayor capacidad antioxidante (6,87 µmol TE/mL), se requirieron 200 mM de ácido glutámico y pH de 4,0. Se reporta una cepa aislada de producto no lácteo (*L. pentosus* TEJ4) con capacidad para producir dos compuestos bioactivos, GABA y antioxidantes en un solo proceso de fermentación en medio definido no lácteo, lo cual resulta una alternativa factible al proceso normal de producir compuestos bioactivos.

Palabras clave: Bacterias ácido lácticas, compuestos bioactivos, diseño compuesto reducido de Draper-Lin, DPPH, GABA.

Introduction

During the last twenty years, it has been recognized that Lactic acid bacteria (LAB), in addition to antimicrobial compounds, also produce many bioactive compounds that have beneficial effects on human health. Two examples of these compounds are antioxidants and gamma-aminobutyric acid (γ -aminobutyric, or GABA) (Santos-Espinosa *et al.*, 2020).

Antioxidants are substances capable, at relatively low concentrations, of competing with other oxidizable substrates and thus significantly inhibiting or slowing the oxidation of these substrates (Nikolaidis & Margaritelis, 2023). Different mechanisms of antioxidant substances, including free radical scavenging, reducing ability, transition metal ion catalyst binding, and chain reaction inhibition, have been reported (Ding *et al.*, 2017).

GABA is a four-carbon nonprotein amino acid that is produced from the decarboxylation of L-glutamic acid or its dissociated form, glutamate (Zhang *et al.*, 2023). GABA is considered a bioactive component with multiple physiological functions (Cui *et al.*, 2020). It acts as an important inhibitory neurotransmitter that receive, create, and sends chemical signals to the mammalian central nervous system. In addition, it also plays an important role in behavior, cognition, and the body's response to stress. GABA has been used as a supplement to treat conditions such as insomnia, depression (Luscher *et al.*, 2023), immune system disorders, anxiety, and menopausal syndrome. GABA also regulates blood pressure, helps fight obesity and improves visual cortical function.

LAB produce GABA during fermentation as a defense mechanism to maintain viability under acidic conditions (Gonzalez-Gonzalez *et al.*, 2019) through the action of the enzyme glutamate decarboxylase (GAD). In LAB,

GAD, which is dependent on the cofactor pyridoxal 5'-phosphate (PLP), catalyzes the α -decarboxylation of glutamic acid or its salts present in the medium (Xu *et al.*, 2017). The GABA production capacity of different LAB strains can vary and depends on different fermentation parameters or additives, including pH, temperature, culture time, PLP addition, and medium composition (Song & Yu, 2018).

Although both bioactive compounds (GABA and antioxidants) are widely present in microorganisms, plants, and animals, the advantage of producing them by culturing microorganisms is undeniable since they grow faster, require less space for cultivation, and are easier to control (Santos-Espinosa *et al.*, 2020).

Since 2019, in our research team (Cuerpo Académico de Biotecnología Molecular y de Alimentos-UNACH-CA-165, Mexico) several LAB have been isolated from dairy products (Cobo-Monterroza *et al.*, 2019; Morales-Nolasco *et al.*, 2020), fermented beverages (Barrios-Roblero *et al.*, 2019) and honey from stingless bees (Fernández-Roblero *et al.*, 2020) and have shown the ability to produce GABA and antioxidant compounds (Vázquez-Ovando, A., pers. comm.). In other studies, have shown that LAB isolated from dairy products (cheeses) have a high GABA production capacity (Pannerchelvan *et al.*, 2023). A high concentration of GABA was recently reported in Chiapas cream cheese, a Mexican artisanal cheese (Gonzalez-Gonzalez *et al.*, 2019).

On the other hand, Sahab *et al.* (2020) reported the production of GABA during the fermentation of mulberry beer, which suggests the presence of LAB with the capacity to synthesize GABA in various fermentation processes, including alcoholic fermentation. In this sense, Mexican artisanal dairy products and fermented beverages possess an unknown variety of LAB that may be a rich source of strains with

considerable GABA-producing capacity. There are many reports that focus on the production of one type of bioactive compound, either due to the nature of the metabolite, the bacteria, or the conditions of the production process. However, there are few reports that monitor two or more metabolites with the purpose of producing them (Woraratphoka *et al.*, 2022) or even increasing their production (Kuerban *et al.*, 2023; Wei *et al.*, 2023).

Therefore, the objectives of the present study were, first, to select LAB previously isolated from different foods based on its ability to produce GABA and their antioxidant capacity, and after that, to optimize the conditions of the fermentation media that increase the production of both metabolites.

Material and methods

Lactic acid bacteria

A total of 35 LAB strains were evaluated, all of which were deposited in the strain collection of the Instituto de Biociencias (IBC) of the Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH,

Tapachula, Chiapas, Mexico) and remain stored in media containing glycerol at -40°C . These strains were previously isolated from dairy products (Cobo-Monterroza *et al.*, 2019; Gálvez-Medina, 2020; Morales-Nolasco *et al.*, 2020), fermented beverages (Barrios-Roblero *et al.*, 2019) and honey from stingless bees (Fernández-Roblero *et al.*, 2020) (Table 1). They were selected for their reported properties: ability to inhibit pathogenic bacteria, ability to impart sensory characteristics such as those of traditional cheese, antifungal capacity, and probiotic potential. In addition, most strains showed positive reactions in qualitative tests for GAD enzyme activity or for producing antioxidants (unpublished data).

LAB strain reactivation

The strains were reactivated following the protocol of Santos-Espinosa *et al.* (2020). Briefly, 100 μL of the cultures stored under refrigeration were inoculating in 2 mL of MRS broth at $\text{pH } 6.5 \pm 0.2$. Subsequently, these fresh cultures were placed under anaerobic conditions for 24 h at 37°C until growth. This procedure was repeated at least three times until fresh cultures were obtained for subsequent tests.

Table 1

Origin of the strains evaluated for the determination of antioxidant capacity and GABA production

Source	Code	LAB	Reference
'Cotija' cheese	cm1C1, cm1C3, cm3C2, cm4.C2		
'Doble crema' cheese	dcm1C1, dcm2C3, dcm3C1.2		
'Quesillo'	qm1C3, qm1C5, qm1C5.1, qm4C3, qm4C1, qm4C1.1	Not characterized, catalase negative, Gram positive	Gálvez-Medina, 2020
Fresh cheese	fm2C2, fm4C1.1, fm4C1.2, fm1C3, fm4C1.21		
Bovine milk	P35, E23		Morales-Nolasco <i>et al.</i> , 2020
Stored 'crema' cheese	E12, E16, E41, A47		
'Crema' cheese	Q30		Cobo-Monterroza <i>et al.</i> , 2019
'Tepache'	TEP5, TEP6, TEP8 TEP12	<i>Lactocaseibacillus paracasei</i>	Barrios-Roblero <i>et al.</i> , 2019
'Tejuino'	TEJ1, TEJ7	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i>	
	TEJ4, TEJ10	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	
Stingless bee honey	FIM1, FIM2	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> Not characterized, catalase negative, Gram positive	Fernández-Roblero <i>et al.</i> , 2020

Screening for the antioxidant capacity of LAB

DPPH[•] (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging assay

The measurement of the antioxidant capacity was carried out with adaptations at the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method described by Vidal-Gutiérrez *et al.* (2020). The solution was prepared by weighing 2.5 mg of DPPH and dissolving it in 25 mL of pure methanol. Subsequently, the solution was adjusted to an absorbance of 1.0 ± 0.2 at 517 nm. The calibration curve was made by mixing 0, 5, 10, 15 and 20 μ L of Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromo-2-carboxylic acid) stock solution with a concentration of 1.2 mM (3.0035 mg of Trolox in 10 mL of pure methanol).

Then, the volumes were adjusted to 20 μ L with methanol, and finally, 280 μ L of the DPPH solution was added. Then, the mixture was left to stand for 60 min in the dark. For the samples, 10 μ L of fresh LAB culture, 10 μ L of methanol and 280 μ L of DPPH radical were added, the mixture was again left to stand in the dark for 60 min, and the absorbance was measured using a microplate reader (MR-96A) at a wavelength of 517 nm. The results were expressed in Trolox equivalents per volume of LAB culture (μ mol TE/mL). All determinations were performed in triplicate.

Screening for GABA-producing LAB

To select the potentially GABA-producing strains, the GAD colorimetric assay described by Santos-Espinosa *et al.* (2020) was used. Briefly, 2 mL of each fresh culture was centrifuged at $4\,696 \times g$ for 20 min at 4 °C. The pellet was recovered and resuspended in 2 mL of 0.9 % NaCl. Again, the suspension was centrifuged under the same conditions, and the pellet was homogenized with 0.5 mL of GAD solution (1 g of glutamic acid, 0.3 mL of Triton X-100, 90 g of NaCl, and 0.05 g of bromocresol green in 1 L of distilled water,

adjusted to pH 4.0) and then incubated at 37 °C for 4 h. After this time, the colorimetric reaction was observed, and the change in color from yellow-green to blue was considered positive. Additionally, the absorbances of the samples were read at a wavelength of 630 nm using a mixture of all reagents without the sample as a blank. The results are presented as absorbance values. This procedure was performed in triplicate for each strain.

From the tests for antioxidant compounds and GABA, the strain that generally presented the highest antioxidant capacity and highest absorbance in the GABA assay was selected. This strain (*Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4) was used in the optimization tests.

Optimization of bioactive compound production by surface composite design

With the selected LAB strain *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4, the fermentation conditions were evaluated to optimize the antioxidant capacity and the production of GABA using MRS broth supplemented with 100 μ M pyridoxal-5'-phosphate as a base.

Estimated response surface for desirable function

Considering the four most determinant factors (Table 2) for the production of bioactive compounds (pH, temperature, glutamic acid concentration and fermentation time), a full randomized rotatable Draper-Linn Surface Composite Design was adopted to explore their impact on the GABA and antioxidant capacity and analyze the interaction of each level of factors on the desired responses.

The design of experiment was generated within the domain of levels using Statgraphics Centurion v. XV software. Nineteen different runs (Table 2) or combinations of the levels of factors were prepared (eight combinations as the cube portion, eight combinations as the star

points, and three combinations as the center points). To make this design rotatable, for each factor, two axial points were chosen to be 1.68179 at the lower and higher extreme levels, and the runs were randomized in order to exclude the

block effects. The GABA concentration and the antioxidant capacity were used as dependent variables. The five levels of the factors evaluated were coded as shown in Table 2.

Table 2

Design Draper-Lin small composite arrangement with factors and their code for statistical analysis

Run	Factor				Coded			
	pH	Temperature (°C)	Glutamic acid (mM)	Fermentation time (h)	pH	Temperature	Glutamic acid	Fermentation time
1	6	40	200	36	1	1	1	-1
2	5.5	37	150	24	0	0	0	-168.179
3	4.5	30	100	36	-1	-1	-1	-1
4	5.5	37	150	48	0	0	0	0
5	6	40	100	36	1	1	-1	-1
6	4.5	30	200	36	-1	-1	1	-1
7	5.5	37	150	96	0	0	0	168.179
8	5.5	45	150	48	0	168.179	0	0
9	5.5	37	150	48	0	0	0	0
10	5.5	37	250	48	0	0	168.179	0
11	4	37	150	48	-168.179	0	0	0
12	6	30	200	72	1	-1	1	1
13	5.5	37	150	48	0	0	0	0
14	5.5	25	150	48	0	-168.179	0	0
15	7	37	150	48	168.179	0	0	0
16	4.5	40	100	72	-1	1	-1	1
17	6	30	100	72	1	-1	-1	1
18	5.5	37	50	48	0	0	-168.179	0
19	4.5	40	200	72	-1	1	1	1

Measurements

The determination of the antioxidant capacity was made following the procedure described previously (Vidal-Gutiérrez *et al.*, 2020) with adaptations.

The GABA content was determined following the method described by Madrigales-Reátiga *et al.* (2024) with adaptations. Each sample was

centrifuged at $8\,000 \times g$ for 10 min, after which 17 μL of the supernatant was collected in triplicate, 35 μL of borate buffer (0.2 M boric acid and 0.2 M sodium borate, pH 9) and 1 mL of 6 % phenol were added to the sample. After mixing well and cooling in ice water, 70 μL of 7.5 % sodium hypochlorite was added, shaken vigorously, and placed in a boiling water bath for 10 min. The solution was then immediately cooled by immersion in ice water for 5 min. The optical

density at 630 nm against a blank containing the reagents without the sample was read using a microplate reader (microplate reader MR-96A). A calibration curve was constructed using 125, 250, 375 and 500 µg/mL solutions of gamma-aminobutyric acid (Sigma-Aldrich®).

Data analysis

The absorbance (for GABA) and antioxidant capacity data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and subsequent comparison of means with Tukey's test ($p < 0.05$).

The process optimization was carried out by using response surface methodology (RSM), according to the Montgomery procedure (Myers *et al.*, 2009). Data obtained allowed us to build predictive quadratic polynomial models in terms of their regression coefficients for the processing variables. Additionally, the combination of the dependent variables allowed us to obtain a theoretical or to establish the predicted optimum of the GABA and AC. A mathematical model was obtained from RSM, so that the effect of the independent variables could be predicted with **Equation 1**:

Eq 1.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Where β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} represented the intercept, linear, quadratic, and interaction regression coefficients, respectively, and X_i and X_j represented the independent variables. The regression coefficients were obtained by means of multiple regression analysis ($p < 0.05$). An ANOVA of the regression parameters and the fitted model was performed ($p < 0.05$). The Statgraphics Centurion v. XV software was employed.

After the polynomial equations relating the GABA production and AC to the independent variables, and to find the best arrangement

between two responses and optimization, the desirability function was used. In this procedure, the measured properties of each response Y_i ($i=1, 2, \dots, m$), were transformed to a dimensionless desirability scale (d_i), defined as partial desirability function. The GABA and AC value were maximized in the optimization procedure. The desirability functions of these parameters were calculated by using the following equation: d_1 or $d_2 = (Y_i - Y_{min}) / (Y_{max} - Y_{min})$ where d_1 is the individual desirability of GABA production and d_2 is the individual desirability of CA. The values of Y_{max} and Y_{min} for GABA are 8.46 and 3.09 and the values of Y_{max} and Y_{min} for CA are 6.87 and 6.02 and Y_i is the experimental result.

Applying this parameter, the combination of the results (or different characteristics) with different scales in quantification was feasible. The values of the desirability function ranged between $d = 0$, for a completely undesirable response, and $d = 1$, for the target response. Once the function d_i was defined for each of the m responses of interest, an overall objective function (D), representing the *global desirability function*, was calculated by determining the geometric mean of the individual desirability in the experimental domain using the **Equation 2**:

Eq 2.

$$D = (\prod_{i=1}^m d_i)^{1/m} / m$$

Values of D other than zero imply that all responses are simultaneously in a desirable range; consequently, for a value of D close to 1, the combination of the different criteria is globally optimal, so far as the response values are near target values (Rafati *et al.*, 2009).

The response surface contours for the optimal region were obtained for GABA, CA and globally desirable functions. In addition, ANOVA and LSD test were performed for the GABA and antioxidant capacity data obtained from the optimization experiment.

Results and Discussion

LAB antioxidant capacity by DPPH radical scavenging assay

After analyzing the antioxidant capacity (AC) of the 35 LAB strains included in the study, measured as the ability to scavenge DPPH radicals, the results shown in **Figure 1** were obtained. Three bacterial strains; from stingless bee honey (TUX3, FIM2) and cream cheese (Q30) produced undetectable amounts of antioxidant compounds, therefore, they are not presented in **Figure 1**; that is, they were excluded from the study.

The highest AC corresponded to the strains coded TEJ1 and TEP8 (1.41 and 1.33 $\mu\text{mol TE/mL}$, respectively). Both strains were isolated from fermented beverages. In contrast, the strains that presented lower ACs were qm4C1.1 and dcm3C1.2 (0.75 and 0.71 $\mu\text{mol TE/mL}$, respectively), both of which were isolated from dairy products. Although several strains had significantly equal AC values (**Figure 1A**), the differences between the highest and lowest values were significant ($p < 0.05$). Antioxidant elements or molecules produced by LAB include bacterial exopolysaccharides (EPS), bioactive peptides, antioxidant enzymes and manganese ions (Łepecka *et al.*, 2023).

The differences in the AC of the strains evaluated here are therefore an indication that they produce some of these compounds in different proportions. It is also not ruled out that some of the strains isolated from fermented non-dairy products may also increase the amount of phenolic compounds during MRS fermentation and consequently increase the scavenging of DPPH radicals (Łepecka *et al.*, 2023).

Jitpakdee *et al.* (2021), when evaluating the AC of metabolites produced by LAB in milk, obtained values of 0.06 – 0.09 $\mu\text{mol TE/mL}$ after 72 h of fermentation, which coincide with

the AC values of the strains obtained from dairy products in our study but are lower than those of the strains from non-dairy products.

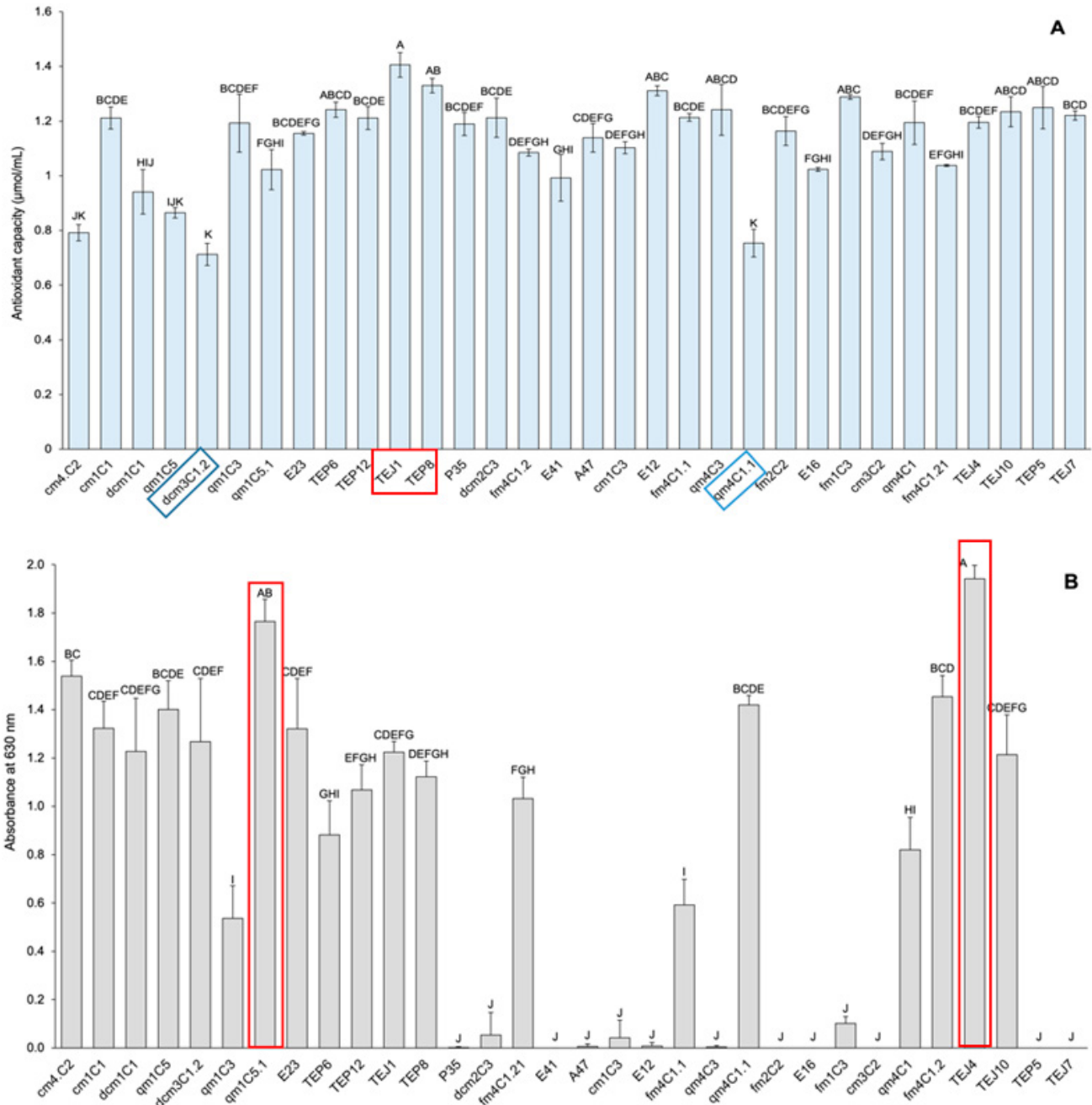
López-Rojo *et al.* (2017) obtained 37.5 $\mu\text{mol TE/mL}$ after 33 h of fermentation of pineapple water kefir. Their results revealed differences in AC between a matrix that uses milk and another in which water is the base for fermentation, even when lactic fermentation is predominant. Domínguez-Hernández *et al.* (2016), point out that the differences may be due to the concentration of molecules that prevent the formation of free radicals, as well as the action of intracellular and extracellular enzymes that vary during fermentation. The above suggests that some enzymes from strains TEJ1 and TEP8 could also have participated in the scavenge of DPPH radicals.

It has been reported that LAB-fermented beverages increase their antioxidant capacity compared even to dairy beverages (Ghiasi *et al.*, 2023). Similarly, Qadi *et al.* (2023) reported that cell-free supernatants from the fermentation of some LAB have greater antioxidant capacity (up to 79.3 %) than nonfermented MRS broth (33 %). The antioxidant mechanisms of LAB include the inhibition of ascorbate auto-oxidation (Ghiasi *et al.*, 2023), metal ion chelation and reactive oxygen species scavenging (López-Rojo *et al.*, 2017). The presence of oxidative free radicals, reactive oxygen species, OH $\cdot$, O $_2$ $\cdot^-$ and alkyl radicals during metabolic processes is known to initiate lipid and protein oxidation, leading to deleterious DNA damage and progressive cellular deterioration (Qadi *et al.*, 2023).

The results showed that the TEJ1 and TEP8 strains inhibited the formation of radicals such as DPPH to a greater extent. It has been reported that lactic acid fermentation (using several *Lactobacillus* strains) of sourdough increased the antioxidant capacity up to values of 0.5 $\mu\text{mol TE/g}$ against 0.3 $\mu\text{mol TE/g}$ for unfermented raw material (Drakula *et al.*, 2021).

Figure 1

Antioxidant capacity of the lactic acid bacterial strains (A), and absorbance values measured at 630 nm for the detection of GABA (B)



Note. Different letters between strains denote significant differences (Tukey test, $p < 0.05$). Red boxes indicate high values and blue boxes indicate low values. The values represent the average values ($n = 3$) and the line above the bar represents the standard deviation.

GABA qualitative assay

The spectrophotometric assays allowed us to analyze the strains that potentially synthesized GABA in the culture medium. The changes

in bromocresol green coloration are the consequence of proton consumption and were evident for 19 of the 32 bacterial strains analyzed (Figure 1B).

The rest of the strains (13) did not give blue coloration (bars with letter J in **Figure 1B**). Of the 24 bacterial strains isolated from dairy products, nine strains (28.1 %; cm4.C2, cm1C1, dcm1C1, qm1C5, dcm3C1.2, qm1C5.1, E23, qm4C1.1, and fm4C1.2) exhibited greater (positive) blue coloration and consequently higher absorbances (**Figura 1B**). Similarly, of the eight strains isolated from the fermented beverages, 3 strains (9.4 %; TEJ4, TEJ10, and TEJ1) showed intense blue coloration and higher absorbance values (**Figure 1B**). TEJ4 (isolate from fermented beverage) was the strain with the greatest potential to produce GABA, followed by the strain qm1C5.1 (isolate from cheese), with absorbance values of 1.94 and 1.76, respectively, which are significantly equal ($p > 0.05$) because they share the letter A in **Figure 1B**. The above demonstrates that the GDAR system (glutamate-dependent acid-resistance system) expresses greater activity in these strains (TEJ4 and qm1C5.1); since in rich media such as MRS the system is activated in the stationary phase of LAB growth (Yogeswara *et al.*, 2020).

Our findings are consistent with what was reported by Santos-Espinosa *et al.* (2020), who isolated 94 LAB strains from artisanal Mexican cheeses and reported that only 20.2 % (19 strains) presented a positive result for GAD enzyme activity. Moreover, in another study, Edalatian-Dovom *et al.* (2023) reported that only 28 % of the 50 strains also isolated from Iranian traditional dairy products tested positive. In our study, of the 35 strains analyzed, only 12 strains (34.3 % of the total) appeared to be GABA producers, which is an indirect indication of increased GAD enzymatic activity.

It has been reported that the LAB strains with the highest GABA production are those that have been isolated mainly from milk, cheese, and fermented milk. However, in this study, the LAB strain that presented the best results was isolated from tejuino (fermented beverage), possibly because, during fermentation, LAB can

produce a wide group of metabolites (Barrios-Roblero *et al.*, 2019), and its enzyme mechanism may be more active than that of other LAB strains.

The production of peptides or amino acids has been described concomitantly with GABA production in other strains of LAB (Tan *et al.*, 2024) and it has been reported that the production of glutamate derived from proteolysis also correlates with high GABA production. These authors also report that LAB produce other substances not yet characterized that stimulate (quorum sensing) GABA production in culture broths. It has been reported that the GAD enzyme may or may not be expressed, so its activity will depend largely on the genus, species, or strain. Therefore, the ability to produce GABA is strain dependent and is also reported to be proportional to the glutamate content present in the medium (Santos-Espinosa *et al.*, 2020).

The strain that produced the highest GABA content (TEJ4) was previously identified as *Lactobacillus pentosus* (Barrios-Roblero *et al.*, 2019) and later reclassified as *Lactiplantibacillus pentosus* (Zheng *et al.*, 2020). Although *L. pentosus* is less common than *L. plantarum* for producing GABA, there are works reporting high production with strains of *L. pentosus* isolated from Thai fermented herbs (Raethong *et al.*, 2022).

Optimization of the production of GABA and antioxidant compounds

L. pentosus TEJ4 was selected for the 19 experimental runs (factor combinations) of the study. The selection was based on its unusually high capacity to produce GABA and because it was among the strains with moderate antioxidant capacity in MRS medium. As mentioned before, optimization experiments focus on the production of a single metabolite. Here we propose the use of response methodology to increase the production of both GABA and antioxidant compounds using the same culture medium.

The analysis of the experiment revealed that the main effects of the factors (pH, temperature, glutamic acid, and fermentation time) as well as the interactions between them on the production of GABA and antioxidant capacity are shown in **Figure 2**. Glutamic acid concentration had a significant main effect on GABA production with p values of 0.0403. (**Figure 2A**), but contrary to what was expected, the effect was negative; that is, at a lower concentration of glutamic acid (50 or 100 mM), there was a greater GABA content. No factor exerted a significant effect ($p > 0.05$) on the antioxidant capacity or AC (**Figure 2C**).

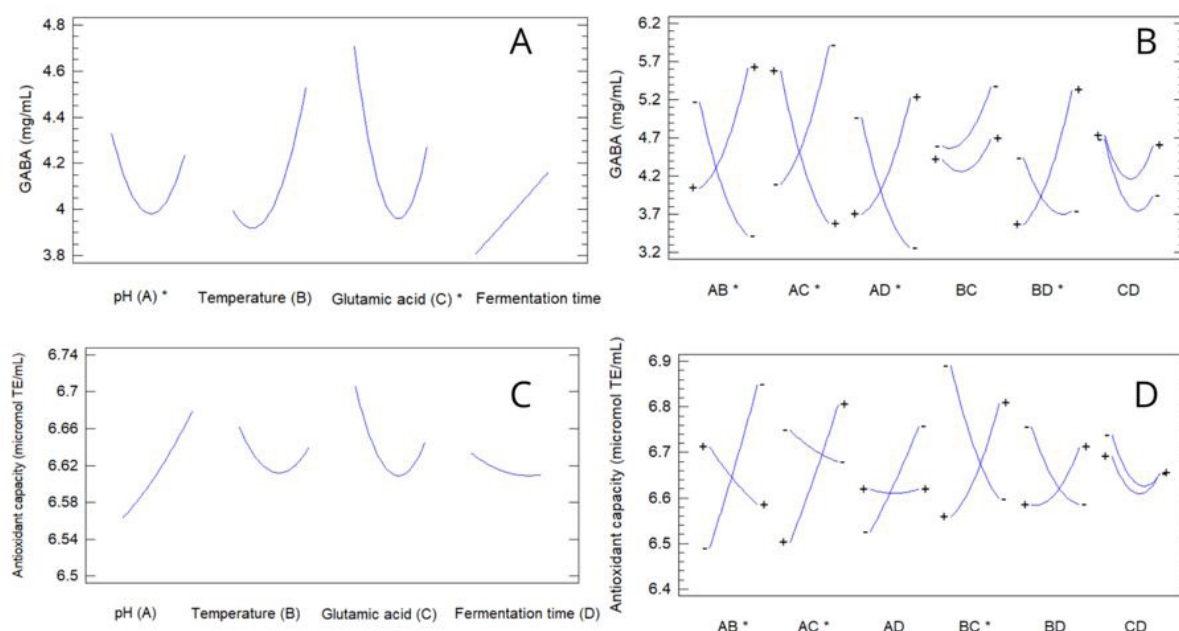
When the interactions between factors (A=pH, B=temperature, C=glutamic acid, D=fermentation time) were analyzed, four of the six interactions for production of GABA were found to be significant (**Figure 2B**). The interaction between glutamic acid and pH was the most significant ($p < 0.00001$) for increasing GABA production. When the lowest value of glutamic acid (< 100 mM) was combined with

the highest pH (6), the highest amount of GABA was obtained. This result indicates that under initial pH conditions close to 6.0, 50 or 100 mM glutamate stimulates the ability of *L. pentosus* TEJ4 to produce GABA. It has been reported that the GAD enzyme acts optimally in the bioconversion of glutamate to GABA at pH 4.4 (Huang *et al.*, 2016), 4.8 (Fan *et al.*, 2023), 5.5 (Li *et al.*, 2023) or 5 – 6 (Tanamool *et al.*, 2019) with different strains on different substrates.

Thus, during fermentation to produce GABA, the pH of the medium must be based on the optimal pH of the GAD enzyme since when it is 100 % active, there is a greater production of GABA without affecting the growth of the producing strain. The other interactions of the factors that were significant showed a positive relationship with the GABA production; that is, the interaction between high values of pH, temperature, glutamic acid, and fermentation time (coded as 0, 1, and 1.68179) increased the production of GABA.

Figure 2

Graph of the main effects (A, C) and interactions (B, D) between the factors on the production of GABA (A, B) and antioxidant compounds (C, D)



Note. Statistically significant factors or interactions ($p < 0.05$) are indicated with asterisks.

Park *et al.* (2021) reported that glutamate was decisive for GABA production, and that the optimal concentration was 133 mM (2.25 %) in a synthetic medium. This concentration is very close to 100 mM, which allowed us to obtain the highest GABA content in our study. Other studies have shown that lower concentrations of glutamate maximize GABA production. Santos-Espinosa *et al.* (2020) obtained the highest GABA production with 20 mM glutamate. Devi *et al.* (2023) reported the highest production of GABA with 59 mM (1 %) of glutamate, which is a concentration close to the minimum concentration used in this study (50 mM), and high GABA production was also detected. Concentrations lower than 50 mM can be evaluated in subsequent studies to verify the optimum reported in the present study for *L. pentosus* TEJ4.

Analysis of the interactions revealed that three of the six interactions for antioxidant capacity were significant (**Figure 2D**). The higher temperatures (37 °C and 40 °C) had the greatest positive effect when interacted interchangeably with concentrations of 200 and 250 mM of glutamic acid, and low pH value increased the AC. Glutamic acid may act as an energy source or as a substrate to increase the production of AC via peptide or glutathione synthesis (Ghazanfari *et al.*, 2023). Similarly, interactions of low pH (4.0) with the highest concentration of glutamic acid increased the AC. This result could be demonstrating that, although none of the factors individually favored the antioxidant capacity, the interaction could be favoring the possible production of those substances that are known to have antioxidant capacity in *L. pentosus* strains, such as exopolysaccharides (Mıdık *et al.*, 2020).

Our results coincide with those reported by Budiari *et al.* (2019), who used a mixed culture of LAB in the fermentation of banana juice to improve antioxidant activity, since at pH 4.0, the inhibition of DPPH radical was 67.95 %. Chen *et al.* (2021), when fermenting sourdough

for bread production with LAB strains, obtaining 6.82 mmol ET/kg at pH 4.6. In contrast, Kuo *et al.* (2021) selected among several strains the only strain with the highest level of antioxidant capacity in the fermentation of djulis (a starter food for wine production in Taiwan); compared to other LAB, the selected strain exhibited the highest capacity for the free radical scavenger DPPH (73.5 %) at pH 5.55.

During fermentation, the AC of media can increase because of the increase in the content of phenolic compounds and flavonoids produced by microbial hydrolysis (Hur *et al.*, 2014). However, some of the compounds that contribute to AC can be easily degraded due to their sensitivity to pH and temperature, among other factors (Wang *et al.*, 2017). Our results demonstrate that the antioxidant compounds produced (estimated as AC) are stable under the conditions evaluated. Jitpakdee *et al.* (2021), suggested that in addition to phenolic compounds, peptides with antioxidant capacity may also be produced, as is reported to occur in the fermentation of milk, where values of up to 0.1 µmol TE/mL have been reported.

Estimated response surface for desirable function

In concordance, the contours of the estimated response surface for the desirability function obtained from the analysis of the multiple response optimization for GABA (**Figure 3A**), antioxidant capacity (**Figure 3B**) and globally (**Figure 3C**), allow us to observe that the optimal production of GABA occurs when interactions occur between glutamic acid concentrations of 100 mM, a pH of 6.0, a temperature of 40 °C and a fermentation time of 72 h (**Figure 3A**). As previously mentioned, the most determining factor for GABA production is the concentration of glutamate and in the optimization study we verified that a lower concentration (100 mM) favored obtaining the correct value. This suggests that for *L. pentosus* TEJ4 this is the limiting concentration or also that the strain at pH 6.0 has the capacity to produce glutamate

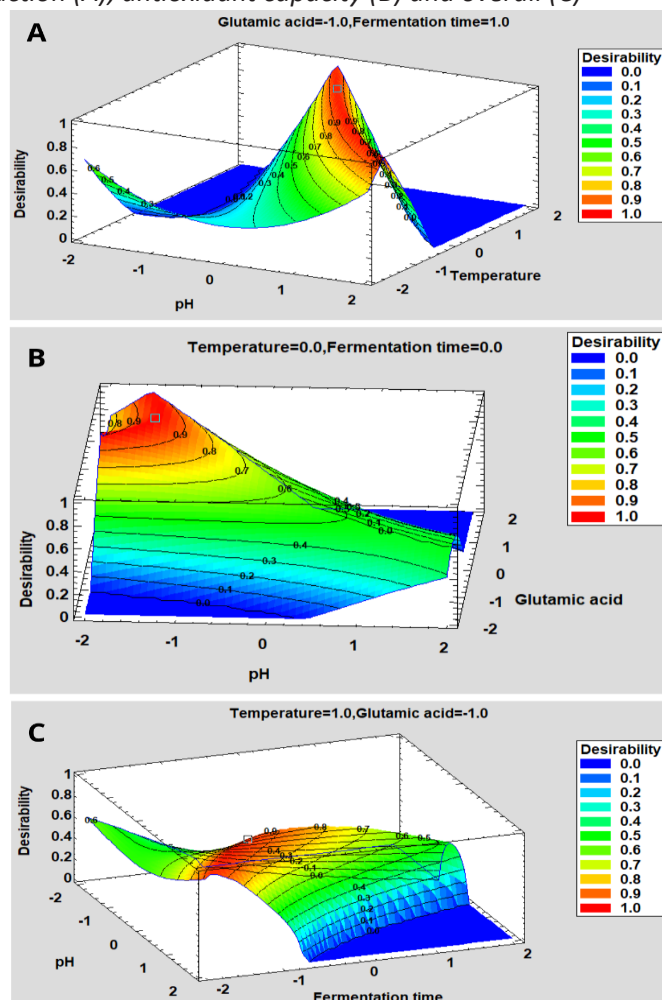
and then transform it into GABA (Zareian *et al.*, 2012). An experiment without addition of glutamate in MRS medium under the other optimized conditions could reveal which of these hypotheses is correct.

The above analyses demonstrate that the greatest production of GABA occurs in the stationary phase of *L. pentosus* TEJ4 under acidic conditions. The maximum value obtained for GABA was 7.99 mg/mL, while the minimum was 3.28 mg/mL (Table 3). The results analyzed by ANOVA and subsequent comparisons revealed highly significant differences between runs. From this result, one can also infer which combination of factors (run 6) approaches

the optimum. The values obtained are much greater than that reported for other strains and substrates, which range from 0.1 to 5.8 mg/mL (Gali *et al.*, 2022; Kanklai *et al.*, 2020; Pannerchelvan *et al.*, 2023). According to the above, an empirical relationship between the five factors that enhance the production of GABA was established: $GABA (mg/mL) = 3.9836 + B (0.267613) - C (0.21558) + A^2 (0.29928) + AB (0.835562) - AC (0.953659) + AD (0.808823) + B^2 (0.278725) + BD (0.616107) + C^2 (0.506045)$, where A represents the pH, B represents the temperature, C represents the concentration of glutamic acid, and D represents the fermentation time. 82.11 % of the variability in GABA concentration is explained by the model obtained.

Figure 3

Contours of the estimated response surface showing the desirability function for GABA production (A), antioxidant capacity (B) and overall (C)



The optimal production of antioxidant compounds (**Figure 3B**) was obtained when *L. pentosus* TEJ4 is grown at temperature of 37 °C, at low pH values (4.0 – 4.5), at high concentrations of glutamic acid (200 – 250 mM) and after 48 h of fermentation. The highest concentration of antioxidant compounds was 6.87 µmol TE/mL while the minimum concentration was 6.26 µmol TE/mL (**Table 3**).

The results analyzed by ANOVA and subsequent comparisons revealed significant differences between runs, although the values obtained between runs were within a narrow range. These results demonstrate that the optimal region is close to this value, which was almost six times higher than that obtained in the preliminary stage of this study (**Figure 1A**).

Table 3

GABA concentration and antioxidant capacity obtained from the experimental runs derived from the statistical arrangement

Run	pH	Temperature (°C)	Glutamic acid (mM)	Fermentation time (h)	Response	
					GABA (mg/mL)	Antioxidant capacity (µmol TE/mL)
1	6	40	200	36	3.42 ^{ab}	6.78 ^{def}
2	5.5	37	150	24	3.28 ^a	6.71 ^{def}
3	4.5	30	100	36	6.46 ⁱ	6.85 ^{ef}
4	5.5	37	150	48	4.31 ^{cde}	6.67 ^{cdef}
5	6	40	100	36	6.22 ^{hi}	6.45 ^{abc}
6	4.5	30	200	36	7.99 ^j	6.26 ^a
7	5.5	37	150	96	3.87 ^{abcd}	6.67 ^{cdef}
8	5.5	45	150	48	4.81 ^{ef}	6.76 ^{def}
9	5.5	37	150	48	4.39 ^{cde}	6.63 ^{bcd}
10	5.5	37	250	48	4.52 ^{de}	6.85 ^{ef}
11	4	37	150	48	4.49 ^{de}	6.59 ^{bcd}
12	6	30	200	72	3.75 ^{abc}	6.66 ^{cdef}
13	5.5	37	150	48	4.23 ^{cde}	6.40 ^{ab}
14	5.5	25	150	48	3.91 ^{abcd}	6.79 ^{def}
15	7	37	150	48	4.34 ^{cde}	6.79 ^{def}
16	4.5	40	100	72	4.02 ^{bcd}	6.87 ^f
17	6	30	100	72	5.43 ^{fg}	6.82 ^{def}
18	5.5	37	50	48	5.47 ^{fg}	6.84 ^{ef}
19	4.5	40	200	72	5.64 ^{gh}	6.87 ^f

Note. ^{a-j}Data with different letters indicate a significant difference (LSD test, $p < 0.05$) between runs.

To achieve the greatest production of antioxidant compounds, the relationships among only three double interactions and the factor C square were also empirically established by the following equation: AC (µmol ET/mL) = 6.61251 – AB (0.121712) + AC (0.0929933) + BC (0.135376) + C² (0.0626522), where A represents the pH, B represents the temperature, C represents the glutamic acid concentration. However, given the low contribution of the factors, an R² of 55.61 was obtained.

The optimal region for both (GABA and antioxidant capacity) is near to the other regions individually analyzed. pH between 5.5 and 6.0,

temperature of 40 °C, 100 mM of glutamic acid and 36 h of fermentation time (**Figure 3C**), were the optimal values that increase the desirability in the performance of both response variables analyzed.

Conclusions

Twelve of 35 strains of LAB isolated from dairy products, fermented beverages, and honey from stingless bees exhibited glutamate decarboxylase enzyme evidenced by the colorimetric reaction of GABA. All strains evaluated exhibited antioxidant capacity. For its ability to produce GABA and for its

antioxidant capacity, *Lactiplantibacillus pentosus* TEJ4 (isolated from tejuino, a fermented beverage) was selected. Using the response surface methodology, we find the optimal pH, temperature, glutamate concentration and fermentation time to maximize the production of GABA and antioxidant compounds in MRS medium. Here, we report an unusually high content of GABA (7.99 mg/mL) produced by a strain from a non-dairy product.

References

- Barrios-Roblero, C., Rosas-Quijano, R., Salvador-Figueroa, M., Gálvez-López, D., & Vázquez-Ovando, A. (2019). Antifungal lactic acid bacteria isolated from fermented beverages with activity against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Food Bioscience*, 29, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.03.008>
- Budiari, S., Maryati, Y., Susilowati, A., Mulyani, H., & Lotulung, P. (2019). The effect of lactic acid fermentation in antioxidant activity and total polyphenol contents of the banana (*Musa acuminata* Linn) juice. *AIP Conference Proceedings*, 2175, 020024. <https://doi.org/10.1063/1.5134588>
- Chen, H. Y., Hsieh, C. W., Chen, P. C., Lin, S. P., Lin, Y. F., & Chen K. C. (2021). Development and optimization of djulis sourdough bread fermented by lactic acid bacteria for antioxidant capacity. *Molecules*, 26, 5658. <https://doi.org/10.3390/molecules26185658>
- Cobo-Monterroza, R., Rosas-Quijano, R., Gálvez-López, D., Adriano-Anaya, L., & Vázquez-Ovando, A. (2019). Native lactic acid bacteria as a starter culture for the production of Mexican cream cheese. *Agronomía Mesoamericana*, 30, 855–870. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34673>
- Cui, Y., Miao, K., Niyaphorn, S., & Qu, X. (2020). Production of gamma-aminobutyric acid from lactic acid bacteria: A systematic review. *International Journal of Molecular Science*, 21, 995. <https://doi.org/10.3390/ijms21030995>
- Devi, P. B., Rajapuram, D. R., Jayamanohar, J., Verma, M., Kavithakē, D., Avany, B. A. M., Rani, P. U., Ravi, R., & Shetty, P. H. (2023). Gamma-aminobutyric acid (GABA) production by potential probiotic strains of indigenous fermented foods origin and RSM based production optimization. *LWT*, 176, 114511. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114511>
- Ding, W., Wang, L., Zhang, J., Ke, W., Zhou, J., Zhu, J., Guo, X., & Long, R. (2017). Characterization of antioxidant properties of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented yak milk in the Tibetan Plateau. *Journal of Functional Foods*, 35, 481–488. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.008>
- Domínguez-Hernández, C. R., García-Alvarado, M. A., García-Galindo, H. S., Salgado-Cervantes, M. A., & Beristain, C. I. (2016). Stability, antioxidant capacity and bioavailability of nano-emulsified astaxanthin. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15, 457–468. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62046829013>
- Drakula, S., Novotni, D., Mustač, N. Č., Voučko, B., Krpan, M., Hruškar, M., & Čurić, D. (2021). Alteration of phenolics and antioxidant capacity of gluten-free bread by yellow pea flour addition and sourdough fermentation. *Food Bioscience*, 44, 101424. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101424>
- Edalatian-Dovom, M. R., Habibi-Najafi, M. B., Rahnema-Vosough, P., Norouzi, N., Ebadi-Nezhad, S. J., & Mayo, B. (2023). Screening of lactic acid bacteria strains isolated from Iranian traditional dairy products for GABA production and optimization by response surface methodology. *Scientific Reports*, 13, 440. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27658-5>
- Fan, X., Yu, L., Shi, Z., Li, C., Zeng, X., Wu, Z., & Pan, D. (2023). Characterization of a novel flavored yogurt enriched in γ -aminobutyric acid fermented by *Levilactobacillus brevis* CGMCC1.5954. *Journal of Dairy Science*, 106, 852–867. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22590>
- Fernández-Roblero, S., Vázquez-Ovando, A., Grajales-Conesa, J., Rincón-Rabanales, M., & Coronel-Niño, R. (2020). Lactic acid bacteria isolated from the Stingless bee *Scaptotrigona mexicana* and partial characterization of their probiotic activity. *BioCiencias*, 7, Article 17. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e979>
- Gali, V., Venturi, M., Mari, E., Guerrini, S., & Granchi, L. (2022). Gamma-aminobutyric acid (GABA) production in fermented milk by lactic acid bacteria isolated from spontaneous raw milk fermentation. *International Dairy Journal*, 127, 105284. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105284>
- Gálvez-Medina, A. (2020). Capacidad antagónica de bacterias ácido lácticas contra patógenos contaminantes del queso fresco [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas, México].
- Ghazanfari, N., Fallah, S., Vasiee, A., & Yazdi, F. T. (2023). Optimization of fermentation culture medium containing food waste for l-glutamate production using native lactic acid bacteria and comparison with industrial strain. *LWT*, 184, 114871. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114871>
- Ghiassi, F., Hashemi, S. M. B., & Abedi, E. (2023). Effective enhancement of food oxidative stability induced by *Lactobacillus* strains: *In vitro* activity. *Food Control*, 153, 109912. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109912>
- Gonzalez-Gonzalez, C. R., Machado, J., Correia, S., McCartney, A. L., Stephen-Elmore, J., & Jauregui,

- P. (2019). Highly proteolytic bacteria from semi-ripened Chiapas cheese elicit angiotensin-I converting enzyme inhibition and antioxidant activity. *LWT*, 111, 449–456. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.039>
- Huang, Y., Su, L., & Wu, J. (2016). Pyridoxine supplementation improves the activity of recombinant glutamate decarboxylase and the enzymatic production of gamma-aminobutyric acid. *PLoS One*, 11, e0157466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157466>
- Hur, S. J., Lee, S. Y., Kim, Y. C., Choi, I., & Kim, G. B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.112>
- Jitpakdee, J., Kantachote, D., Kanzaki, H., & Nitoda, T. (2021). Selected probiotic lactic acid bacteria isolated from fermented foods for functional milk production: Lower cholesterol with more beneficial compounds. *LWT*, 135, 110061. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110061>
- Kanklai, J., Somwong, T. C., Rungsirivanich, P., & Thongwai, N. (2020). Screening of GABA-producing lactic acid bacteria from Thai fermented foods and probiotic potential of *Levilactobacillus brevis* F064A for GABA-fermented mulberry juice production. *Microorganisms*, 9, 33. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010033>
- Kuerban, D., Lu, J., Huangfu, Z., Wang, L., Qin, Y., & Zhang, M. (2023). Optimization of fermentation conditions and metabolite profiling of grape juice fermented with lactic acid bacteria for improved flavor and bioactivity. *Foods*, 12, 2407. <https://doi.org/10.3390/foods12122407>
- Kuo, H. C., Kwong, H. K., Chen, H. Y., Hsu, H. Y., Yu, S. H., Hsieh, C. W., Lin, H. W., Chu, Y. L., & Cheng, K. C. (2021). Enhanced antioxidant activity of *Chenopodium formosanum* Koidz. by lactic acid bacteria: Optimization of fermentation conditions. *PLoS One*, 16, e0249250. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249250>
- Łepecka, A., Szymański, P., Okoń, A., & Zielińska, D. (2023). Antioxidant activity of environmental lactic acid bacteria strains isolated from organic raw fermented meat products. *LWT*, 174, 114440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114440>
- Li, H., Li, B., Gao, L., Ge, R., Cui, X., Zhou, J., & Li, Z. (2023). Gamma-aminobutyric acid (GABA) promotes characteristics of *Levilactobacillus* sp. LB-2. *LWT*, 184, 115014. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115014>
- López-Rojo, J. P., García-Pinilla, S., Hernández-Sánchez, H., & Cornejo-Mazón, M. (2017). Estudio de la fermentación de kéfir de agua de piña con tibicos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16, 405–414. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62052087007>
- Luscher, B., Maguire, J. L., Rudolph, U., & Sibille, E. (2023). GABAA receptors as targets for treating affective and cognitive symptoms of depression. *Trends in Pharmacological Sciences*, 44, 586–600. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2023.06.009>
- Madrigales-Reátiga, L. F., Castro-Montoya, Y. A., Reyes-Moreno, C., Gutiérrez-Dorado, R., Salas-López, F., Perales-Sánchez, J. X. K. (2024). Chia seed germination and extrusion to increase nutritional value, phenolic compounds, GABA, antioxidant activity, and *in vitro* antihypertensive potential. *Agrociencia*, Early Access (58–4). <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i4.3043>
- Mıdık, F., Tokatlı, M., Bağder Elmacı, S., & Özçelik, F. (2020). Influence of different culture conditions on exopolysaccharide production by indigenous lactic acid bacteria isolated from pickles. *Archives of Microbiology*, 202, 875–885. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01799-6>
- Morales-Nolasco, E., Adriano-Anaya, L., Gálvez-López, D., Rosas-Quijano, R., & Vázquez-Ovando, A. (2020). Physicochemical, sensory, and microbiological characteristics of 'queso crema' cheese made with lactic acid bacteria as a starter culture. *Biotechnia*, 22, 34–36. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i1.1129>
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2009). Response Surface Methodology. Process and product optimization using designed experiments. 3rd ed. Wiley.
- Nikolaidis, M. G., & Margaritelis, N. V. (2023). Free radicals and antioxidants: appealing to magic. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 34, 503–504. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2023.06.001>
- Pannerchelvan, S., Rios-Solis, L., Faizal-Wong, F. W., Zaidan, U. H., Wasoh, H., Mohamed, M. S., Tan, J. S., Mohamad, R., & Halim, M. (2023). Strategies for improvement of gamma-aminobutyric acid (GABA) biosynthesis via lactic acid bacteria (LAB) fermentation. *Food & Function*, 14, 3929–3948. <https://doi.org/10.1039/D2FO03936B>
- Park, S. J., Kim, D. H., Kang, H. J., Shin, M., Yang, S. Y., Yang, J., & Jung, Y. H. (2021). Enhanced production of γ -aminobutyric acid (GABA) using *Lactobacillus plantarum* EJ2014 with simple medium composition. *LWT*, 137, 110443. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110443>
- Qadi, W. S., Mediani, A., Kasim, Z. M., Misnan, N. M., Sani, N. A., & Jamar, N. H. (2023). Biological characterization and metabolic variations among cell-free supernatants produced by selected plant-based lactic acid bacteria. *Metabolites*, 13, 849. <https://doi.org/10.3390/metabo13070849>
- Raethong, N., Santivarangkna, C., Visessanguan, W., Santiyanont, P., Mhuanong, W., & Chokesajjawatee, N. (2022). Whole-genome sequence analysis for evaluating the safety and probiotic potential of *Lactiplantibacillus pentosus* 9D3, a gamma-aminobutyric acid (GABA)-producing strain isolated from Thai pickled weed. *Frontiers in Microbiology*, 13, 969548. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.969548>

- Rafati, H., Talebpour, Z., Adlnasab, L., & Ebrahimi, S. N. (2009). Quality by design: Optimization of a liquid filled pH-responsive macroparticles using Draper-Lin composite design. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 98(7), 2401–2411. <https://doi.org/10.1002/jps.21625>
- Sahab-Novia, R. M., Suboto, E., Balia-Roostita, L., & Utama-Gemilang, L. (2020). γ -aminobutyric acid found in fermented foods and beverages: Current trends. *Heliyon*, 6, e05526. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05526>
- Santos-Espinosa, A., Beltrán-Barrientos, L. M., Reyes-Díaz, R., Mazorra-Manzano, M. A., Hernández-Mendoza, A., González-Aguilar, G. A., Sáyo-Ayerdi, S. G., Vallejo-Córdova, B., & González-Córdova, A. F. (2020). Gamma-aminobutyric acid (GABA) production in milk fermented by specific wild lactic acid bacteria strains isolated from artisanal Mexican cheeses. *Annals of Microbiology*, 70, 12. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01542-3>
- Song, H. Y., & Yu, R.C. (2018). Optimization of culture conditions for gamma-aminobutyric acid production in fermented adzuki bean milk. *Journal of Food Drug Analysis*, 26, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.024>
- Tan, X., Zhang, S., Liu, J., Xiang, W., Zhang, Q., & Tang, J. (2024). Effect of *Lactiplantibacillus plantarum* cell-free supernatant on the physiology, quorum sensing, transcription, and enhanced GABA production of *Enterococcus faecium*. *LWT*, 198, 115986. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115986>
- Tanamool, V., Hongsachart, P., & Soemphol, W. (2019). Screening and characterisation of gamma-aminobutyric acid (GABA) producing lactic acid bacteria isolated from Thai fermented fish (Pla-som) in Nong Khai and its application in Thai fermented vegetables (Som-pak). *Food Science and Technology*, 40, 483–490. <https://doi.org/10.1590/fst.05419>
- Vidal-Gutiérrez, M., Robles-Zepeda, R. E., Vilegas, W., Gonzalez-Aguilar, G. A., Torres-Moreno, H., & López-Romero, J. C. (2020). Phenolic composition and antioxidant activity of *Bursera microphylla* A. Gray. *Industrial Crops and Products*, 152, 112412. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112412>
- Wang, S., Amigo-Benavent, M., Mateos, R., Bravo, L., & Sarriá, B. (2017). Effects of *in vitro* digestion and storage on the phenolic content and antioxidant capacity of a red grape pomace. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68, 188–200. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1228099>
- Wei, L., Li, Y., Hao, Z., Zheng, Z., Yang, H., Xu, S., Li, S., Zhang, L., & Xu, Y. (2023). Fermentation improves antioxidant capacity and γ -aminobutyric acid content of Ganmai Dazao Decoction by lactic acid bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1274353. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1274353>
- Woraratphoka, J., Innok, S., Soisungnoen, P., Tanamool, V., & Soemphol, W. (2022). γ -Aminobutyric acid production and antioxidant activities in fresh cheese by *Lactobacillus plantarum* L10-11. *Food Science and Technology*, 42, e03121. <https://doi.org/10.1590/fst.03121>
- Xu, N., Wei, L., & Liu, J. (2017). Biotechnological advances and perspectives of gamma-aminobutyric acid production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2234-5>
- Yogeswara, I. B. A., Maneerat, S., & Haltrich, D. (2020). Glutamate decarboxylase from lactic acid bacteria—A key enzyme in GABA synthesis. *Microorganisms*, 8, 1923. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121923>
- Zareian, M., Ebrahimpour, A., Bakar, F. A., Mohamed, A. K. S., Forghani, B., Ab-Kadir, M. S. B., & Saari, N. (2012). A glutamic acid-producing lactic acid bacteria isolated from Malaysian fermented foods. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(5), 5482–5497. <https://doi.org/10.3390/ijms13055482>
- Zhang, Y., Zhu, M., Lu, W., Zhang, C., Chen, D., Shah, N. P., & Xiao, C. (2023). Optimizing *Levilactobacillus brevis* NPS-QW 145 fermentation for gamma-aminobutyric acid (GABA) production in soybean sprout yogurt-like product. *Foods*, 12(5), 977. <https://doi.org/10.3390/foods12050977>
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C., Harris, H., Mattarell, P., O'Toole, P., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G., Gänzle, M., & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70, 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>

Operaciones unitarias para la producción de chocolate negro, con leche y blanco. Una revisión sistemática

Unit operations for the production of dark, milk, and white chocolate. A systematic review

Franklin Rolando Villafuerte-Carrillo^{a*} fvillafuerte@uea.edu.ec; David Sancho-Aguilera^a dsancho@uea.edu.ec;
Miguel Ángel Enríquez-Estrella^a menriquez@uea.edu.ec; Edwin Fernando Basantes-Basantes^a ef.basantesb@uea.edu.ec
Hernán Patricio Ruíz-Mármol^a hrui@uea.edu.ec;

^aUniversidad Estatal Amazónica. Vía Napo Km 2 1/2, Paso Lateral S/N., Puyo, Ecuador

*Autor por correspondencia: fvillafuerte@uea.edu.ec

Recibido: 27/08/2024 Aceptado: 24/10/2024

Citar, APA: Villafuerte-Carrillo, F. R., Sancho-Aguilera, D., Enríquez-Estrella, M. A., Basantes-Basantes, E. F., & Ruíz-Mármol, H. P. (2024). Operaciones unitarias para la producción de chocolate negro, con leche y blanco. Una revisión sistemática. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 64–86. <https://doi.org/10.23850/24220582.6533>

Resumen El proceso de producción de chocolate implica varias etapas críticas con rangos de operación específicos, por ende, este artículo tuvo por objetivo analizar las operaciones unitarias para la producción de chocolate negro, con leche y blanco, a través de una revisión sistemática. El estudio siguió las directrices PRISMA aplicando criterios de elegibilidad y exclusión para la selección de artículos científicos, tesis, libros y normas. Esto permitió la inclusión final de 78 estudios de un total de 396 seleccionados para revisión. La investigación se enfocó en el proceso de búsqueda y selección por criterio de inclusión de documentos considerando la recepción del grano de cacao fermentado y seco hasta el almacenamiento del producto final. Los principales hallazgos incluyeron: A) el proceso de producción de chocolate con varias etapas cruciales, así: recepción del grano con un contenido de humedad del 6 % - 8 % del cacao; su tostado a temperaturas entre 110 °C - 160 °C por 5 a 120 min contribuyen al desarrollo del sabor característico del chocolate; la alcalinización eleva el pH de 5,2 a 7,5 disminuyendo la acidez del producto; el refinado de la masa de chocolate para obtener un tamaño de partícula de 15 - 35 micrones a temperaturas de entre 45 °C a 70 °C; el conchado de la masa de chocolate a 60 °C - 90 °C durante 6 - 20 horas mejora la textura y el perfil de sabor del chocolate; el templado del chocolate con un perfil de temperaturas específico para cada tipo de chocolate (por ejemplo, para chocolate con leche: 50 °C → 32 °C → 27 °C → 30 °C - 32 °C) es esencial para lograr la cristalización adecuada de la manteca de cacao, afectando la textura y apariencia del chocolate en tableta producto final; culminando con el almacenamiento del chocolate a temperaturas menores de 20 °C. Cada tipo de chocolate (negro, con leche y blanco) tiene variaciones en su proceso de producción y composición. En conclusión, los rangos de trabajo son cruciales para lograr las características sensoriales y de calidad deseadas en el producto final, y pueden variar según el tipo específico de chocolate que se esté produciendo.

Palabras clave: Conchado, refinado, templado, tostado.

Abstract The chocolate production process involves several critical stages with specific operating ranges; therefore, this article aimed to analyze the unit operations for the production of dark, milk, and white chocolate through a systematic review. The study followed PRISMA guidelines, applying eligibility and exclusion criteria for selecting scientific articles, theses, books, and standards. This allowed for the final inclusion of 78 studies out of a total of 396 selected for review. The research focused on the process of searching and selecting documents based on inclusion criteria, covering the stages from the reception of fermented and dried cocoa beans to the storage of the final product. The main findings included: A) the chocolate production process with several crucial stages, such as: reception of the cocoa bean with a moisture content of 6 % - 8%; roasting at temperatures between 110 °C - 160 °C for 5 to 120 minutes, which contributes to the development of the characteristic chocolate flavor; alkalization raises the pH from 5.2 to 7.5, reducing the product's acidity; refining the chocolate mass to obtain a particle size of 15-35 microns at temperatures between 45 °C to 70 °C; conching the chocolate mass at 60 °C - 90 °C for 6 to 20 hours, which improves the texture and flavor profile of the chocolate; tempering the chocolate with a specific temperature profile for each type of chocolate (e.g., for milk chocolate: 50 °C → 32 °C → 27 °C → 30 °C - 32 °C), which is essential for achieving the proper crystallization of cocoa butter, affecting the texture and appearance of the final tablet product; and ending with chocolate storage at temperatures below 20 °C. Each type of chocolate (dark, milk, and white) has variations in its production process and composition. In conclusion, working ranges are crucial to achieving the desired sensory and quality characteristics in the final product and may vary depending on the specific type of chocolate being produced.

Keywords: Conching, refining, roasting, tempering.

Introducción

El chocolate es obtenido a partir del fruto de la especie *Theobroma cacao* L., y gracias a sus diversas presentaciones es considerado uno de los productos más apreciados y consumidos a nivel mundial (Ditchfield *et al.*, 2023), además, es un alimento que destaca debido a los aportes energéticos que brinda al consumidor (Saritaş *et al.*, 2024). El chocolate suele ser sólido a temperatura ambiente y se derrite a temperatura corporal para convertirse en una suspensión semisólida de partículas sólidas finas en una fase grasa continua (Brown *et al.*, 2023), cualidad que lo posiciona como uno de los alimentos de mayor consumo per cápita en países como Suiza con un promedio de 8,8 kg de chocolate consumidos por persona al año (Muñoz-Chafla, 2014). La producción del chocolate ha evolucionado significativamente desde su descubrimiento hasta convertirse en una industria de alta tecnología, debido a que ha experimentado notables innovaciones en el sabor, el diseño, la presentación y la eficiencia de los procesos productivos, en respuesta a la creciente demanda del mercado (Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022).

En términos industriales el chocolate se describe como una mezcla de licor de cacao, manteca de cacao, azúcar, leche en polvo que en ocasiones puede incluir ingredientes extra como leche o futa (Faccinetto-Beltrán *et al.*, 2021) y dependiendo del porcentaje de cada ingrediente añadido se elaboran distintos tipos de chocolates entre los que destacan el chocolate negro, con leche y blanco (Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022). Los ingredientes utilizados en la producción de chocolate son factores clave que determinan las características únicas de cada tipo de chocolate. Según el Codex Alimentarius (2022) existen especificaciones detalladas para los diferentes tipos de chocolate que deben cumplir ciertos estándares de composición en materia seca.

El chocolate negro, con leche y blanco presentan diferencias sustanciales en su composición y procesos de elaboración (Ditchfield *et al.*, 2023). Mientras que el chocolate negro contiene licor de cacao, manteca de cacao y azúcar; el chocolate con leche se compone de azúcar, manteca de cacao, sólidos lácteos y licor de cacao; el chocolate blanco se caracteriza por la ausencia de sólidos de cacao, conteniendo principalmente manteca de cacao, azúcar y sólidos lácteos en polvo (Bianchi *et al.*, 2021), sin embargo según Lucero-Álvarez (2015), el chocolate también puede incluir emulsionantes como lecitina y polirricinoleato de poliglicerol (PGPR), así como sal, aromas o especias (Di Mattia *et al.*, 2017; Glicerina *et al.*, 2016). Es decir, las diferencias composicionales de las coberturas de chocolate se deben principalmente a la variación en los ingredientes, especialmente en el contenido de manteca de cacao, y a los procesos de producción que afectan la textura, sabor y uso del producto final (Núñez-Molina & Lizarazo-Florez, 2018).

La producción de chocolate requiere un riguroso control en cada etapa del proceso, utilizando tecnologías avanzadas para garantizar la textura, el sabor y la estabilidad del producto final (Chacón-Ortiz *et al.*, 2021). Es así que dentro las tecnologías se deben considerar cada una de las operaciones unitarias que intervienen en la producción de chocolate, iniciando con el proceso de poscosecha del cacao, que incluye la fermentación, secado, limpieza, almacenamiento y transporte, junto con su transformación en chocolate a través de etapas como el tostado, molienda, conchado, templado, moldeado y cristalizado, y la adición de ingredientes, así como el empaque, almacenamiento, transporte y refrigeración del producto final. Todos estos factores influyen significativamente en las características sensoriales del chocolate (Chire-Fajardo *et al.*, 2019; Gutiérrez, 2017).

Es importante aclarar que esta revisión investigativa se enfocó en analizar la producción de chocolate a partir del grano de cacao fermentado y seco, es decir, no se consideró la fermentación, secado o etapas anteriores. Considerando lo anterior, este artículo tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática de las operaciones unitarias para la obtención de chocolate negro, con leche y blanco mediante la aplicación del método PRISMA el cual asegura que la revisión sea exhaustiva, estructurada y basada en evidencia de alta calidad, permitiendo así obtener conclusiones robustas y confiables que puedan guiar a los productores de chocolate en la optimización de procesos inherentes a su producción y comercialización.

Metodología

Esta revisión sistemática se realizó siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page *et al.*, 2021), misma que se describe a continuación:

1. La búsqueda de literatura se realizó en las siguientes bases de datos electrónicas: PubMed, Scopus, Web of Science, scielo, redalyc y Google Scholar.

2. En la estrategia de búsqueda se utilizaron términos clave y sus combinaciones utilizando operadores booleanos (and, or, not). Los términos utilizados fueron: chocolate, process, chocolate process, processing, innovation, production, manufacturing, technology, dark chocolate, white chocolate, milk chocolate y todas las posibles combinaciones. La búsqueda se realizó en los idiomas inglés y español con base en las palabras clave utilizando el Thesaurus FSTA (Food Science and Technology Abstracts).

3. Se realizó la selección de criterios de elegibilidad, mismos que fueron:

- Tipos de estudios: artículos originales de investigación, revisiones sistemáticas y metaanálisis, tesis y normas.

- Fecha de publicación: últimos 10 años (2014 – 2024), uno del 2013 y uno del 2005.

- Áreas de interés: estudios centrados en la producción de chocolate negro, blanco y con leche.

Los artículos que no cumplían con estos criterios fueron excluidos.

4. Selección de estudios. La selección se realizó en dos fases:

a) Cribado según los títulos y resúmenes.

b) Evaluación de textos completos de las investigaciones preseleccionadas.

5. Síntesis del artículo. Consta de dos partes:

a) Identificación de las tecnologías para la producción de los diferentes tipos de chocolate.

b) Análisis de las operaciones involucradas en la producción de chocolate.

Revisión de literatura

La **Figura 1** muestra el diagrama de flujo PRISMA, utilizado para representar el proceso de selección de estudios en la elaboración de esta revisión sistemática. Este diagrama sigue las etapas clave de la metodología PRISMA: búsqueda, selección, elegibilidad e inclusión.

La **Figura 1** refleja el proceso de selección y exclusión de documentos en una revisión sistemática, desglosado en cuatro categorías: artículos científicos, tesis, libros y normas. A lo largo de las diferentes etapas (identificación, selección, elegibilidad y documentos incluidos), se observan reducciones en el número de documentos, lo que revela un filtrado riguroso según los criterios establecidos.

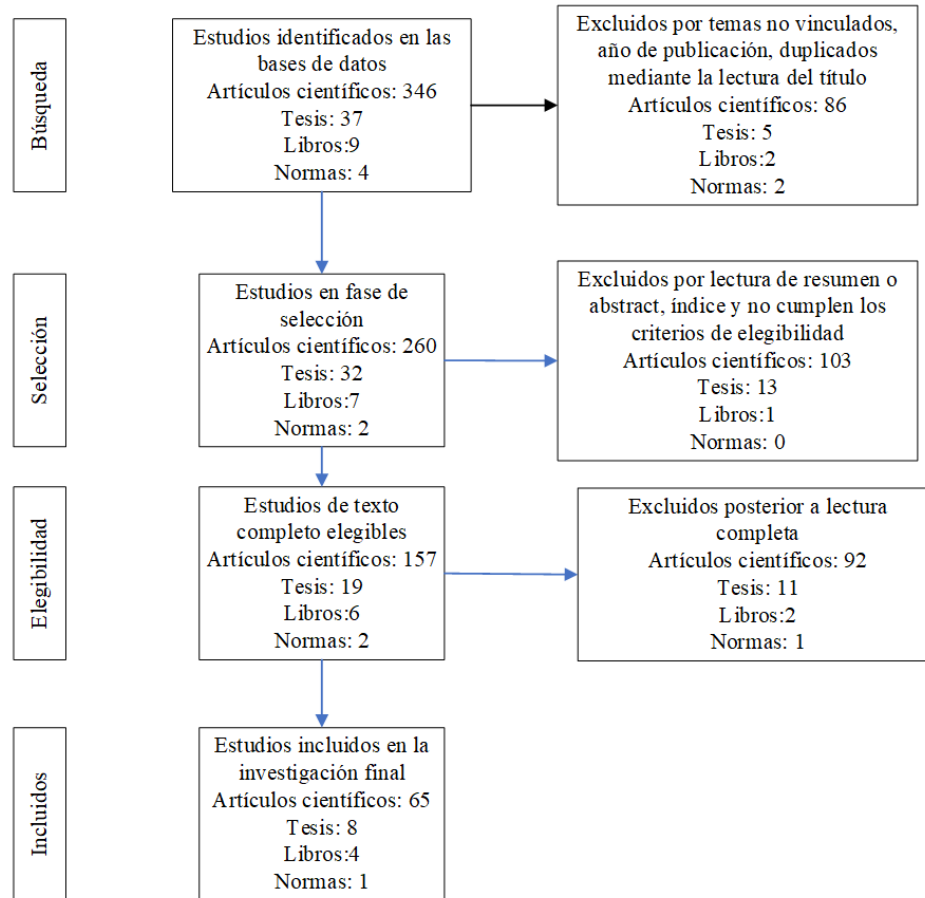
En cuanto a artículos científicos, se parte con un total de 346 documentos identificados, de los cuales solo 260 avanzan a la fase de selección, lo que representa una reducción del 24,86 %.

En la fase de elegibilidad, quedan 157 artículos, con una reducción del 39,62 % respecto a los seleccionados. Finalmente, solo 66 artículos son incluidos en la investigación final, lo que significa una reducción adicional del 58,60

% de los elegibles. Esto refleja un proceso de exclusión significativo, donde más de la mitad de los artículos elegibles no cumplieron con los requisitos finales.

Figura 1

Diagrama de flujo de la declaración PRISMA para la selección de investigaciones.



A nivel de las tesis, el proceso de selección también fue riguroso. Así, de 37 tesis identificadas, solo 32 lograron pasar a la fase de selección, lo que representó una reducción del 13,51 %. Sin embargo, al avanzar a la fase de elegibilidad, el número de tesis se redujo en un 40,63 %, quedando solo 19 tesis elegibles. Al final, solo 8 tesis fueron incluidas en la investigación, mostrando una reducción del 57,89 % en esta última fase.

En cuanto a los libros, de 9 identificados, 7 pasaron a la fase de selección, con una reducción

del 22,22 %. Al llegar a la fase de elegibilidad, solo 6 libros se consideraron aptos, lo que reflejó una reducción más moderada igual al 14,29 % respecto a los seleccionados. Finalmente, 4 libros fueron incluidos en la investigación, lo que representó una reducción del 33,33 %.

Finalmente, se analizaron las normas de requisitos que debían cumplir los chocolates, siendo el grupo más pequeño de revisión ya que se partió con un número de 4 normas y, tras la fase de selección, se redujo solo a 2, lo que implicó una reducción del 50 %. En la fase

de elegibilidad, este número se mantuvo sin cambios, pero al llegar a la fase final, solo una norma se incluyó, mostrando otra reducción del 50 %.

Análisis de datos

El cálculo de la cantidad de artículos científicos, tesis, libros y normas legibles y no legibles se realizó mediante el uso del software Microsoft Excel. Sin embargo, el proceso de inclusión o exclusión de los documentos fue realizado de manera manual, previa lectura del tema, resumen o lectura completa del documento.

Resultados y discusión

En términos generales el proceso de la declaración PRISMA garantizó una depuración cuidadosa y minuciosa, que nos permitió incluir solo los estudios más pertinentes y de alta calidad, fortaleciendo la confiabilidad de los resultados. Las mayores reducciones ocurrieron en la fase de elegibilidad y en la lectura completa, lo que indica la rigurosidad aplicada para asegurar que solo estudios bien fundamentados y relevantes formaron parte del análisis final.

En esta revisión sistemática, se han identificado y analizado las principales operaciones unitarias empleadas en la elaboración de chocolate negro, con leche y blanco, abarcando desde la recepción del grano de cacao fermentado y seco, hasta el almacenamiento de los mimos, como se evidencia a continuación:

Producción de chocolate

La producción de chocolate constituye un proceso altamente complejo que involucra una serie de etapas críticas, cada una de las cuales impacta de manera significativa en la calidad final del producto ya sea chocolate sólido o líquido (Glicerina *et al.*, 2016).

En este proceso, la recepción y selección son las primeras etapas críticas ya que se debe considerar la calidad de los granos de cacao recomendándose que sean en lo posible orgánicos, libres de plaguicidas, fertilizantes sintéticos y materiales extraños, además de asegurar en los granos de cacao una adecuada fermentación, secado (López-Díaz, 2024) y ausencia de mohos (Verde *et al.*, 2021).

El tostado es otra etapa crítica en la producción del chocolate, ya que el control preciso de la temperatura y el tiempo definen el desarrollo de los compuestos aromáticos y el perfil de sabor del cacao (Rojas *et al.*, 2022). Luego, en el descascarillado, es fundamental eliminar eficientemente la cáscara del grano (Beckett, 2019), mientras que la molienda y refinado tienen como propósito obtener una masa homogénea y un tamaño de partícula adecuado (generalmente entre 15 y 25 micrones) (Goya *et al.*, 2022).

Por su parte, el conchado, refina aún más la textura del chocolate y elimina compuestos volátiles no deseados (Bolenz & Langer, 2020). Posteriormente, el templeado será crucial para estabilizar los cristales de manteca de cacao, específicamente en su forma cristalina β , lo que previene imperfecciones como el fat Bloom (capa blanquecina que aparece en la superficie del chocolate) y asegura una estructura final uniforme, brillante y con una buena "rotura" al morder (Beckett, 2019).

Las fases de moldeado y enfriamiento son cruciales para dar al chocolate su forma final y garantizar una estructura sólida y brillante (Achaw & Danso-Boateng, 2021). Finalmente, se deberá contemplar el almacenamiento efectuándolo bajo condiciones controladas de humedad y temperatura para evitar el deterioro del producto y asegurar su calidad hasta su consumo (García-Escobar *et al.*, 2018). Con base

a lo anterior, todas las etapas en la producción de chocolate son consideradas críticas ya que en conjunto contribuyen a la calidad física, química y sensorial del producto final.

Identificación de las operaciones unitarias involucradas en la producción de chocolate negro, con leche y blanco

Las operaciones unitarias son descritas como una serie de pasos fundamentales en un proceso industrial que busca transformar las materias primas en productos finales mediante cambios físicos, químicos o biológicos, es decir, cada operación unitaria constituye una etapa distinta dentro de un proceso más amplio, desempeñando un papel clave en la eficiencia y efectividad de la producción (Yu *et al.*, 2014). En la producción de chocolate, las operaciones unitarias se refieren a los pasos fundamentales que transforman las materias primas, como los granos de cacao, en un producto comestible como es el chocolate (Córdova-Ávalos *et al.*, 2019). Algunos ejemplos de operaciones unitarias las constituyen las etapas del tostado, descascarillado, molienda, conchado, templado.

Siendo el propósito de la revisión identificar las diferentes operaciones unitarias involucradas en la producción de chocolate negro, con leche y blanco, seguidamente en las **Tablas 1, 2 y 3** se presenta un análisis detallado de las operaciones unitarias empleadas en la producción de los diferentes tipos de chocolate mencionados, destacando las operaciones clave del proceso según diversos autores. Estas tablas permiten realizar una comparación de los pasos críticos involucrados en la elaboración de cada tipo de chocolate, subrayando las diferencias y similitudes en términos de tiempo, temperatura, ingredientes, y técnicas específicas aplicadas en cada etapa del proceso.

A continuación, se proporciona una descripción continua y exhaustiva de los procedimientos de fabricación de los tres tipos de chocolate de interés en este estudio:

Descripción del proceso de elaboración de chocolate negro

La **Tabla 1** muestra las operaciones unitarias con sus respectivos parámetros de procesamiento del chocolate negro entre seis referentes distintos. Cabe mencionar que los referentes tomados para llevar a cabo las descripciones unitarias se dan por su mención de las operaciones del proceso de producción de chocolate negro y también a su descripción en la mayoría de los casos de las condiciones de trabajo en cada operación.

De acuerdo con los artículos evaluados el proceso de producción de chocolate negro es posible señalar que el proceso generalmente comienza con la recepción de los granos de cacao (o semillas fermentadas y secadas de *Theobroma cacao* L), que deben tener un contenido de humedad cercano al 7 % (Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022; Guaman-Carchipulla & Ramirez-Cuji, 2019) para evitar problemas el desarrollo de mohos o la pérdida de calidad en etapas posteriores (Achaw & Danso-Boateng, 2021). Aunque como se observa en la **Tabla 1**, Tavares Menezes *et al.* (2016), consideran emplear granos con un porcentaje de humedad del 10 %.

A continuación, es necesaria la selección de los granos, eliminando aquellos que no cumplen con los estándares de calidad, por presentar mohos, defectos o contaminantes como piedras, arena o materiales vegetales (Achaw & Danso-Boateng, 2021). El siguiente paso operacional hace referencia al tostado, etapa crucial para el desarrollo del sabor característico del chocolate, en la cual los granos deben ser sometidos a temperaturas que oscilan entre 110 °C y 130 °C por aproximadamente una hora (Jácome Lagla, 2015; Tavares Menezes *et al.*, 2016). Durante esta etapa, la temperatura y el tiempo son factores determinantes que impactan tanto el perfil aromático como el contenido de humedad residual de los granos. Un control preciso de estos parámetros garantiza el desarrollo adecuado de los compuestos aromáticos esenciales en el chocolate (Rojas *et al.*, 2022).

Después del tostado, la mayoría de los autores coinciden en la necesidad de someter los granos a trituración y descascarillado con el fin de separar las cáscaras de los trozos de cacao (Beckett, 2019). Luego, los trozos de cacao deberán ser molidos con el fin de obtener una pasta de cacao, que puede ser refinada adicionalmente para mejorar su textura. Durante el proceso de refinado, Braga *et al.* (2018) proponen agregar azúcar y procesar la mezcla a temperaturas entre 45 °C y 70 °C para reducir el tamaño de las partículas a menos de 30 µm.

Posteriormente, el chocolate debe ser conchado, operación donde se añaden ingredientes como manteca de cacao y lecitina, mientras se mezcla y airea a temperaturas de entre 60 °C y 70 °C (Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022) y a veces alcanzando los 80 °C,

durante varias horas (Gültekin-Özgiiven *et al.*, 2016). El conchado, tiene como propósito mejorar el perfil sensorial del chocolate, eliminar compuestos volátiles no deseados y la homogeneización de los ingredientes (Braga *et al.*, 2018).

El siguiente paso es el templado, donde el chocolate se enfría y se calienta de manera controlada para promover el crecimiento de cristales estables (β V) de manteca de cacao (Peyronel & Pink, 2021), alcanzando temperaturas entre 28 °C y 33 °C (Guaman Carchipulla & Ramirez Cuji, 2019). Aunque autores como Beckett *et al.* (2017), recomienda que la secuencia de temperaturas del templado sea de 52 °C o 53 °C, luego enfriándolo a 35 °C o 36 °C, para posteriormente enfriarlo a 29 °C o 30 °C para finalmente subirla a 32 °C o 35 °C.

Tabla 1

Operaciones unitarias para la producción de chocolate negro propuestas por diferentes autores

Operaciones del proceso	(Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022)	(Guaman-Carchipulla & Ramirez-Cuji, 2019)	(Jácome-Lagla, 2015)	(Braga <i>et al.</i> , 2018)	(Tavares-Menezes <i>et al.</i> , 2016)	(Gültekin-Özgiiven <i>et al.</i> , 2016)
Recepción	Cacao con 7 % de humedad	Cacao con 7 % de humedad	Si	Si	Cacao con 10 % de humedad	
Selección		Si	Si			
Tostado	110 °C a 120 °C	110 – 120 °C	110 °C a 130 °C x 60 min	120 °C x 70 minutos	120 °C hasta humedad del 1 %	
Triturado	Si		Si	Si	Si	
Descascarillado	Si	32 °C	Si	Si	Si	
Molienda (obtener pasta)	Si	Si		Si	Si	Parte de licor de cacao
Prerefinado						Mezcla licor, azúcar y vainilla x 5 min
Refinado	Agrega azúcar 60 °C y 70 °C	Partícula < 30 µm 45 °C a 50 °C		Agrega azúcar Partículas < 25 µm		3 horas
Conchado	Agregan manteca de cacao, lecitina 60 °C y 70 °C	Partícula < 30 µm	Añade manteca de cacao, azúcar, lecitina, vainillina sal. 65 °C	60 °C x 12 horas	70 °C durante 20 h	Agregar manteca de cacao y grasa láctea. 80 °C x 11 h, a 70 °C x 12 h, y 60 °C x 13 h. Último añade lecitina y mezcla x 30 min
Templado	Si	28 °C a 33 °C		Si		
Moldeado	Si	33 °C	Moldes de policarbonato	Moldes de policarbonato	Si	Si
Enfriado	Si	6 °C a 7 °C	8 °C y 85 % HR x 2 h	Si		Si
Envasado		Si	Poliestireno + polietileno + papel aluminio	Polietileno metalizado		Si
Almacenado		Si	A -18 °C	A -18 °C	4 °C	Temperatura ambiente

Nota. Si, significa que el autor menciona la operación, más no describe las condiciones de trabajo. Espacio vacío, significa que no menciona la operación.

Una vez templado, el chocolate se coloca en moldes de policarbonato con formas específicas a temperaturas bajas de alrededor de 6 °C a 8 °C (Jácome-Lagla, 2015; Braga *et al.*, 2018), aunque Grob *et al.* (2021) recomiendan enfriar el chocolate a 12 °C para solidificarlo, antes de ser envasado y almacenado en condiciones controladas.

Producto de nuestra revisión, se evidencia un consenso general sobre las etapas principales del proceso de producción de chocolate negro, más existen variaciones en algunos parámetros específicos utilizados por los autores citados en la **Tabla 1**. Al respecto, las mayores variaciones se evidenciaron a nivel de las temperaturas de tostado oscilando de 110 °C hasta 130 °C, y los tiempos de conchado que también fueron fluctuantes. Al respecto, consideramos estas variaciones podrían deberse a diferencias en los equipos utilizados, las características deseadas del chocolate, o las tradiciones y preferencias regionales a nivel de gusto y aroma en la producción de chocolate.

Descripción del proceso de elaboración de chocolate con leche

La **Tabla 2** muestra los distintos procesos unitarios para la elaboración del chocolate con leche, establecidos principalmente por cuatro referentes describiendo en la mayoría de las etapas las condiciones de trabajo en cada operación.

Además, en la **Tabla 2** se observa que el proceso de producción de chocolate con leche es una combinación de las técnicas utilizadas para el chocolate negro y el chocolate blanco. Encontrándose variaciones de ejecución en cuanto a los tiempos y temperaturas de procesamiento de este tipo de chocolate, especialmente en las etapas de conchado y templado (Peker *et al.*, 2013; Jácome-Lagla, 2015; Ilmi *et al.*, 2017; Onelli *et al.*, 2024). Esto

podría indicar que hay más flexibilidad en la producción de chocolate con leche, permitiendo a los fabricantes ajustar el proceso para lograr características específicas del producto.

El proceso de elaboración del chocolate con leche también comienza con la recepción y selección de los granos de cacao en estado óptimo, seguido por el proceso de tostado a temperaturas entre 110 °C y 150 °C durante 50 minutos (Jácome-Lagla, 2015; Onelli *et al.*, 2024). Después del tostado, los granos deben ser triturados y descascarillados. El siguiente paso es el mezclado de los trozos de cacao triturados con azúcar, leche en polvo, y otros ingredientes, seguido por el refinado para reducir el tamaño de las partículas a 19 µm o 20 µm, según lo indicado por Peker *et al.* (2013), o hasta las 40 µm o 50 µm según Ilmi *et al.* (2017). El chocolate con leche es entonces conchado a temperaturas de 60 °C (Ilmi *et al.*, 2017) o 65 °C (Jácome-Lagla, 2015) durante varias horas, con la adición de lecitina y otros ingredientes (Onelli *et al.*, 2024).

El chocolate blanco es posteriormente templado al seguir etapas de calentamiento y enfriamiento, mismas que varían según la literatura, ya que según Onelli *et al.* (2024) el templado debe realizarse a 60 °C, 45 °C y 28 °C, mientras que Ilmi *et al.* (2017) emplearon temperaturas de 45 °C, 25 °C y 30 °C. De igual manera, Ditchfield *et al.* (2023) recomiendan variar las temperaturas así: 50 °C, 32 °C y 27 °C para finalmente subirla a 30 °C o 32 °C.

El chocolate templado se vierte en moldes de policarbonato (Jácome-Lagla, 2015) y se somete a un proceso de vibración para eliminar las burbujas de aire, logrando así un producto más compacto y uniforme (Onelli *et al.*, 2024). Posteriormente, el chocolate se enfría a 8 °C para que solidifique, permitiendo su desmolde y posterior envase en materiales combinados de poliestireno, polietileno y papel aluminio (Jácome-Lagla, 2015). Finalmente, el chocolate

es almacenado a una temperatura controlada de 15 °C para preservar su calidad (Onelli *et al.*, 2024).

En este punto cabe destacar a Onelli *et al.* (2024) quienes proporcionan detalles muy específicos sobre la recepción, conchado, templado y moldeado, por su parte Peker *et al.* (2013) proporcionan detalles sobre las velocidades de mezclado, mientras que otros

son menos puntuales en varias de las etapas operacionales. Esto refleja diferentes enfoques en la investigación o diferentes énfasis en los aspectos críticos del proceso de ejecución del chocolate, ejemplo de ello se da en las diferencias a nivel de temperaturas de almacenamiento sugeridas en la **Tabla 2**, lo que podría tener implicaciones importantes para la vida útil y la calidad del producto final (Tauferová & Tkadlecová, 2022).

Tabla 2
Operaciones unitarias para la producción de chocolate con leche propuestas por diferentes autores

Operaciones del proceso	(Onelli <i>et al.</i> , 2024)	(Jácome-Lagla, 2015)	(Peker <i>et al.</i> , 2013)	(Ilmi <i>et al.</i> , 2017)
Recepción	Cacao	Cacao		
Selección		Si		
Tostado	110 °C, 130 °C y 150 °C, durante 50 min	110 °C a 130 °C x 60 min		
Triturado	Si	Si		
Descascarillado	Si	Si		
Mezclado	Granos de cacao, azúcar refinada y leche en polvo		Azúcar, Manteca de cacao, Masa de cacao, Suero en polvo, Leche desnatada en polvo, Lactosa, Grasa láctea, Metilvainillina. 45 °C durante 5 a 10 minutos	Licor de cacao, grasa de cacao, leche en polvo, azúcar, vainilla y lecitina
Refinado y mezclado	2 h		Tamaño de las partículas hasta 19 µm – 20 µm	Tamaño de partícula de hasta 40 µm – 50 µm (50 °C, 80 rpm, 20 horas)
Conchado	Añade mitad de manteca y resto después de 10 h. Añade lecitina a 10 h y mezcla 2h	Añade manteca de cacao, leche en polvo, azúcar, lecitina, vainillina. 65 °C	6 – 9 h Agregaron lecitina y PGPR	60 °C durante 16 horas
Templado	60 °C 40 min a 45 °C y enfriada a 28 °C		45 °C – 50 °C	45 °C, 25 °C, 30 °C
Moldeado	Moldes de policarbonato. Vibración	Moldes de policarbonato	Si	Moldes plásticos
Enfriado	5 °C durante 12 h	8 °C y 85 % HR x 2 h	Si	Si
Envasado	Papel laminado	Poliestireno + polietileno + papel aluminio	si	Papel aluminio
Almacenado	15 °C	A – 18 °C		Temperatura de refrigeración

Nota. Si, significa que el autor menciona la operación, más no describe las condiciones de trabajo. Espacio vacío significa que no menciona la operación

Descripción del proceso de elaboración de chocolate blanco

La **Tabla 3** compara las operaciones unitarias para la producción de chocolate blanco según tres investigaciones. Estas investigaciones fueron seleccionadas tomando el mismo principio de la **Tabla 1 y 2**, es decir, las investigaciones de la **Tabla 3** mencionan

las operaciones del proceso para producción de chocolate blanco y adicionalmente describen las condiciones de trabajo en cada operación. No se consideraron otras referencias ya que con la investigación realizado se determinó que otras referencias mencionan las mismas operaciones unitarias mencionadas por las referencias de la **Tabla 3**.

Tabla 3

Operaciones unitarias para la producción de chocolate blanco propuestas por diferentes autores

Operaciones del proceso	(Stewart <i>et al.</i> , 2017)	(Konar <i>et al.</i> , 2018; Toker <i>et al.</i> , 2018)	(Didar, 2020)
Mezclado	Azúcar, manteca de cacao desodorizada, grasa de leche pasteurizada y leche desnatada en polvo	20 % del total de la manteca de cacao y los polvos secos (azúcar, leche entera y desnatada en polvo) mientras se calienta a 40 °C	20 % del total de manteca de cacao y polvos secos (azúcar, leche entera y desnatada en polvo) a 40 °C
Prerefinado	Si		
Refinado	Hasta un tamaño de partícula de 25 µm a 35 µm	A 50 °C. Tamaño medio de partícula de 20 µm a 25 µm	50 °C
Conchado	A 4 h x 50 °C.	Conchado en seco. 45 min a 60 °C, y se añade manteca de cacao restante (80 % del total), lecitina de soja y polirricinolato de poliglicerol (PGPR).	Conchado en seco. 45 min a 50 °C, y se añade manteca de cacao restante (80 % del total) y lecitina de soja.
	Añade lecitina y la manteca de cacao restante durante los últimos 30 min	Conchado húmedo: 315 min a 60 °C	Conchado húmedo: 315 min a 60 °C
Tamizado	Si		
Templado	a 45 °C, enfriándolo a 26 °C, 5 °C y elevando a 27,5 °C	33 °C–35 °C, 24 °C–25 °C y 25 °C–26 °C	33 °C–35 °C, 24 °C–25 °C y 25 °C–26 °C
Moldeado	Si		
		Moldeo y vibración a 27 °C–30 °C	Moldeo y vibración a 27 °C–30 °C
Enfriamiento	5 °C		
			5 °C x 20 min
Envasado	Bolsas de papel metálico		
Almacenado	Temperatura ambiente		
		Entre 13 °C y 15 °C	Entre 13 °C y 15 °C

Nota. Si, significa que el autor menciona la operación, más no describe las condiciones de trabajo. Espacio vacío significa que no menciona la operación.

Esta tabla es particularmente interesante debido a que refleja para el chocolate blanco un proceso de producción distinto al del chocolate negro, ya que no contiene sólidos de cacao. En esta **Tabla 3** se observa que hay un alto grado de consistencia entre los diferentes autores en cuanto a las etapas del proceso y los parámetros utilizados. Esto podría indicar que la producción de chocolate blanco está más estandarizada que la del chocolate negro. Sin embargo, se observan algunas diferencias en los detalles, como la inclusión de una etapa de prerefinado por algunos autores (Konar *et al.*, 2018; Toker *et al.*, 2018), o las variaciones

en los tiempos y temperaturas de conchado de acuerdo al proceso presentado por Stewart *et al.* (2017), Konar *et al.* (2018), Toker *et al.* (2018) y Didar (2020). Es interesante notar que todos los autores enfatizan la importancia del control preciso de la temperatura en varias etapas del proceso, haciendo de este un factor crítico en la producción de chocolate blanco de alta calidad.

En este caso el proceso inicia con el mezclado de manteca de cacao desodorizada, más azúcar, leche en polvo y otros ingredientes (Stewart *et al.*, 2017), calentando toda la

mezcla aproximadamente a 40 °C (Konar *et al.*, 2018; Toker *et al.*, 2018; Didar, 2020). Después del mezclado, se debe refinar la mezcla a temperaturas cercanas a los 50 °C, hasta alcanzar un tamaño de partícula de entre 20 µm y 35 µm como lo sugiere Stewart *et al.*, (2017). El chocolate blanco es entonces conchado a temperaturas de 50 °C a 60 °C durante varias horas, con la adición de lecitina y más manteca de cacao hacia el final del proceso (Konar *et al.*, 2018; Toker *et al.*, 2018; Didar, 2020).

Después del conchado, se realiza el templado con ciclos de calentamiento y enfriamiento controlado para estabilizar los cristales de manteca de cacao. El templado generalmente consta de tres etapas en las que las temperaturas suelen variar así: 33 °C – 35 °C, 24 °C – 25 °C y luego alcanzan 25 °C – 26 °C (Konar *et al.*, 2018; Toker *et al.*, 2018; Didar, 2020). Sin embargo, Ditchfield *et al.* (2023) recomiendan que las temperaturas templado sean: 50 °C, 32 °C y 27 °C para finalmente subirla a 30 °C o 32 °C. Una vez templado el chocolate se moldea a 27 °C – 30 °C con vibración, enfriándose posteriormente a una temperatura 5 °C (Didar, 2020). Finalmente, el chocolate blanco es envasado y almacenado a temperaturas entre 13 °C y 15 °C (Konar *et al.*, 2018; Toker *et al.*, 2018; Didar, 2020).

Análisis de las operaciones involucradas en la producción de chocolate negro, con leche y blanco

El chocolate, es un alimento apreciado a nivel global, que se caracteriza por su historial de elaboración y un proceso de producción intrincado (Achaw & Danso-Boateng, 2021). A pesar de la existencia de diversas variedades de chocolate como el negro, con leche y blanco todos comparten una base común en su método de elaboración, que suele iniciar con el tratamiento minucioso de los granos de cacao (Mendoza-Meneses *et al.*, 2023). La producción de chocolate abarca una serie de operaciones meticulosas, cada una diseñada para desarrollar las características sensoriales distintivas, como

el sabor, la textura y el aroma. Desde la recepción y selección inicial de los granos de cacao hasta el almacenamiento, cada etapa es esencial para la obtención de un chocolate de alta calidad, es decir, cada operación unitaria involucrada en la producción de los diferentes tipos de chocolate aporta en la mejorara del sabor, color, olor, textura.

La producción de chocolate negro, con leche y blanco involucra diferentes tipos y números de operaciones unitarias, ajustadas según los ingredientes y la naturaleza del producto final. El chocolate negro suele tener un proceso más simple y directo, ya que está compuesto principalmente por sólidos de cacao y manteca de cacao, lo que reduce el número de etapas relacionadas con la incorporación de otros ingredientes (Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022). Las operaciones clave en la producción de chocolate negro incluyen la recepción, selección, tostado, descascarillado, molienda, conchado, templado, moldeado, enfriado y envasado, con ligeras variaciones dependiendo de la tecnología y las condiciones de procesamiento (Enríquez-Estrella & El-Salou, 2022; Braga *et al.*, 2018).

Por otro lado, la producción de chocolate con leche implica un mayor número de operaciones debido a la incorporación de ingredientes como la leche en polvo y otros emulsionantes (Onelli *et al.*, 2024). Estos ingredientes requieren etapas adicionales de mezclado y refinado para asegurar una distribución homogénea. Las operaciones típicas incluyen las mismas que el chocolate negro, con la adición de procesos más complejos en las fases de mezclado y conchado para garantizar la integración de la leche en polvo y la grasa láctea (Onelli *et al.*, 2024; Jácome Lagla, 2015).

Respecto a la producción de chocolate blanco, el número de operaciones unitarias puede ser similar al del chocolate con leche si partimos del mezclado de los ingredientes, pero requiere la eliminación de los sólidos de cacao (Glicerina *et*

al., 2016). Esto requiere especial atención en las etapas de mezclado y conchado, ya que se busca una emulsificación eficiente de la manteca de cacao, la leche en polvo y el azúcar (Didar, 2020; Konar *et al.*, 2018; Toker *et al.*, 2018). Las operaciones para el chocolate blanco tienden a involucrar prerinado, conchado húmedo o seco, templado, moldeado, enfriado y envasado, con parámetros ajustados a las necesidades del chocolate blanco (Stewart *et al.*, 2017; Didar, 2020).

Este análisis resalta la importancia del control preciso de cada operación unitaria para producir un chocolate negro, con leche y blanco con las características distintivas deseadas. Es relevante destacar que, aunque el proceso de producción básico es similar entre los tres tipos de chocolate analizados en esta revisión (Ditchfield *et al.*, 2023), existen variaciones en los ingredientes y en ciertos parámetros de procesamiento que resultan en las características distintivas del chocolate negro, con leche y blanco, como se trató en las **Tablas 1, 2 y 3**. A continuación se describen y analizan de manera general las diferentes operaciones unitarias presentes en la producción de los diferentes tipos de chocolate:

Recepción

Esta etapa hace referencia al inicio del proceso dentro de la industria de transformación y consiste en recibir y evaluar los granos de cacao que llegan a la planta procesadora, asegurando que cumplan con los estándares de calidad requeridos para la elaboración del chocolate (Silva-Lima *et al.*, 2024).

Debido a que es el punto de partida del proceso, autores como Aprotosoie *et al.* (2016), Achaw & Danso-Boateng (2021) y Mendoza-Meneses *et al.* (2023) coinciden en que los granos de cacao para elaborar el chocolate deben tener un contenido de humedad aproximadamente de 6 % a 8 %. Considerando además, un nivel de humedad adecuado el cual es crucial para evitar la sobrefermentación,

la contaminación por moho y los daños a los granos durante el almacenamiento que pueden afectar negativamente la calidad del grano y, por ende, del chocolate (Aprotosoie *et al.*, 2016; Mendoza-Meneses *et al.*, 2023). No es recomendable emplear granos que presenten un contenido de humedad inferior al 6 %, ya que se pueden volver muy quebradizos, lo cual dificulta su manipulación y posterior procesamiento (Beckett, 2019).

Selección

Es un proceso que prioriza la elección de los granos de cacao de mejores propiedades y apariencia, siendo un paso crucial en el procesamiento del cacao que busca garantizar la calidad del producto final mediante la identificación y separación de los granos más apropiados para el proceso (Tavares-Menezes *et al.*, 2016).

En vista de que muchos de los granos de cacao se secan al sol sobre bandejas, esteras (Achaw & Danso-Boateng, 2021) o plataformas elevadas cubiertas con esteras (Afoakwa, 2016), a menudo los granos contienen arena, piedras, hierro, material vegetal, astillas, etc., lo cual hace necesaria la eliminación de estas partículas porque al ser tan compactas dichas impurezas pueden dañar la maquinaria que se utiliza para moler los granos (Achaw & Danso-Boateng, 2021). El otro factor a considerar son los contaminantes orgánicos (como restos de hojas, fragmentos de cáscara, insectos) que se quemarán durante el proceso de tostado y por ende desprenderán gases que probablemente estropearán el sabor del cacao (Beckett, 2019; Goya *et al.*, 2022). Por lo tanto, es necesario limpiar los granos en esta etapa para eliminar los componentes que no son de cacao, como metales, piedras y otros materiales extraños que podrían contaminar el producto, siendo selección y la limpieza pasos fundamentales para garantizar que el chocolate terminado cumpla con los criterios de calidad de los confiteros (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

Los granos de cacao seleccionados acá, previo a la etapa de “tostado” deben estar libres de moho, daños por insectos y no deben estar quebrados o partidos (carentes de daño mecánico), ya que estos defectos pueden llevar a un tostado desigual y afectar negativamente el sabor final (Subroto *et al.*, 2023), además se debe seleccionar el tamaño del grano buscando que sea estándar ya que la uniformidad en el tamaño evita que algunos granos se quemen mientras que otros no se tuestan lo suficiente, lo que impacta en el sabor y la textura del chocolate final (Kongor *et al.*, 2016).

Tostado

El tostado de los granos de cacao es la etapa más importante del procesamiento del grano ya que en esta se desarrolla el sabor característico a chocolate, la textura específica de los granos, el contenido de humedad se reduce del 1 % al 2 % (Achaw & Danso-Boateng, 2021; Hinneh *et al.*, 2019) y se eliminan los compuestos volátiles no deseados como por ejemplo el ácido acético, lo que provoca una reducción de la acidez y del amargor en los granos de cacao (Aprotosoie *et al.*, 2016; Kongor *et al.*, 2016).

En el grano de cacao el tostado afecta la capacidad de los polifenoles para interactuar con la proteína salival rica en prolina (Misnawi *et al.*, 2005), lo que provoca una disminución de la astringencia (sensación táctil que se percibe en la boca como una sensación de sequedad, aspereza o rugosidad, a menudo asociada con alimentos que contienen compuestos fenólicos como los taninos o polifenoles) (Aprotosoie *et al.*, 2016).

Los precursores del sabor (aminoácidos libres, oligopéptidos y azúcares reductores) participan en las reacciones de Maillard de pardeamiento no enzimático para producir los compuestos de sabor deseables en el chocolate como: pirazinas, alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, furanos, tiazoles, pironas, ácidos, iminas, aminas, oxazoles, pirroles y éteres

(Aprotosoie *et al.*, 2016; Ascrizzi *et al.*, 2017; Barišić *et al.*, 2019; Kongor *et al.*, 2016).

Los parámetros óptimos de tostado dependen de la materia prima, la variedad de cacao o el tipo de sabor deseado, es así que según Żyżelewicz *et al.* (2018) el cacao criollo o cacao fino (*Theobroma cacao* L. variedad Criollo) y de alta calidad es más delicado y sensible a diversos factores como la temperatura, humedad durante el cultivo y durante el procesamiento del grano logrando que en este último se refleje un bouquet único de sabores, por lo tanto durante el procesamiento térmico a nivel de tostado al usar temperaturas muy altas, existe riesgo de quemaduras y un deterioro significativo del sabor. Por esta razón, los granos de cacao criollo requieren condiciones de tostado más suaves, es decir a temperaturas de tostado situadas generalmente entre 110 °C y 120 °C, mientras que para el tostado del cacao forastero amazónico (*Theobroma cacao* L. variedad Forastero) el tostado deber estar a 130 °C y 140 °C (Żyżelewicz *et al.*, 2018).

En términos generales, el tiempo de tostado del grano de cacao varía de 5 a 120 min (empleándose de 10 a 35 min), y la temperatura de tostado puede ir de 110 °C a 160 °C (empleándose de 120 °C a 140 °C), sin embargo, si el tostado es excesivo (más de 160 °C) provocará el desarrollo de una semilla quemada, y por ende sabores desagradables al paladar (Aprotosoie *et al.*, 2016; Herrera-Rocha *et al.*, 2023; Quelal *et al.*, 2023), además, este hecho reducirá la concentración de compuestos responsables de los sabores frutales y florales, así como la presencia de ésteres y cetonas que participan en la percepción de agrado al ser degustado el chocolate (Lopes *et al.*, 2024).

Alcalinización

La alcalinización del cacao conocida como “Dutching”, tiene por objetivo mejorar el color y sabor del cacao, aumentar la dispersabilidad

del cacao en polvo en bebidas, reducir la astringencia mediante polimerización compleja de polifenoles, disminuir el amargor y oscurecer los productos del cacao (Achaw & Danso-Boateng, 2021). La alcalinización es el tratamiento de las semillas de cacao fermentado, o la masa de cacao, e incluso el licor o el polvo de cacao con una solución alcalina, generalmente carbonato de potasio (Achaw & Danso-Boateng, 2021), que eleva el pH de 5,2 - 5,6, a 6,8 - 7,5 mediante la neutralización de ácidos presentes, provocando que el contenido fenólico disminuya drásticamente (Aprotosoai *et al.*, 2016; Beg *et al.*, 2017; Gültekin-Özgüven *et al.*, 2016; Shafi *et al.*, 2018) y con ello la disminución.

El tratamiento alcalino también es responsable de un color más oscuro, sin embargo, un color más oscuro no significa un sabor más fuerte. El chocolate y el cacao tratados con álcali en realidad exhiben sabores más suaves que el chocolate y el cacao no tratados, porque los ácidos libres generados durante la fermentación se neutralizan (Zadorozhna, 2023). Adicionalmente, se debe considerar que la alcalinización produce la disminución de polifenoles, metilxantinas y teobromina en granos tratados, pasta o licor de cacao y polvo de cacao (Urbańska *et al.*, 2019). Es así que el contenido total de polifenoles, flavanoles y la actividad antioxidante de los licores de cacao alcalinizados por Valverde García *et al.* (2020) se redujeron en un 87 %, 83 % y 50 %, respectivamente; mientras que en cacao en polvo comercial alcalinado redujo hasta en un 89 % los flavonoides, por otra parte, en semillas de cacao alcalinizadas comercialmente hubo una reducción del 64 % para contenido fenólico total.

Triturado

La trituration de los granos de cacao tostados consiste en romperlos para obtener pequeñas partículas. Este proceso se realiza utilizando molinos que fragmentan los granos, separando eficazmente las cáscaras. Sin embargo, uno de los

desafíos de la trituration es evitar la generación excesiva de partículas finas, que pueden perderse durante el proceso de descascarillado (Afoakwa, 2016; Nguyen *et al.*, 2019).

Descascarillado

Este proceso que en inglés se conoce como “winnowing” tiene como finalidad separar las cáscaras de los cotiledones o trozos de cacao (Achaw & Danso-Boateng, 2021), siendo la etapa que prosigue a la trituration. Este paso es crucial, ya que el no evitar la presencia de cáscaras en los trozos de cacao puede afectar la calidad del chocolate, dándole un sabor indeseado y una textura desagradable. La separación se realiza típicamente utilizando corrientes de aire procedentes de ventiladores que soplan las cáscaras más ligeras lejos de los trozos de cacao más pesados (Nguyen *et al.*, 2019).

Actualmente, las tecnologías modernas permiten ajustar el flujo de aire de los ventiladores para mejorar la eficiencia de la separación y minimizar la pérdida de trozos de cacao durante el proceso (Beckett *et al.*, 2017; Beg *et al.*, 2017; Goya *et al.*, 2022; Nguyen *et al.*, 2019).

Molienda

La molienda es una etapa crucial en la producción de chocolate, que sigue al proceso de trituration y descascarillado. Durante esta fase, el cacao triturado se muele hasta formar una pasta, debido al calor generado por la fricción, lo que provoca la fusión de la manteca de cacao y permite la formación del licor de cacao (Achaw & Danso-Boateng, 2021). Dicha fricción provoca que la temperatura supere los 34 °C (Beg *et al.*, 2017)

En la molienda las partículas deben alcanzar un tamaño aproximado de 40 µm, rango ideal para garantizar una textura suave y evitar una sensación granulosa en el producto final (Beckett *et al.*, 2017).

Para la fabricación de chocolates de alta calidad, en Europa central suelen utilizar en la molienda principalmente refinadores de 5 rodillos junto con un refinador de pre-rollo, además de la molienda con rodillos, la molienda fina durante la fabricación de chocolate también se realiza utilizando molinos de medios agitados o molinos de bolas (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

Prensado

Como su nombre lo indica hace alusión a el uso de presiones elevadas para separar los lípidos, específicamente la manteca de cacao, de los sólidos presentes en los granos de cacao molidos, siendo una operación clave en la obtención de la manteca de cacao (ingrediente fundamental para la elaboración de chocolate con leche y blanco) y el cacao en polvo como productos separados (Palacios Hilario *et al.*, 2023).

Según Beg *et al.* (2017), para que el prensado sea efectivo se recomienda usar una combinación temperatura de 95 °C a 150 °C del licor de cacao con una presión aumentada de hasta 5443 kg/pul² para liberar la manteca de cacao del licor, logrando así reducir el contenido de grasa del grano molido de un 53 % a un 57 % hasta aproximadamente un rango de 10 % a un 24 % (Beg *et al.*, 2017). Otras investigaciones como las de Anoraga *et al.* (2019) mencionan que se necesitan prensas con una presión superior a 40 MPa para eliminar la grasa y cumplir con los estándares, mientras que Palacios Hilario *et al.* (2023) lograron rendimientos del 50 % en la extracción de manteca de cacao al trabajar de forma sinérgica con la temperatura (70 °C - 130 °C) y presión (8 - 40 MPa).

Refinado

En algunos procesos en los que no se realiza el prensado para separar la manteca de cacao, la molienda es la etapa en la que se mezcla los ingredientes (Samanta *et al.*, 2022), sin embargo, cuando se separa la manteca de cacao,

el refinado es la operación en la que se mezclan los ingredientes necesarios para obtener una pasta homogénea (Beckett, 2019). En el refinado se reduce el tamaño de las partículas de los sólidos de cacao, azúcar y lácteos (al elaborar chocolate con leche o blanco) con el objetivo principal de hacer que los sólidos de azúcar, lácteos (al elaborar chocolate con leche o blanco) y cacao sean físicamente imperceptibles en la boca, evitando así la sensación arenosa (de Souza-Silveira *et al.*, 2022), además, durante la etapa de refinado, también se produce la homogeneización de los ingredientes y el recubrimiento de las superficies sólidas por la fase lipídica (de Souza-Silveira *et al.*, 2022; Ferreira-Chaves *et al.*, 2024).

Los ingredientes y sus proporciones tienden a variar según el tipo de chocolate a elaborar, estableciendo para el chocolate negro, los ingredientes principales como: manteca de cacao, sólidos de cacao y azúcar, mientras que para el chocolate con leche, se suele utilizar: manteca de cacao, sólidos de cacao, leche en polvo y azúcar, finalmente para el chocolate blanco se utiliza principalmente manteca de cacao, leche en polvo y azúcar (Bianchi *et al.*, 2021; Mendoza-Meneses *et al.*, 2023).

Es importante mencionar que al chocolate blanco y con leche también se puede incorporar grasa láctea, lo cual influye directamente en el refinado del chocolate, tanto para disminuir el tamaño de partícula como la viscosidad de la mezcla ya que, cuanto más grasa de leche se utilice, se tendrá un producto más suave, y viceversa (Lapčíková *et al.*, 2022). Según Yachachin-Tunque (2023), la reducción de dicha viscosidad se debe a la incompatibilidad que existe entre la manteca vegetal y grasa de leche cuando se mezclan entre sí, de igual manera, Rodrigues *et al.* (2021) ya habían mencionado la efectividad de la grasa láctea para disminuir la viscosidad del chocolate debido a su capacidad para interactuar con las partículas sólidas presentes en la mezcla (como el azúcar y los sólidos de cacao) reduciendo por

tanto la agregación de partículas, lo que a su vez disminuye la viscosidad y la fricción en la interfaz de deslizamiento. Además, según Lapčíková *et al.* (2022) la grasa de leche ablanda el chocolate, reduciendo su punto de fusión y, por lo tanto, facilitando sus propiedades de fusión en la boca.

Después de mezclar todos los ingredientes según el tipo de chocolate a elaborar, estos se refinan mediante refinadores de rodillos para obtener la textura y el sabor final del chocolate (Giacomozzi *et al.*, 2021; Gültekin-Özgüven *et al.*, 2016). En esta operación el tamaño de la partícula del grano de cacao, azúcar leche en polvo (en la producción de chocolate con leche) debe estar entre 15 y 35 micrones (Beckett, 2019). Según Zadorozhna (2023), se recomienda establecer un tamaño de partícula de aproximadamente 20 μm a 30 μm , para el producto terminado en el proceso de refinación, que es el límite inferior de tamaño de partículas que puede detectar la lengua.

Conchado

Consiste en la agitación de la masa de chocolate a temperaturas superiores a 50 °C y es una operación unitaria esencial para el desarrollo de una viscosidad adecuada y la consecución de la textura suave y el sabor final. Esta operación permite que escapen algunos de los componentes volátiles naturales que no tienen un efecto favorable en el sabor del chocolate (Beg *et al.*, 2017), mejora el perfil de sabor, reduce la concentración de ácidos libres y otros subproductos volátiles de los granos de cacao provocando que los sabores desagradables disminuyen después del conchado (Aprotosoie *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2024; Toker *et al.*, 2019). Las condiciones de conchado son seleccionadas según el producto final a fabricar y en chocolates negros se pueden utilizar temperaturas que oscilan entre 70 °C y 90 °C (Di-Mattia *et al.*, 2017), sin embargo, según Aprotosoie *et al.* (2016) el chocolate negro normalmente se concha a 70 °C o hasta 82 °C.

Los tiempos de conchado y las temperaturas varían típicamente de acuerdo con los ingredientes utilizados es así que para leche molida el conchado es de 10 a 16 horas a 49 °C a 52 °C, con productos de leche en polvo de 16 a 24 horas a hasta 60 °C y con chocolates negros a 70 °C y continúa hasta 82 °C. Sustituyendo la leche en polvo entera por leche desnatada en polvo y grasa de mantequilla, se pueden utilizar temperaturas de hasta 70 °C (Shafi *et al.*, 2018). El tiempo de conchado es bastante largo para un proceso industrial y, por lo tanto, además del desarrollo del sabor, naturalmente se esperan cambios estructurales que afectan la textura del chocolate (Yaliniz & Riza-Tekin, 2017).

En el caso de utilizar lecitina (para mejorar la viscosidad del chocolate), vainilla o saborizantes en la elaboración de chocolate, estos ingredientes deben adicionarse hacia el final del conchado (2 horas antes de finalizar), permitiendo que los ingredientes se distribuyan uniformemente en la masa de chocolate y así asegurar una integración homogénea antes de pasar al proceso de templado (Fibrianto *et al.*, 2021; Shafi *et al.*, 2018).

Templado y cristalización

Según Fibrianto *et al.* (2021), el templado en la etapa operacional consiste en calentar la pasta de chocolate hasta alcanzar los 50 °C, para luego reducir gradualmente la temperatura hasta los 29 °C a 30 °C. Según Afoakwa (2016), el templado tiene cuatro pasos clave que son: fusión completa (a 50 °C), enfriamiento hasta el punto de cristalización (a 32 °C), cristalización (a 27 °C) y conversión de cualquier cristal inestable (a 29 °C - 31 °C). En el caso del chocolate con leche la secuencia de temperaturas para el templado suele ser 50 °C, 32 °C y 27 °C para finalmente subirla a 30 °C o 32 °C (Ditchfield *et al.*, 2023); mientras que las temperaturas de enfriamiento y calentamiento para el templado del chocolate negro serían de 2 °C y 3 °C más altas (Beckett *et al.*, 2017).

Una propuesta similar pero más actualizada está dada por Lopes *et al.* (2024), quienes establecen como primer paso del templado elevar la temperatura del chocolate a 45 °C para que se derrita por completo, seguida de un enfriamiento a un ritmo de 2 °C por minuto hasta llegar a una temperatura estable de entre 26 °C a 30 °C, para posteriormente calentar el chocolate a 32 °C y conseguir las propiedades reológicas ideales. Aproximadamente, del 2 % al 4 % de la grasa presente en la pasta de chocolate se cristaliza durante el templado, y el proceso de cristalización continúa durante las etapas de enfriamiento y almacenamiento (Lopes *et al.*, 2024).

En esta etapa operacional de templado, donde el chocolate derretido se enfría y calienta levemente mediante agitación en una plancha calentadora de agitación bajo un ambiente de temperaturas controladas, también se puede dar como resultado cristales de manteca de cacao estables y de tamaño uniforme que luego inciden en el crecimiento de una red cristalina estable durante la etapa de enfriamiento (Beckett *et al.*, 2017; Gutiérrez, 2017), esto hace que el chocolate tenga un aspecto brillante, buena textura, resistencia a la eflorescencia grasa y a la contracción (Beckett *et al.*, 2017; Gutiérrez, 2017) contribuyendo finalmente a la obtención de un producto estable (Samanta *et al.*, 2022).

Por lo anterior, cabe considerar a la cristalización como un proceso esencial en la producción de chocolate, ya que determina características críticas como la textura, el brillo y la estructura del producto final (Gutiérrez, 2017). Este proceso consiste en manipular la temperatura (iniciando en el templado) para obtener una de las seis estructuras polimórficas posibles de la manteca de cacao, siendo el polimorfo βV el más deseado, ya que proporciona la mejor calidad en términos de apariencia y textura del chocolate y se ha utilizado durante años como el indicador clave de una barra de chocolate de buena calidad (Peyronel & Pink, 2021).

La cristalización ocurre principalmente en la obtención de productos derivados como la manteca de cacao y según Peyronel & Pink (2021) la producción de cristales βV implica un protocolo de temperatura bien definido para enfriar y calentar el chocolate fundido bajo acción de cizallamiento, induciendo así la formación de una pequeña proporción (1 – 3 % del volumen) de cristales semilla βV , sobre los cuales se solidifica la grasa restante. Este método es utilizado para reducir la formación de cristales polimorfos menos estables como son el α , $\beta' III$ o $\beta' IV$.

La importancia de la cristalización radica en su capacidad para influir en la vida útil y la calidad del chocolate. Un proceso de cristalización controlado permite que el chocolate mantenga su estructura durante el almacenamiento, evitando defectos como el florecimiento de grasa, que ocurre cuando las grasas migran hacia la superficie del producto. Además, un chocolate bien cristalizado tiene una resistencia superior a las fluctuaciones de temperatura, lo que lo hace más estable tanto en su transporte como en su comercialización (Grob *et al.*, 2021).

Es importante recalcar que la cristalización de los lípidos presentes en la pasta de cacao también se da en el moldeado, enfriamiento y almacenamiento, es por ello que estas etapas deben ser controladas con la finalidad de preservar la calidad del chocolate como producto final (Beckett, 2019).

Moldeado y enfriado

Una vez templado el chocolate y alcanzada la temperatura final necesaria para que se mantenga en estado líquido (30 °C) el chocolate (Grob *et al.*, 2021), se inicia su moldeado y enfriamiento para que alcance las características del producto final en estado sólido (Fibrianto *et al.*, 2021). El moldeado es un paso clave en la producción de chocolate, en el que el chocolate templado se vierte en moldes específicos para

darle forma y luego ser enfriado a 12 °C buscando solidificarlo (Grob *et al.*, 2021; Gutiérrez, 2017). Tradicionalmente, los moldes eran de metal, sin embargo, el alto costo, ruido y pesadez hicieron que se sustituyeran por moldes de plástico o silicona que son más ligeros, silenciosos y económicos (Gutiérrez, 2017).

Es importante que los moldes vacíos se precalienten cerca de la temperatura del chocolate atemperado (30 °C) antes de comenzar el proceso de moldeado, para fundir los cristales inestables presentes (Grob *et al.*, 2021; Gutiérrez, 2017), además, se debe considerar el uso de moldes sin exceso de calor, de lo contrario se producirá un destemplado, que provocará la adherencia del producto o pasta de chocolate a las impresiones del molde, limitando su brillo, lo que daría lugar al fenómeno conocido como florecimiento de grasa (defecto común en el chocolate que genera una capa blanquecina en la superficie del producto) (Afoakwa, 2016). De manera contraria, moldes demasiado fríos pueden producir un brillo deficiente e igualmente adherencia del chocolate al molde, con un aumento en el número de burbujas de aire y marcas no deseadas en el producto terminado (Afoakwa, 2016).

El precalentamiento de los moldes también garantiza que la grasa no se solidifique incorrectamente y que no se formen cristales de tipo IV (no adecuados), es por ello que el chocolate debe distribuirse uniformemente sobre el molde y eliminar inmediatamente las burbujas de aire mediante agitación vigorosa del molde hasta que el chocolate se solidifique (Gutiérrez, 2017).

Otro punto para considerar sobre los moldes que contienen el chocolate fundido es su enfriamiento en varios niveles, es decir, se trata de un proceso mecanizado que pasa los moldes gradualmente capa por capa a través de un túnel de enfriamiento, reduciendo la temperatura del chocolate hasta llevarlo a los 12 °C a 15 °C,

aproximadamente, solidificándolo en forma de barras (Afoakwa, 2016). Este tipo de sistema de refrigeración se encuentra normalmente en las industrias de procesamiento establecidas a gran escala, siendo menos usuales en industrias de tipo artesanal. Durante el procesamiento por lotes en la fabricación de chocolate a pequeña escala, el enfriamiento se realiza principalmente ambientes refrigerantes o refrigeradores. En esta situación, los moldes que contienen el chocolate se pueden enfriar en frigorífico a temperaturas de entre 7 °C a 10 °C, tomando aproximadamente de 20 a 30 minutos (Afoakwa, 2016).

Almacenamiento

En esta última etapa del proceso unitario de producción, el almacenamiento del chocolate se reconoce como un paso crítico para garantizar la conservación de las características sensoriales y la estabilidad del producto final (Barišić *et al.*, 2021). Por ello, el chocolate desmoldado se recomienda envolverlo en papel de aluminio y posteriormente en un envoltorio de papel (Afoakwa, 2016). De esta manera, la lámina de aluminio proporciona una barrera a la transmisión de vapor de agua y gas externo, manteniendo el sabor y la temperatura fría del chocolate, mientras que el material de papel es fuerte, fácil de imprimir y relativamente económico (Afoakwa, 2016). De manera alternativa, Euribe-Garrido (2022) demostró que el uso de laminados (LM) hechos de polipropileno (PP), también funcionan como una barrera de protección contra la humedad del chocolate ya empaquetado superior al papel aluminio, lo que indica una mejor protección contra la absorción de humedad del ambiente, preservando la calidad sensorial y extendiendo la vida útil del chocolate.

Los chocolates envueltos y sin defectos son empaquetados antes de enviarlos al almacén para su almacenamiento a temperaturas de

entre 18 °C y 20 °C (Afoakwa, 2016). Al respecto, la investigación realizada por Tauferová & Tkadlecová (2022) menciona que para preservar las propiedades sensoriales del chocolate, el almacenamiento más adecuado debe ser a la temperatura de 16 °C con una humedad relativa del 60 %. Es decir, que la temperatura de almacenamiento del chocolate debe ser en condiciones controladas (< 20 °C) para evitar la eflorescencia de grasa, una consecuencia común de las fluctuaciones de temperatura (calentamiento/enfriamiento) (Ditchfield *et al.*, 2023; Machálková *et al.*, 2015; Mokbul *et al.*, 2023).

Conclusiones

En conjunto, el análisis documental muestra que el proceso de revisión sistemática impone filtros estrictos en todas las categorías de documentos, con reducciones significativas en cada etapa, especialmente en los artículos científicos y las tesis, que son los tipos de documentos más representados. La rigurosidad del proceso es clave para asegurar la calidad y relevancia de los estudios incluidos en la investigación final.

Esta revisión sistemática sobre las operaciones unitarias involucradas en la producción de chocolate negro, con leche y blanco permitió identificar las principales etapas críticas del proceso, así como los parámetros operativos que influyen directamente en la calidad sensorial del producto final. Los resultados obtenidos destacan la importancia del control riguroso en cada fase del proceso de producción, desde la recepción del cacao hasta el almacenamiento del chocolate, para garantizar un producto final con las características deseadas.

El análisis de las operaciones unitarias, tales como el tostado, la alcalinización, la molienda, el conchado y el templado, revelaron que existen parámetros de temperatura y tiempo que al variar inciden de manera directa en las características del chocolate a producir. Esto

indica que cada tipo de chocolate requiere un tratamiento especializado que debe ajustarse cuidadosamente para obtener las propiedades sensoriales óptimas.

Finalmente, esta revisión sistemática subraya la necesidad de investigaciones futuras que profundicen en los impactos del procesamiento sobre los compuestos bioactivos del chocolate, como los polifenoles y metilxantinas, así como en el desarrollo de tecnologías más sostenibles que optimicen la producción sin sacrificar la calidad del producto. Estos hallazgos proporcionarían una base sólida para la implementación de mejoras en la producción industrial de chocolate y para futuras investigaciones que exploren nuevas innovaciones tecnológicas en este campo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades de la Universidad Estatal Amazónica por su apoyo a nivel investigativo, facilitándonos las herramientas necesarias para el desarrollo de este artículo científico.

Referencias

- Achaw, O. W., & Danso-Boateng, E. (2021). *Chemical and process industries: With examples of industries in Ghana*. In *Chemical and Process Industries: With Examples of Industries in Ghana*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1>
- Afoakwa, E. O. (2016). *Chocolate Science and Technology*. John Wiley & Sons.
- Anoraga, S. B., Wijanarti, S., & Sabarisman, I. (2019). Effect of extraction time and pressing temperature on characteristic of cocoa powder quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012050>
- Aprotosoai, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73–91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Ascrizzi, R., Flamini, G., Tessieri, C., & Pistelli, L. (2017). From the raw seed to chocolate:

- Volatile profile of Blanco de Criollo in different phases of the processing chain. *Microchemical Journal*, 133, 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.024>
- Barišić, V., Kopjar, M., Jozinović, A., Flanjak, I., Ačkar, Đ., Miličević, B., Subarić, D., Jokić, S., & Babić, J. (2019). The chemistry behind chocolate production. *Molecules*, 24(17). <https://doi.org/10.3390/molecules24173163>
- Barišić, V., Lončarić, A., Flanjak, I., Jozinović, A., Jokić, S., Subarić, D., Babić, J., Miličević, B., & Ačkar, Đ. (2021). Stability of Chocolates Enriched with Cocoa Shell during Storage. *Proceedings*, 70, 3. https://doi.org/10.3390/foods_2020-08534
- Beckett, S. T. (2019). *The science of chocolate*. RSC Publishing.
- Beckett, S. T., Fowler, Mark., & Ziegler, G. R. (2017). *Industrial chocolate manufacture and use* (5.a ed.). Wiley Blackwell. https://books.google.com.ec/books?id=x_QBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends in Food Science and Technology*, 66, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>
- Bianchi, F. R., Moreschi, L., Gallo, M., Vesce, E., & Del Borghi, A. (2021). Environmental analysis along the supply chain of dark, milk and white chocolate: a life cycle comparison. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 807–821. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01817-6>
- Bolenz, S., & Langer, M. (2020). Feasibility of a coarse conching process for dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 246(1), 125–138. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03401-1>
- Braga, S. C. G. N., Oliveira, L. F., Hashimoto, J. C., Gama, M. R., Efraim, P., Poppi, R. J., & Augusto, F. (2018). Study of volatile profile in cocoa nibs, cocoa liquor and chocolate on production process using GC × GC-QMS. *Microchemical Journal*, 141, 353–361. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.05.042>
- Brown, A. L., Warren, E. R., Ingraham, B. W., Ziegler, G. R., & Hopfer, H. (2023). The effect of fat content on sensory perception and consumer acceptability of 70% cacao dark chocolate made from reconstituted cocoa liquor. *Journal of Sensory Studies*, 38(5). <https://doi.org/10.1111/JOSS.12864>
- Chacón-Ortiz, C. Y., Mori Culqui, P. L., & Chavez Quintana, S. G. (2021). Antioxidantes y polifenoles totales de chocolate negro con incorporación de cacao (*Theobroma cacao* L.) crudo. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(4), 266–273. <https://doi.org/10.18271/RIA.2021.331>
- Chire-Fajardo, G., Ureña-Peralta, M., García-Torres, S., & Hartel, R. (2019). Optimización de la formulación de chocolate oscuro a partir de la mezcla de granos de cacao y contenido de cacao aplicando método de superficie de respuesta (Optimization of the dark chocolate formulation from the mixture of cocoa beans and cocoa content by applying surface response method). *Enfoque UTE*, 10(3), 42–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.432>
- Codex Alimentarius. (2022). *STANDARD FOR CHOCOLATE AND CHOCOLATE PRODUCTS*. CXS 87-1981 Adopted in 1981. Revised in 2003. Amended in 2016, 2022.
- Córdova-Ávalos, V., Pérez-Flores, J., Chávez-García, E. C.-G., Becerril-Hernández, H., Mandujano Contreras, J. C., Reyes De La Cruz, C., Rodríguez Ocaña, L., Córdova Avalos, A., & Córdova-Lázaro, C. E. (2019). Valor comercial del chocolate casero. *Agro Productividad*, 12(7), 65–70. <https://doi.org/10.32854/agrop.voio.1439>
- de Souza-Silveira, P. T., Aguiar Pedroso, A. C., Pedroso Muniz, C., Cristianini, M., & Efraim, P. (2022). Influence of Refining and Conching Systems on Rheological and Sensory Properties of Chocolate. *Journal of Food Research*, 11(2), 69–82. <https://doi.org/10.5539/jfr.v11n2p69>
- Di-Mattia, C. D., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Serafini, M. (2017). From cocoa to chocolate: The impact of processing on in vitro antioxidant activity and the effects of chocolate on antioxidant markers in vivo. *Frontiers in Immunology*, 8(SEP), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01207>
- Didar, Z. (2020). Characterization of White Chocolate Enriched with Free or Encapsulated Pomegranate Extract. *Journal of Nutrition Fasting and Health*, 8(4), 302–309. <https://doi.org/10.22038/jnfh.2020.50603.1281>
- Ditchfield, C., Kushida, M. M., Mazalli, M. R., & Sobral, P. J. A. (2023). Can Chocolate Be Classified as an Ultra-Processed Food? A Short Review on Processing and Health Aspects to Help Answer This Question. *Foods*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods12163070>
- Enríquez-Estrella, M., & El-Salou, A. El. (2022). Chocolate couvertures development from combination of CCN51 and Super Tree cocoa varieties, in the Pastaza-Ecuador. *Ciencia e Investigación*, 25(1), 45–54. <https://doi.org/10.15381/ci.v25i1.22834>
- Euribe-Garrido, C. S. (2022). *Variación de humedad en el almacenamiento de chocolates oscuros empacados y su aceptabilidad sensorial*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina].
- Faccinnetto-Beltrán, P., Gómez-Fernández, A. R., Santacruz, A., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2021). Chocolate as carrier to deliver

- bioactive ingredients: Current advances and future perspectives. *Foods*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/foods10092065>
- Ferreira-Chaves, K., Pereira de Castro, G. L., Ribeiro-Boemer, J. P., Martins da Silva, V., da Cunha, R. L., Luccas, V., & Badan Ribeiro, A. P. (2024). Lipid phase characterization and reformulation of chocolate spreads to reduce saturated fatty acids. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, 1–18. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08523>
- Fibrianto, K., Fajrul Azhar, L. O. M., Widytomo, S., & Harijono, H. (2021). Effect of cocoa bean origin and conching time on the physicochemical and microstructural properties of Indonesian dark chocolate. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.24919>
- García-Escobar, H. M., González-Rosales, S. O., Martínez-Ramírez, R. N., & Bermúdez-Márquez, M. (2018). Determinación del perfil de sabor de doce cacaos autóctonos (*Theobroma cacao* L.) producidos en siete fincas cacaoteras de El Salvador. *Agrociencia*, 1(5), 25–39. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/102/118>
- Giacomozzi, A. S., Carrin, M. E., Herrera, M. de L., & Martini, S. (2021). Elaboración de chocolate: funcionalidad de la manteca de cacao y los efectos de su reemplazo por grasas alternativas. *Aceites y Grasas*, 3, 414–423.
- Glicerina, V., Balestra, F., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2016). Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. *Journal of Food Engineering*, 169, 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011>
- Goya, L., Kongor, J. E., & de Pascual-Teresa, S. (2022). From Cocoa to Chocolate: Effect of Processing on Flavanols and Methylxanthines and Their Mechanisms of Action. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijms232214365>
- Grob, L., Papadea, K., Braun, P., & Windhab, E. J. (2021). Influence of local convective heat flux on solidification, contraction and wall detachment behavior of molded chocolate during air cooling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 68, 1. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102629>
- Guaman-Carchipulla, G. L., & Ramirez-Cuji, R. V. (2019). Obtención de chocolate para cobertura a partir de la combinación de las variedades de cacao CCN51 y súper árbol. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. Repositorio Institucional – Universidad Estatal Amazónica.
- Gültekin-Özgüven, M., Berktaş, I., & Özçelik, B. (2016). Influence of processing conditions on procyanidin profiles and antioxidant capacity of chocolates: Optimization of dark chocolate manufacturing by response surface methodology. *LWT – Food Science and Technology*, 66, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.047>
- Gutiérrez, T. J. (2017). State-of-the-Art Chocolate Manufacture: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1313–1344. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12301>
- Herrera-Rocha, F., Fernández-Niño, M., Cala, M. P., Duitama, J., & Barrios, A. F. G. (2023). Omics approaches to understand cocoa processing and chocolate flavor development: A review. *Food Research International*, 165, 112555. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112555>
- Hinne, M., Van de Walle, D., Tzompa-Sosa, D. A., De Winne, A., Termote, S., Messens, K., Van Durme, J., Afoakwa, E. O., De Cooman, L., & Dewettinck, K. (2019). Tuning the aroma profiles of FORASTERO cocoa liquors by varying pod storage and bean roasting temperature. *Food Research International*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108550>
- Ilmi, A., Praseptianga, D., & Muhammad, D. R. A. (2017). Sensory Attributes and Preliminary Characterization of Milk Chocolate Bar Enriched with Cinnamon Essential Oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 193(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012031>
- Jácome-Lagla, W. D. (2015). *Diseño de una planta de elaboración de chocolate negro y chocolate con leche a partir de licor de cacao*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional – Escuela Politécnica Nacional.
- Konar, N., Palabiyik, I., Toker, O. S., Polat, D. G., Kelleci, E., Pirouzian, H. R., Akcicek, A., & Sagdic, O. (2018). Conventional and sugar-free probiotic white chocolate: Effect of inulin DP on various quality properties and viability of probiotics. *Journal of Functional Foods*, 43, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.016>
- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile – A review. *Food Research International*, 82, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Lopes, G. G., Morgano, M. A., & Taniwaki, M. H. (2024). Advances in bean-to-bar chocolate production: Microbiology, biochemistry, processing, and sensorial aspects. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, 1–16. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13323>
- López-Dicao, C. M. (2024). *Buenas prácticas de postcosecha en el cultivo de cacao (Theobroma cacao)*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Babahoyo.
- Lucero-Álvarez, M. G. (2015). *Caracterización de la manteca de cacao de tres variedades trinitario*

- (CCN-51), nacional (EET-103) y forastero (IMC-67), Quevedo-Ecuador. [Tesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
- Machálková, L., Hřivná, L., Nedomová, Š., & Jůzl, M. (2015). The effect of storage temperature on the quality and formation of blooming defects in chocolate confectionery. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 9(1), 39–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.5219/425>
- Mendoza-Meneses, C. J., Feregrino-Pérez, A. A., & Gutiérrez-Antonio, C. (2023). ¿Por qué nos gusta el aroma del chocolate? *Elementos*, 129, 23–27.
- Misnawi, Jinap, S., Jamilah, B., & Nazamid, S. (2005). Changes in polyphenol ability to produce astringency during roasting of cocoa liquor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 917–924. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jfsa.1954>
- Mokbul, M., Cheow, Y. L., & Siow, L. F. (2023). Physical properties, sensory profile and storage stability of compound chocolates made with cocoa butter replacer consisting of mango kernel fat and rice bran oil. *Food Chemistry Advances*, 3, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100515>
- Muñoz-Chafla, D. I. (2014). *Proyecto de factibilidad para la exportación de chocolate amargo artesanal hacia el país de Japón, ciudad de Tokio, elaborado por la Asociación de Participación Social "El Porvenir" ubicada en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, durante el período 2014–2018* [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/ESPOCH_7469f90ad2a6e0e7f9f350f5980557f8
- Nguyen, H.-B., Pham, D.-L., & Nguyen, V.-L. (2019). A Study on the Breaking and Winnowing Machine for Cocoa Beans at Small Industrial Scale in Vietnam. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(1), 329–335. <https://doi.org/https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.1.7765>
- Núñez-Molina, N., & Lizarazo-Florez, P. D. (2018). *Desarrollo de un producto derivado del cacao híbrido y su proceso de transformación en la asociación APOMD ubicado en el municipio de Dibulla, Guajira*. [Tesis, Universidad de la Salle].
- Onelli, R. R. V., de Jesus, J. C., Reis, L. C. C., Alves, I. C. S., Santos, L. S., & Ferrão, S. P. B. (2024). Chocolates Produced with Unroasted and Roasted Cocoa Beans: A Comparative Study of the Preservation of Bioactive Compounds. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 35(4), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.21577/0103-5053.20230152>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. <https://doi.org/https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Palacios-Hilario, A. Y., Aguirre Vargas, E. B., Hurtado-Soria, B. Z., Prieto Rosales, G., Ore Quiroz, H. P. J., Pantoja Tirado, L. R., Piscocche Chinchay, R. H., & Villanueva López, E. (2023). Influencia de la extracción de manteca cacao por lixiviación y prensado hidráulico sobre el perfil lipídico caracterizado por cromatografía y espectroscopia vibracional. *TAYACAJA*, 6(2), 38–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.46908/tayacaja.v6i2.212>
- Peker, B. B., Suna, S., Tamer, C. E., & Çopur, Ö. U. (2013). The Effects of Lecithin and Polyglycerol Polycricinoleate (PGPR) on Quality of Milk, Bitter and White Chocolates. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 27, 55–69.
- Peyronel, F., & Pink, D. A. (2021). Using USAXS to predict the under-tempered chocolate microstructure. *Food Research International*, 143, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110224>
- Quelal, O. M., Hurtado, D. P., Benavides, A. A., Alanes, P. V., & Alanes, N. V. (2023). Key Aromatic Volatile Compounds from Roasted Cocoa Beans, Cocoa Liquor, and Chocolate. *Fermentation*, 9(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation9020166>
- Rodrigues, S. A., Shewan, H. M., Xu, Y., Selway, N., & Stokes, J. R. (2021). Frictional behaviour of molten chocolate as a function of fat content. *Food and Function*, 12(6), 2457–2467. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d0fo03378b>
- Rojas, M., Hommes, A., Heeres, H. J., & Chejne, F. (2022). Physicochemical Phenomena in the Roasting of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Engineering Reviews*, 14(3), 509–533. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12393-021-09301-z>
- Samanta, S., Sarkar, T., Chakraborty, R., Rebezov, M., Shariati, M. A., Thiruvengadam, M., & Rengasamy, K. R. R. (2022). Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. *Current Research in Food Science*, 5, 1916–1943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>
- Sarıtaş, S., Duman, H., Pekdemir, B., Rocha, J. M., Öz, F., & Karav, S. (2024). Functional chocolate: exploring advances in production and health benefits. *International Journal of Food Science and Technology*, 59, 5303–5325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.17312>
- Shafi, F., Reshi, M., Bashir, A., & Bashir, I. (2018). Chocolate processing. *International Journal of Advanced Bioical Research*, 8(3), 408–419. [http://www.scienceandnature.org/IJABR/IJABR_Vol8\(3\)2018/IJABR_V8\(3\)18-22CS2.pdf](http://www.scienceandnature.org/IJABR/IJABR_Vol8(3)2018/IJABR_V8(3)18-22CS2.pdf)
- Silva-Lima, G. V., Gonçalves e Gonçalves, C., Oliveira Pinto, A. S., da Silva, E. M., Silva de Souza, J. N., & Rogez, H. (2024). Impact of post-harvest processing and roasting conditions

- on the physicochemical properties, phenolic compounds, and antioxidant capacity of cocoa beans from the Brazilian Amazon. *LWT - Food Science and Technology*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116825>
- Stewart, A., Grandison, A. S., Ryan, A., Festrings, D., Methven, L., & Parker, J. K. (2017). Impact of the Skim Milk Powder Manufacturing Process on the Flavor of Model White Chocolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(6), 1186–1195. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04489>
- Subroto, E., Djali, M., Indarto, R., Lembong, E., & Baiti, N. (2023). Microbiological Activity Affects Post-Harvest Quality of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Beans. *Horticulturae*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070805>
- Tauferová, A., & Tkadlecová, T. (2022). Effect of storage on sensory quality of chocolate. *Maso International - Journal of Food Science and Technology*, 12(1), 41–48. <https://doi.org/10.2478/mjfst-2022-0013>
- Tavares-Menezes, A. G., Batista, N. N., Ramos, C. L., de Andrade Silva, A. R., Efraim, P., Marques Pinheiro, A. C., & Schwan, R. F. (2016). Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, 81, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.036>
- Toker, O. S., Konar, N., Pirouzian, H. R., Oba, S., Polat, D. G., Palabiyik, I., Poyrazoglu, E. S., & Sagdic, O. (2018). Developing functional white chocolate by incorporating different forms of EPA and DHA - Effects on product quality. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.087>
- Toker, O. S., Palabiyik, I., & Konar, N. (2019). Chocolate quality and conching. *Trends in Food Science and Technology*, 91, 446–453. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.047>
- Urbańska, B., Derewiaka, D., Lenart, A., & Kowalska, J. (2019). Changes in the composition and content of polyphenols in chocolate resulting from pre-treatment method of cocoa beans and technological process. *European Food Research and Technology*, 245(10), 2101–2112. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03333-w>
- Valverde-García, D., Pérez Esteve, É., & Barat Baviera, J. M. (2020). Changes in cocoa properties induced by the alkalization process: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 2200–2221. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12581>
- Verde, A. B., Alvim, I. D., Luccas, V., & Vercelino Alves, R. M. (2021). Stability of milk chocolate with hygroscopic fibers during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110477>
- Yachachin-Tunque, R. G. (2023). *Determinación de niveles óptimos en la reducción de tamaño de partícula de cacao piurano en la fabricación de chocolate* [Tesis de grado, Universidad Agraria la Molina]. <https://secure.arkund.com/view/134334452-860483-508026#/>
- Yaliniz, F., & Riza-Tekin, A. (2017). Optimization of Dark Chocolate Conching Time with Response Surface Methodology. *Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 3(4), 78–83. <http://pearlresearchjournals.org/journals/jasft/index.html>
- Yu, L. X., Amidon, G., Khan, M. A., Hoag, S. W., Polli, J., Raju, G. K., & Woodcock, J. (2014). Understanding pharmaceutical quality by design. *AAPS Journal*, 16(4), 771–783. <https://doi.org/10.1208/s12248-014-9598-3>
- Zadorozhna, O. (2023). Chemical and physical methods of chocolate processing: administration process. *Public Administration and Law Review*, 3(15), 16–26. <https://doi.org/10.36690/2674-5216-2023-3>
- Żyżelewicz, D., Budryn, G., Oracz, J., Antolak, H., Kregiel, D., & Kaczmarek, M. (2018). The effect on bioactive components and characteristics of chocolate by functionalization with raw cocoa beans. *Food Research International*, 113, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.017>

Aprovechamiento de crías de abeja melífera con potencial alimentario sostenible en Yucatán, México

Utilization of honey bee broods with potential sustainable food in Yucatan, Mexico

Daniel García-López^a  daniel.garlopez@gmail.com; Yolanda Moguel-Ordóñez^b  moguel.yolanda@inifap.gob.mx;
Luis Antonio Chel-Guerrero^a  cguerrero@correo.uady.mx; David Abram Betancur-Ancona^{*a}  bancona@correo.uady.mx

^aGrupo de investigación Desarrollo Alimentario-FIQ-UADY, Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203. Mérida, Yuc., México

^bCampo Experimental Mocoiché, Centro de Investigación Regional Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (C.E. Mocoiché, CIRSE-INIFAP).

*Autor por correspondencia: bancona@correo.uady.mx

Recibido: 18/10/2024 Aceptado: 06/12/2024

Citar, APA: García-López, D., Moguel-Ordóñez, Y., Chel-Guerrero, L.A., y Betancur-Ancona, D.A. Aprovechamiento de crías de abeja melífera con potencial alimentario sostenible en Yucatán, México. (2024). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 67–106. <https://doi.org/10.23850/24220582.6656>

Resumen Para el año 2050, el mundo albergará a más de 9 mil millones de personas y, por ende, se duplicará la demanda de alimentos. En la actualidad, la producción de alimentos es poco sostenible ya que se basa en prácticas como la ganadería, la agricultura y la pesca que requieren grandes cantidades de recursos no renovables. Ante esto, existe la necesidad de investigar sobre otras fuentes que se perfilen como alimento o ingrediente y que aporten componentes nutricionales para la población creciente. El objetivo de este trabajo fue revisar diversas temáticas relacionadas con la entomofagia, particularmente con las crías de *Apis mellifera* producidas en Yucatán - México y analizar su relación con la seguridad alimentaria, la sustentabilidad, la comercialización y el aporte nutricional de éstos insectos con potencial alimentario. Se analizó la información proveniente de libros, artículos de revisión y estudios de investigación obtenidos de repositorios académicos relacionados con las crías de abeja *A. mellifera*, publicados desde el año 2002 a la fecha y de los cuales se obtuvo acceso completo en los motores de búsqueda como: Google Scholar, Scielo, ResearchGate, PubMed, Redalyc, Web of Science y ScienceDirect. Los resultados demostraron que, debido a su amplia presencia y su contenido en nutrientes, se recomienda el consumo de cría de abeja (larvas y pupas), en particular las de zánganos, ya que son potencial fuente de proteínas, grasas y minerales. La apicultura forma parte de una de las actividades pecuarias en el mundo, con más de 2 millones de colmenas en producción en México y cerca de 250,000 en la península de Yucatán, en donde la cría de abeja podría representar un producto de interés que aportaría valor agregado dentro de los productos de la colmena junto con la miel, cera, jalea real, propóleos, apitoxina, ya que es un potencial alimento desaprovechado que se podría estimar en miles de toneladas métricas (TM) anuales. La información sobre la composición química y nutricional de las crías en diferentes etapas de desarrollo de la abeja melífera es esencial para recomendar la especie como alimento.

Palabras clave: Alimento, fibra, grasa, obreras, proteína, sostenibilidad, zánganos.

Abstract By 2050, the world will be home to more than 9 billion people, thus doubling the food demand. Currently, food production is based on practices such as livestock farming, agriculture, and fishing that require large amounts of non-renewable resources, making it unsustainable. Given this, there is a need to investigate other emerging food sources or ingredients that could provide nutritional components for the growing population. The objective of this work was to review various topics related to entomophagy, particularly to *Apis mellifera* brood produced in Yucatan Mexico, and analyze their relationship with food security, sustainability, marketing, and the nutritional contribution of insects with food potential. The information from books, review articles and research studies obtained from academic repositories related to *A. mellifera* bee brood was analyzed, published from 2002 to date and of which full access was obtained in search engines such as: Google Scholar, Scielo, ResearchGate, PubMed, Redalyc, Web of Science and ScienceDirect. The results showed that, due to their wide presence and nutrient content, the consumption of bee broods (larvae and pupae), particularly drones, is recommended since these are a potential source of protein, fat, and minerals. Beekeeping is part of the livestock activities, with more than 2 million hives in production in Mexico and about 250,000 in the Yucatan Peninsula alone. Honey bee broods could represent a product of interest that could provide added value within the hive products along with honey, wax, royal jelly, propolis, and apitoxin since it is a potential unexploited food that could be estimated at thousands of metric tons (MT) annually. Information on the chemical and nutritional composition of the brood at different stages of development of the honey bee is essential to endorse the species as food.

Keywords: Drone bees, fat, fiber, food, protein, sustainability, worker bees.

Introducción

Los insectos pertenecen a los artrópodos (subfilo Hexapoda), representan la mayor proporción de todas las especies animales vivas conocidas en la tierra, dentro de las cuales se han documentado alrededor de 2100 especies de insectos comestibles en el mundo (Barrios-Mariutti *et al.*, 2021). Algunos insectos han sido sugeridos como posibles fuentes de proteínas ya que contienen hasta 60 %, con un buen perfil de aminoácidos (AA) y una digestibilidad de proteína mayor al 75 % (Belluco *et al.*, 2013). El consumo de insectos por los humanos denominado entomofagia, no es una temática desconocida ya que según registro de los últimos diez años se sabe que más de 2 mil millones de personas practican la entomofagia en países de América Latina, Asia y África (da Silva Lucas *et al.*, 2020), por tanto, esta práctica se considera una opción alimenticia como fuente de nutrientes por consumo directo de insectos o como ingrediente para la elaboración de preparaciones alimenticias (de Carvalho *et al.*, 2019; Barrios-Mariutti *et al.*, 2021).

La identificación de alimentos alternativos para humanos, como los insectos, surge como respuesta a las presentes y futuras demandas alimentarias de la población. Culturas antiguas de África, Asia, América y Australia consumían insectos como parte de su dieta por su abundancia y valor nutricional, sin embargo, la entomofagia ganó interés en las últimas décadas, a partir del año 1996 (FAO, 1996). De acuerdo con proyecciones, para el año 2050 con el aumento de la población, se incrementará la demanda global de alimentos entre un 25 % y 40 % en comparación con el año 2022 (van Dijk *et al.*, 2021). Adicionalmente, estos mismos autores señalaron como consecuencia del cambio climático un aumento para el año 2050 del 40 % en la demanda total de alimentos y un incremento del 20 % de población en riesgo de hambre. Debido a esto, se necesitan encontrar nuevas opciones alimentarias que puedan contribuir en los requerimientos de la población en crecimiento.

Dentro de este contexto, las crías de *Apis mellifera* Linnaeus (1758) son un recurso de interés, ya que su cuidado y aprovechamiento genera diversos productos derivados de su desarrollo como por ejemplo miel, jalea real y propóleo, se realiza en la mayoría de los continentes. Además, su consumo es una práctica cultural común en países como México (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997), Ecuador (Onore, 2010), China (Feng *et al.*, 2018) y Tailandia (Yhoun-Aree *et al.*, 2010). Investigaciones acerca de la composición nutricional de *A. mellifera* en diferentes etapas de su desarrollo, castas y razas, han evidenciado su riqueza a nivel en proteínas, hidratos de carbono, ácidos grasos y minerales, y en compuestos antioxidantes según el tipo de dieta (Haber *et al.*, 2019). Debido a estas características, el objetivo de esta revisión fue analizar el potencial aprovechamiento con las crías de *A. mellifera* como un producto derivado de la colmena, su relación con la seguridad alimentaria y su utilización como alimento en Yucatán, México, debido a su aporte nutricional.

Materiales y métodos

Para la elaboración de esta revisión, se consideraron los artículos científicos, libros o capítulos de libro que tuvieran relación directa con el potencial de insectos como fuente alimentaria, centrándose en la seguridad alimentaria, sustentabilidad y calidad nutricional de crías de abejas melíferas en diferentes castas (obreras y zánganos) y diferentes estadios (larvas y pupas) producidas en el mundo y por la actividad apícola en Yucatán, México. Los documentos de interés fueron seleccionados empleando estrategias de búsqueda de acuerdo a la metodología indicada por Ramírez-Miranda *et al.* (2021), considerando las etapas: búsqueda, selección, elegibilidad e inclusión. Se utilizaron términos clave y sus combinaciones empleando operadores booleanos (and, or, not). La búsqueda se realizó en los idiomas español e inglés con base a las palabras clave utilizando el Thesauro FSTA (Food Science and Technology Abstracts).

La búsqueda de literatura se realizó en motores de búsqueda como: Google Scholar, Scielo, ResearchGate, PubMed, Redalyc, Web of Science y ScienceDirect. Este manuscrito busco resumir la información proveniente de libros, artículos de revisión y estudios de investigación relacionados con las crías de abeja *A. mellifera*, publicados desde el año 2002 a la fecha y de los cuales se obtuvo acceso completo en los motores de búsqueda ya mencionados. Se incluyeron trabajos con otras especies de insectos como *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Gryllos sigillatus*, *Acheta domesticus* y *Gryllus assimili* cuya composición química indicó que podrían tener potencial alimentario. Se identificaron 247 documentos que fueron analizados y 57 estudios fueron empleados para la investigación final.

Resultados y discusión

Insectos y entomofagia

Los insectos, dentro del filo artrópoda, representan los animales invertebrados de mayor diversidad en la tierra. Se han descrito más de un millón de especies de insectos, lo que constituye aproximadamente el 7 % del estimado total de 14 millones de especies que se cree que existen en el mundo (Stork, 2018). Los insectos realizan múltiples actividades importantes para el ecosistema, diversas especies participan en la polinización, función con la que contribuyen a producir alimento vegetal e indirectamente animal, además preservan y restauran la biodiversidad de plantas locales, mejorando el rendimiento y la calidad de cultivos; y retornan nutrientes y minerales a la tierra mediante la biodegradación de materia inorgánica que fertiliza plantas (Papa *et al.*, 2022). Algunos insectos actúan como depredadores y parasitoides de insectos plaga, permitiendo el control o el equilibrio entre ellos (van Huis *et al.*, 2013).

En los últimos años ha aumentado la investigación sobre la entomofagia, es decir el consumo de insectos como alimento y fuente

de nutrientes. Sin embargo, el consumo de insectos por parte de los humanos es una práctica milenaria y aún forma parte de la dieta de más de 3 mil grupos étnicos en diferentes países de África, Asia y América Latina, aunque en términos de consumo industrial y comercial, el uso de insectos como alimento comenzó a desarrollarse a gran escala en la última década (Costa-Neto & Dunkel, 2016). Los insectos se consumen en diferentes estados de desarrollo, como huevos, larvas, pupas y adultos, y según Barrios-Mariutti *et al.* (2021) existen más de 2,000 especies que se consumen alrededor del mundo entre ellas: escarabajos, orugas, abejas, avispa, hormigas, saltamontes, langostas, grillos, cigarras, entre otros.

El valor nutricional de los insectos comestibles es muy variable, sobre todo debido a la diversidad de especies. Otro punto por considerar es su composición química, la cual varía según la etapa metamórfica del insecto, su hábitat y su dieta, siendo principales componentes de los insectos las proteínas, grasas y fibras (van Huis *et al.*, 2013). Además, en materia alimentaria también se debe considerar que son una fuente importante de macronutrientes y micronutrientes, llegando a describirse especies con un 60 % de contenido en proteína con un alto valor biológico dado por una puntuación de aminoácidos esenciales (AAE) entre 46 % a 96 % y un porcentaje de digestibilidad mayor a 70 % (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997).

En el contexto de la producción pecuaria convencional, un aspecto crucial es la eficiencia con la que el cuerpo del animal convierte los alimentos en la producción deseada (carne); el cual se puede expresar cuantitativamente mediante la tasa de conversión alimenticia (TCA). Una TCA baja significa que el animal necesita menos alimento para ganar peso, lo cual es beneficioso tanto en términos económicos como ambientales. Por tanto, ciertas características fisiológicas de los insectos los hacen apropiados de presentar bajas TCA, por ejemplo, el que

no utilicen su metabolismo para calentarse o enfriarse, reduciendo así el uso de energía, su capacidad de producir miles de crías, rápidas tasas de crecimiento y un estado de madurez temprano alcanzado en días en lugar de meses o años (Alexander *et al.*, 2017). Un ejemplo de aprovechamiento de insectos es el grillo doméstico (*Acheta domestica*) ya que su TCA se encuentra en rangos de 1,7 a 4,5 (Oonincx *et al.*, 2015). Se ha reportado que puede llegar a tener un 80 % de rendimiento de peso comestible y una digestibilidad *in vitro* de proteína entre 57 % y 91 % (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2022). Más específicamente, en la abeja melífera, autores como Mitchell *et al.* (2023) indican que en épocas de invierno esta cambia la regulación de su temperatura, ya que las obreras forman un grupo termorregulador haciendo uso del metabolismo para mantener la temperatura entre 20 °C a 34 °C dentro de la colonia, provocando una reducción en las tasas de crecimiento.

Un comportamiento diferente, ha sido reportado en las TCA para animales con una alimentación basada en cereales, representados por ganado bovino (6 - 8), cerdo (3,5) y pollos de engorde (1,5 - 2,5). Sin embargo, cuando los sistemas de producción se basan en forraje, la TCA puede llegar a ser de 10 para el bovino. Además de la alimentación, las características genéticas y ambientales también pueden influir en una menor o mayor tasa de conversión alimenticia. En este sentido, Fry *et al.* (2018) indicaron rendimientos para los canales de ganado bovino fue 64 %, para cerdo fue 76 % y para pollos fue del 78 %.

Al compararse con especies animales de mayor tamaño, la crianza de insectos en grupos grandes puede realizarse en espacios reducidos. Además, cuando se siguen prácticas sanitarias adecuadas, se reducen y controlan los riesgos de enfermedades en comparación con sus entornos naturales (Dossey *et al.*, 2016). Esto sugiere a futuro para quien desee emplear una crianza extensiva de insectos, una menor inversión de costos monetarios al requerir menos aditivos y

medicamentos para garantizar la salubridad de los insectos condiciones de crianza extensiva (Tauber *et al.*, 2019), lo cual resulta favorecedor si se compara con operaciones concentradas en la alimentación animal (OCAA), definidas como operaciones industriales de producción que confinan a cientos o incluso miles de animales en un espacio reducido y donde el uso de aditivos y medicamentos es común y a costos elevados, para gestionar el estrés y enfermedades que son más comunes a nivel de criaderos (Wade & Hoelle, 2020). Además, en las OCAA el impacto no solo es sobre la salud de los animales sino también en el ambiente, ya que el confinamiento o manejo de grandes cantidades de ganado genera una acumulación considerable de desechos como el estiércol y la orina que, por un mal manejo, pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas con nutrientes, patógenos, antibióticos y otros productos químicos utilizados en la agricultura (Dossey *et al.*, 2016). Caso contrario se da con el consumo de insectos al ofrecer una alternativa sostenible, que dependerá de factores específicos como la accesibilidad a estos y la aceptación cultural por parte de las comunidades.

Seguridad alimentaria

En 1996, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), celebró la Cumbre Mundial sobre la Alimentación en Roma, Italia, adoptando la Declaración de Roma para la Seguridad Alimentaria Mundial. Esta declaración destacaba medidas para la erradicación del hambre y desnutrición global, definiendo la seguridad alimentaria como el acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer las necesidades alimenticias y preferencias de la población humana, en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (FAO, 1996).

Desde aquel entonces, todo el movimiento de seguridad alimentaria se ha priorizando dado que la población mundial continúa creciendo de manera exponencial. Más recientemente van

Dijk *et al.* (2021) realizaron estimaciones sobre el crecimiento de la población para el año 2050, calculando un aumento aproximado de 9 mil millones de persona, es decir, un 30 % más en comparación con lo estimado para el año 2023, lo que por ende anticiparía un aumento en la demanda de alimentos, en especial en los países en desarrollo. En este sentido, dichos autores consideran preciso recordar que, una de cada siete personas en el mundo carece de acceso suficiente a la obtención de energía, proteína, y de micronutrientes en su dieta causando hambruna y una mala nutrición que provocan su vez un retraso en el desarrollo infantil hasta la alta vulnerabilidad a enfermedades, afectando la productividad y el desarrollo económico de los individuos en una población.

La desnutrición persiste como un desafío a superar en muchas naciones, siendo una de ellas México; reportando para el año 2022 en su población en general tasas de bajo peso (4,4 %), talla baja (13,9 %) y emaciación (1,25 %), (Tumas *et al.*, 2024). A nivel de sus estados, en la península de Yucatán la prevalencia de bajo peso y talla baja es la más alta en comparación a otras regiones del país, siendo de 9,4 % y 19,2 % respectivamente. Por su parte, el sobrepeso y obesidad asociados al consumo de productos carentes o desbalanceados en nutrientes, alcanzaron niveles entre 18,6 % y 19,6 % en niños de 5 a 11 años y en adultos la prevalencia fue del 76 % y 72,1 %, para mujeres y hombres, respectivamente (Shamah-Levy *et al.*, 2023). Esta doble carga nutricional (obesidad y desnutrición) es el resultado de una mala alimentación influenciada por diversos factores que van desde los genéticos hasta los económicos (Barquera *et al.*, 2022) incrementando así la necesidad de encontrar alternativas de alimentación saludable, nutritiva y sostenible.

Ante la creciente problemática presentada, la FAO desde el año 1996, enfatiza la importancia de explorar y adoptar soluciones alternativas para garantizar de manera sostenible y

constante el acceso a una alimentación adecuada. En este contexto, la FAO en el año 2013 hizo hincapié en la necesidad de considerar la diversificación de los alimentos disponibles como una estrategia eficaz para abordar la escasez y la inseguridad alimentaria. Estos alimentos alternativos, además de ofrecer variedad, proporcionan formulaciones innovadoras con muchos nutrientes esenciales como vitaminas, minerales, proteínas, grasas e hidratos de carbono, contribuyendo así a una alimentación más equilibrada y completa para la población (Suna & Çopur, 2018). De allí, radica la finalidad de esta investigación, documentando la importancia de los insectos sobre todo de las crías de abeja como alternativa alimentaria, gracias a sus propiedades nutricionales beneficiosas, pudiendo considerarlos como una alternativa económica y accesible para mejorar la seguridad alimentaria de manera sostenible y eficiente.

Comercialización de los insectos comestibles y marco regulatorio

El mercado mundial de insectos comestibles se calculó en 1232,60 millones de dólares para el 2023 y se estima que podría alcanzar los 7600,17 millones en el año 2033, lo que indica una tasa de crecimiento anual compuesta de 19,95 % entre estos años (Precedence Research Pvt. Ltd, 2024). Los alimentos a base de insectos todavía se consideran un nicho de mercado debido a la falta de una legislación internacional y la baja aceptación de los consumidores, especialmente en zonas como Europa y parte de América del Norte, donde la entomofagia no es muy común y enfrenta una fuerte resistencia debido a la neofobia. Sin embargo, existe un amplio conocimiento de los insectos comestibles como una alternativa alimentaria, principalmente proteica y sostenible (Guiné *et al.*, 2023), lo que ha permitido a este mercado perdurar hasta la actualidad. Paradójicamente, América Latina y Asia - Pacífico representan el 50 % del mercado consumidor de insectos comestibles. Siendo, Europa y Estados Unidos los principales

exportadores de insectos, se estima que ésta práctica tienen un valor del mercado de más del 60 %. Las principales formas de comercialización son como polvo o harinas, barras de proteínas, productos horneados, pastas, entre otras (Precedence Research Pvt. Ltd, 2024).

Esto también ha propiciado en países productores el implementar regulaciones legales para incluir a los insectos y sus partes como nuevos alimentos, ejemplo de ello fue la Unión Europea quien desarrolló con una serie de normativas desde 2015. Según el Reglamento del Parlamento Europeo 2015/2283 (2015), la categoría de nuevos alimentos integró a los insectos y sus partes a esta clasificación. Además, en el Reglamento n.º 2017/893 de 24 de mayo (2017), estableció como especies de insectos seguros para la alimentación animal a: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Gryllobates sigillatus*, *Acheta domesticus* y *Gryllus assimilis*, ya que no transmiten patógenos; ni son invasivas; y tampoco causan enfermedades en humanos o animales; no afectan negativamente a los cultivos y no están protegidas, es decir no están en peligro de extinción, ni presentan una disminución significativa en su población. De igual forma, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) aprobó el uso de las larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) por ser aptas para el consumo humano (Turck *et al.*, 2021).

En Tailandia, se ha promovido fuertemente el consumo de insectos comestibles a través de la promoción gubernamental, que ha implementado una estrategia nacional para la comercialización de insectos como una alternativa sostenible para satisfacer la demanda de alimentos saludables y nutritivos (Krongdang *et al.*, 2023). Como consecuencia, se ha incentivado la investigación frente al consumo de insectos y el aumento de productos innovadores en esta región, haciendo que sea una actividad

económicamente significativa en este país. El cultivo de insectos en Tailandia se divide en tres tipos: recolección silvestre, semidomesticación y agricultura. Dentro de este nicho también hay una clasificación descrita como “insectos económicos”, en la cual se incluyen *A. mellifera*, *Apis cerana*, *Kerria lacca* y grillos. A través de esta categoría, los agricultores registrados reciben capacitación para mejorar, diversificar, promover y comercializar sus productos con precisión (Krongdang *et al.*, 2023). En julio de 2020, el Ministerio de Seguridad de Alimentos y Medicamentos y la Administración de Desarrollo Rural de Corea reconocieron las pupas de zánganos de *A. mellifera* como comestibles categorizándola como un nuevo ingrediente alimentario (Choi, 2021).

Puntualmente para México, se han determinado 5,794 especies de insectos del Orden Hymenoptera, uno de los grupos más biodiversos en el mundo, con más de 115,000 especies descritas, destacando la presencia de abejas, avispas, hormigas y otros miembros de este grupo (Delfín-González & Chay-Hernández, 2010). Estos mismos autores señalaron para la península de Yucatán, un conteo de aproximadamente de 558 especies que son sumamente relevantes por los variados roles ecológicos que tiene en el ecosistema como: polinizadores, depredadores, parasitoides, entre otros. Desde el punto de vista alimentario, no existe evidencia de una comercialización masiva de éstos insectos, sin embargo, su consumo está arraigado en forma ancestral, particularmente en las zonas rurales.

Pinkus-Rendón (2013), indicó que de todas las especies de insectos conocidas en la región, solamente son consumidas como alimentos las larvas de dos tipos de avispas: el Xuux (*Polybia occidentalis*) y el Ek (*Brachygastra mellifica*). Sin embargo, no todos los informantes que mencionaron al Xuux y Ek como especies de avispa comestibles, conocían la época o la manera de bajar los panales de los árboles.

Adicionalmente, reportes de Ramos-Elorduy *et al.* (2006) para Yucatán, señalaron a estas dos especies como antropofagias (práctica cultural ancestral consistente en el consumo consciente de insectos), mencionando otras especies de himenópteros como *Atta cephalotes*, *Synoeas* sp., *Polybia* sp., *Polistes* sp., *Vesípulas* sp., *Trigona* sp., entre otras y de las cuales no se encontró información acerca de su degustación.

En 2022, la Comisión del *Codex Alimentarius* trabajó sobre nuevas fuentes alimentarias y sistemas de producción, clasificando a los insectos comestibles como “nuevos alimentos”. Entre sus declaraciones se recomienda continuar con los análisis sobre su aporte nutricional, identificar fuentes potenciales (especies y estadios de desarrollo) y asegurar su seguridad alimentaria, así como la de los productos en los que se incorporan (CODEX, 2022). Esto permitirá desarrollar nuevas normativas respecto a su manejo y posibles usos en el contexto alimentario. En México no existen normas, ni regulaciones para la producción, comercialización y consumo de insectos, por lo que las directrices en todas las regiones del país se guían de normativas internacionales como el *Codex Alimentarius*. Esto representa una oportunidad a futuro para generar y establecer lineamientos y regular estas fuentes alternativas de alimentación.

Abeja melífera

En consecuencia, como modelo de interés alimentario para esta revisión se consideró ampliar el panorama para una alimentación alternativa empleando las crías de *Apis melífera*, ya que su cuidado y aprovechamiento a través de la apicultura se realiza de manera sostenible en muchos países entre ellos México, donde el consumo de insectos, es una práctica cultural común. En este sentido, Yucatán destaca en la producción apícola con una estimación para el año 2023 entre 258,427 y 278,185 colmenas activas de abejas melíferas (SIAP, 2023).

Taxonómicamente *A. mellifera* pertenece al orden Hymenoptera y por su característico aguijón se clasifican dentro del grupo Aculeata. Estos organismos eusociales altamente desarrollados forman un superorganismo y construyen nidos con un número promedio de abejas en una colmena saludable oscila entre 5,000 y 65,000 (dependiendo de las condiciones) entre los que se encuentran miles de obreras, cientos de zánganos y una sola reina. Cada casta femenina desempeña funciones específicas dentro de la colmena, lo que contribuye al funcionamiento y éxito de la colonia (Baer *et al.*, 2016). En su ciclo de vida exhiben una metamorfosis holometábola, pasando por cuatro etapas distintas: huevo, larva, pupa y adulta. Por su parte, los zánganos nacen de un huevo no fecundado (haploides), cumplen funciones reproductivas al proveer de semen a la reina a través del vuelo de fecundación e igual, influyen en el control de la temperatura de la colmena (**Figura 1**). La reina es la única hembra fértil, fecundada hasta por 15 zánganos logrando así poner hasta 250,000 huevos al año. El semen obtenido de los zánganos se almacena en una estructura anatómica interna denominada espermateca. Este órgano reproductivo especializado permite el control de la fertilización de huevos sin la necesidad de copular nuevamente (Döke *et al.*, 2015).

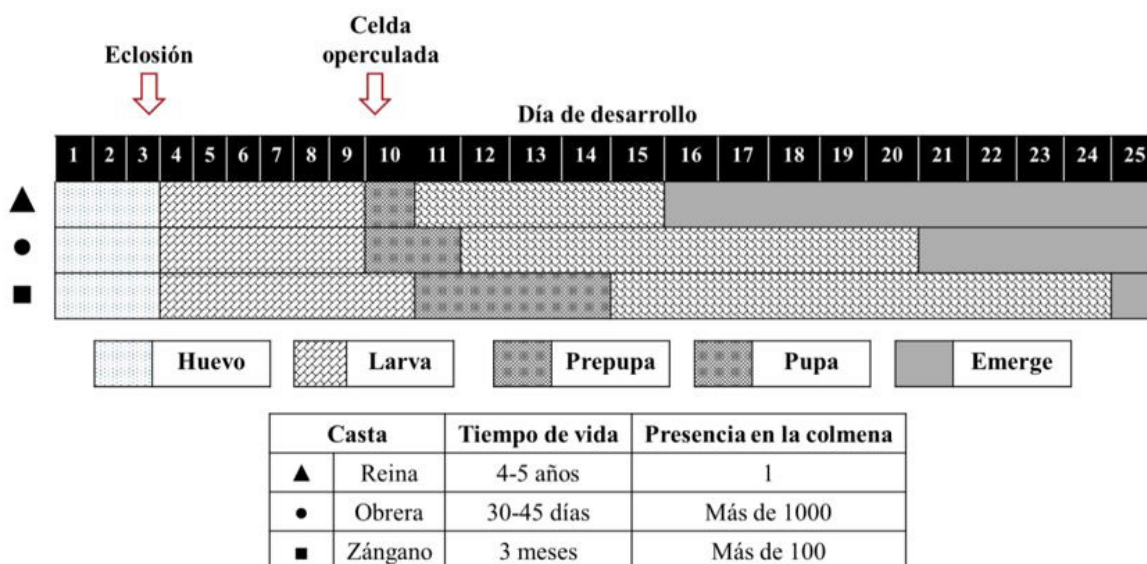
Las obreras nacen de huevos fecundados, son estériles y tienen roles especializados dentro de la colmena. Tienen un comportamiento social conocido como politeísmo etológico que se refiere a la división de trabajos según su edad y estado fisiológico. Desde que emergen, las obreras cumplen funciones como limpieza y generación de calor en la colmena. El aumento en el consumo de pan de abeja (un fermentado que se obtiene de la mezcla de miel, polen y enzimas de la saliva de las abejas), permite el desarrollo de glándulas hipofaríngeas esenciales para la producción de jalea real, la cual se destina a

alimentar a las larvas y a la reina (Nates-Parra, 2011). Las obreras jóvenes, conocidas como nodrizas, son las responsables de la alimentación de la cría y de la producción de jalea real (Baer *et al.*, 2016). Luego las glándulas cereras de su abdomen se desarrollan y asumen funciones adicionales, relegadas a: procesar alimento, actuar como guardianas utilizando su agujón

y realizar el pecoreo, para recolectar néctar, polen, propóleos y agua (FAO *et al.*, 2021). Por tales motivos a nivel biológico y considerando el ciclo de esta especie, sólo se considera para interés de consumo y de mercadeo alimenticio particularmente las crías de zánganos en dos estadios: larvas y pupas.

Figura 1

Ciclo de vida de reinas, obreras y zánganos de A. mellifera y su presencia en la colmena



Apicultura en México

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-002-SAG/GAN, 2016), en lo referente a las actividades técnicas y operativas aplicables al Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana, la apicultura se describe como una rama de la zootecnia que trata de la cría y explotación racional de las abejas melíferas. Cada colmena requiere un manejo específico para estimular a las abejas a realizar actividades deseadas por el apicultor, siendo la miel el producto más popular obtenido de la apicultura; sin embargo, la colmena también proporciona otros productos de interés como: la cera, propóleos, jalea real e inclusive la apitoxina,

así como las mismas reinas y núcleos de abejas que también tienen aplicaciones en la industria farmacológica (Papa *et al.*, 2022).

En México, la apicultura es una actividad económicamente productiva, generadora de divisas y con un alto potencial de crecimiento, encontrándose en los estados del sur del país los mayores productores y generadores de miel a gran escala (Ocampo-Thomason *et al.*, 2016). A nivel mundial, México se sitúa como el octavo productor de miel y ocupa el puesto 13° como mayor exportador y tiene cerca de 34 mil apicultores y aproximadamente dos millones de colmenas. En el 2023, se obtuvo una producción

nacional de 66,000 toneladas métricas (TM) de miel con un valor aproximado a los 125 millones de dólares siendo el estado de Yucatán, quien ocupó el primer lugar en producción de miel y representó el 13,9 % del total nacional de ese mismo año (SIAP, 2023).

Sin duda, la miel sigue siendo el producto más exitoso derivado de las abejas, con un amplio valor comercial. En el 2007, el número de colmenas activas en Yucatán era de 255 966. En ese año, la producción de miel en el estado fue de 8,483 TM (SIAP, 2024), arrojando un estimado de miel por colmena de 33,15 kg. Este cálculo coincide con lo reportado por Magaña-Magaña *et al.* (2016), quienes indicaron una productividad de miel por colmena en Yucatán fue de 35,6 kg de miel por colmena. En 2023, se produjeron 9220 TM de miel (SIAP, 2023), dicho esto y usando los datos de producción anteriores, se estima en este estudio que en el estado hubieron entre 258,427 y 278,185 colmenas activas en este año.

Aún con la alta productividad mencionada para las abejas mexicanas, es importante indicar que el país no estuvo exento del proceso de africanización de sus abejas. La llegada de las abejas africanas (*A. mellifera scutellata*) inicio en Brasil para el año 1956, y posteriormente trascendió a México en 1986, lo cual provocó una hibridación entre especies europeas como *Apis mellifera mellifera* (alemana), *Apis mellifera ligustica* (italiana), entre otras y a este híbrido se le denomina abeja africanizada (Arechavaleta-Velasco *et al.*, 2021).

En México todas las abejas están africanizadas y su porcentaje de hibridación varía de acuerdo con su manejo genético (Arechavaleta-Velasco *et al.*, 2021). Esto trajo consigo cambios en la apicultura tradicional, implementándose medidas como la movilización de apiarios a distancias mayores de 300 m entre poblaciones de abejas, cambio anual de reinas, el uso de equipo de protección e indumentaria como: overoles gruesos,

botas, guantes, velos de armazón cuadrada y ahumadores (Guzmán-Novoa *et al.*, 2011).

En México, entre las enfermedades más comunes y con mayor riesgo epidemiológico para la apicultura se encuentran: la Varroasis producida por el agente etiológico *Varroa destructor*, Loque Europea enfermedad bacteriana causada por *Melissococcus plutonius* y Vairimorphosis asociada a *Vairimorpha apis* y *Vairimorpha ceranae* (Martínez-Puc *et al.*, 2011). Por tanto, el control mediante buenas prácticas pecuarias resulta importante, ya que un uso inadecuado de plaguicidas representa un riesgo para la especie, y sus productos derivados pudiendo contaminarse la miel, el polen y la cera, provocando su rechazo tanto para consumo local como para productos de exportación. En este caso, el médico veterinario es el único autorizado como profesional capacitado para diagnosticar y prescribir los tratamientos de la colmena, siendo a su vez regulados y autorizador por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), dicha institución también designa el uso de tratamientos específicos en especial contra la varroasis (SADER, 2019).

Producción de cría de abeja y oportunidades de aprovechamiento

El crecimiento de una colonia de abejas depende de factores climáticos, la disponibilidad de alimento y agua, la edad de la reina y el tamaño de la colonia que impactan a la sostenibilidad de la producción apícola. Una reina joven y saludable tiene una mayor producción de huevos, por ende, su capacidad de producción se reduce a medida que aumenta su edad, dicho esto una colonia pequeña entre 2,300 a 9,000 abejas producen más crías de abeja que colonias más pobladas (Harbo, 2015).

En climas templados las colonias de abeja melífera tienen ciclos de vida característico. A finales de invierno comienza la crianza de crías, alcanzando su punto máximo en primavera,

permitiendo el desarrollo de enjambres. Inicia la reconstrucción de sus poblaciones de obreras y el pecoreo para aumentar sus reservas durante el verano y a finales de verano reducen el número de crías, cesando en otoño. En invierno, las abejas obreras forman un grupo termorregulador manteniendo la temperatura dentro de la colonia (Döke *et al.*, 2015). Por su parte, la población de zánganos se reduce a cero en invierno. Sin embargo, ante la escasez de alimento o el cambio de necesidades de la colmena, la puesta de huevos puede ajustarse para reducir la presencia de zánganos en la colmena. Ante la escasez, los zánganos que ya han eclosionado del huevo suelen ser expulsados de la colmena para conservar recursos (Boes, 2009).

Entre los factores que influyen en la producción de crías están: la raza de la abeja, tamaño de colonia, cantidad de miel, cantidad de polen y la cantidad de panales de crías presentes en la colmena (Boes, 2009). La producción de crías de abeja comienza cuando aumenta el suministro de polen, generalmente en primavera. El tamaño de las crías de abejas melíferas es muy variable y las crías de zángano (CZ) se producen en cantidades de 3,000 a 1,000 por colonia durante un periodo de 6 meses.

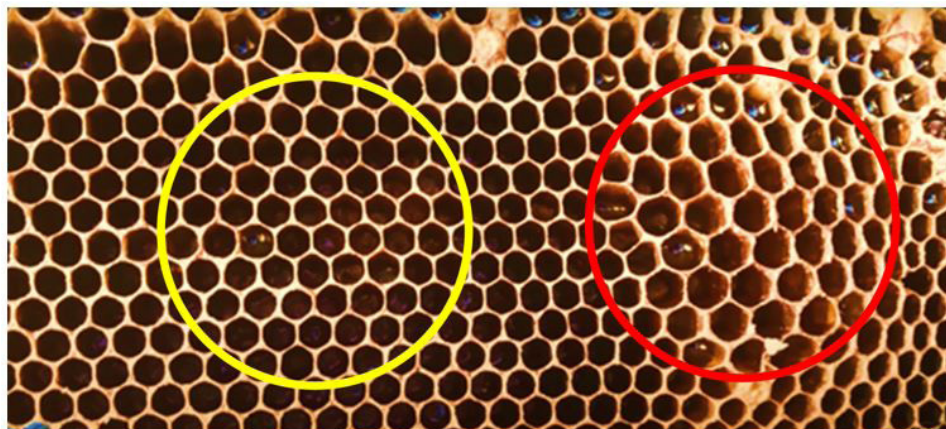
Mientras que las crías de obrera se producen en promedio entre 1,000 a 1,500 por colonia siendo constante durante todo el año (Medina *et al.*, 2002).

Por otra parte, la colocación de marcos de cera para zánganos, durante su temporada de producción, sirve como estímulo de la abeja reina favoreciendo la puesta de huevos de zánganos (Boes, 2009) y para lograr esto han de considerarse tres puntos clave:

En primer lugar, el tamaño de la cría ya que anatómicamente y debido a las funciones reproductivas, exhibe órganos para el apareamiento, grandes ojos con un alto número de omátidas y largas antenas para su orientación visual y olfativa hacia la reina (Mondet *et al.*, 2018). Por su parte, las obreras cumplen con varias funciones dentro y fuera de la colmena acorde a su edad o las necesidades de la colmena. Su anatomía es más pequeña, en comparación a un zángano, permitiéndoles ser más aerodinámicas y soportar vuelos a largas distancia para la búsqueda de recursos como el polen, agua y cera. Morfológicamente un zángano es más grande que una obrera, esto se refleja en la cría y visualmente en la celda (Figura 2).

Figura 2

Comparación del tamaño de celdas de crías de A. mellifera



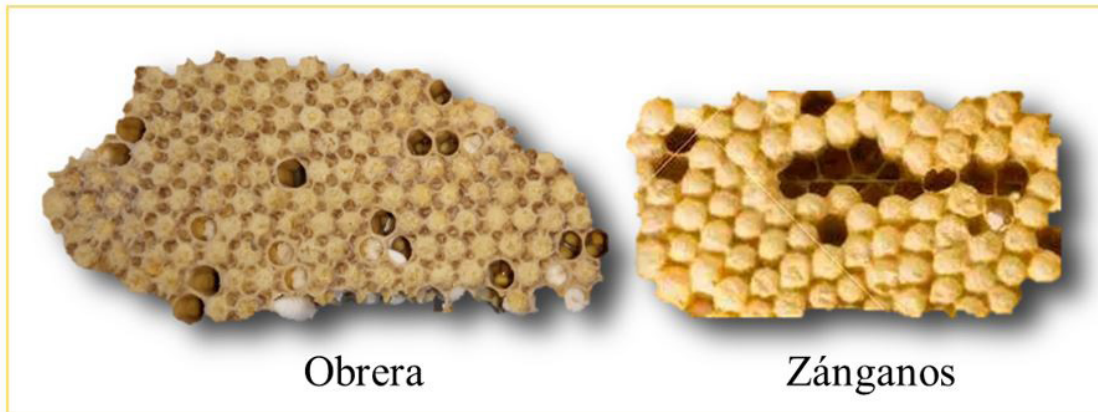
Nota. (Celdas para obreras: círculo amarillo y celdas para zángano: círculo rojo).

En segundo lugar, la forma del operculado la cual está basada en las etapas de desarrollo de las crías (**Figura 3**), el opérculo de la obrera tiene una forma plana comparativamente con el

del zángano que presenta una forma convexa y sobresale un poco más que la obrera (Mondet *et al.*, 2018).

Figura 3

Comparación de la forma del operculado de A) la cría de obrera y B) de zángano en A. mellifera



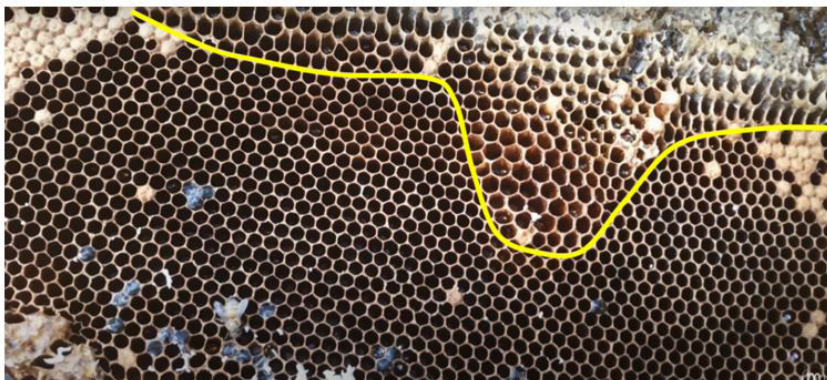
En tercer lugar, está la ubicación de las crías, siendo las obreras usualmente visibles en el centro del marco y los zánganos en las periferias (**Figura 4**).

En condiciones extremas de escasez de alimento, la colonia puede practicar canibalismo tanto de crías de zánganos como de obreras. Por lo cual, el consumo de crías por las abejas

se destina para proporcionar proteínas para alimentar principalmente a la reina y en última instancia a las larvas (Boes, 2009). En este sentido, el apicultor podría usar esencialmente la cría de zánganos para consumo humano, debido a la relevancia de las obreras para proporcionar nutrientes a la abeja reina y las larvas y así mantener el equilibrio en la colmena sin perjudicar a la especie.

Figura 4

Delimitación (amarillo) de crías de obrera (central) y zángano (periferia) en un panal



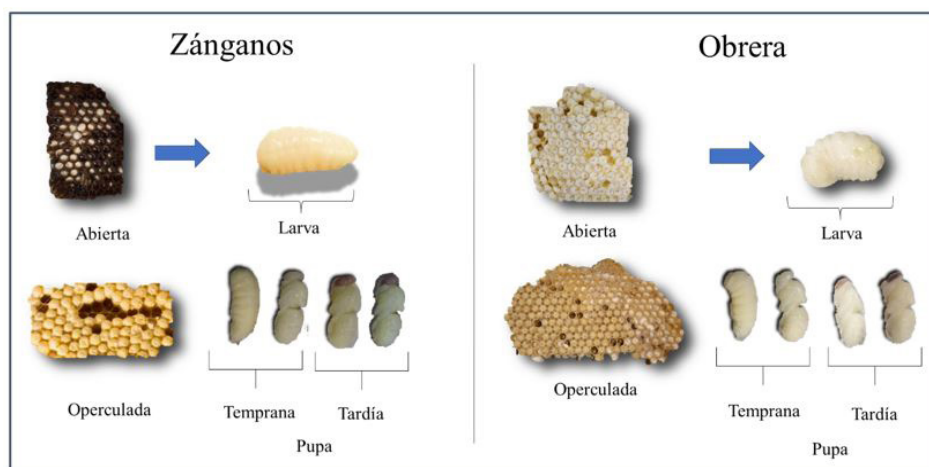
La raza de la abeja también es un factor importante en la producción de crías, las poblaciones de abejas africanizadas crecen con mayor rapidez, ya que las reinas de esta raza pueden llegar a poner 3,000 huevos por día en comparación con colonias europeas (Schneider *et al.*, 2004). Las colonias africanas tienen un mayor énfasis en la recolección de polen, una conversión más rápida del polen en cría y emplean de dos a cuatro veces más área del panal a la cría. En periodos de desarrollo, el panal puede estar totalmente cubierto de cría; además de aumentar el número de reinas y mayor capacidad de crear enjambres. Tienden a crear nidos y el polen y néctar que recolectan

se destina preferentemente a la producción de más abejas en lugar de almacenarlos (Guzmán-Novoa *et al.*, 2011).

Respecto al peso de las crías de abeja melífera, este ha sido descrito en diferentes estadios de su desarrollo (Figura 5), dicho esto en los últimos días del estadio larvario la abeja obrera puede pesar entre 88 mg hasta los 220 mg. Para la etapa de prepupa el peso se puede reducir entre los 115 mg a 184 mg y las pupas pueden tener pesos entre 88 mg a los 178 mg (Zoltowska & Frączek, 2011). El peso de la cría de zángano en estado larval puede ser de hasta 300 mg y las pupas pueden pesar hasta 340 mg (Hrassnigg & Crailsheim, 2005).

Figura 5

Características morfológicas de la cría de obrera y de zángano en A. mellifera L



Tomando como ejemplo la eliminación de la CZ por temporada para el control de varroa y siguiendo las recomendaciones de eliminar un panal por mes con CZ por colonia durante un periodo de 4 meses (Charrière *et al.*, 2015), los autores de esta revisión plantean el siguiente supuesto: considerando que un marco de cría de zángano contiene aproximadamente 3000 celdas de las cuales 1000 contienen larvas, se podrían cosechar 4,000 larvas y se obtendría 1,2 kg CZ por colmena considerando el peso máximo de 340 mg para cada pupa. Si en

México, el 25 % (556,512) de los apicultores (SIAP, 2024) eliminaran a la CZ con las cifras descritas, se podría obtener 667,8 TM de cría de zángano. Estas proyecciones no se comparan con la producción de carne bovina que se estima en 170,000 TM por mes o las 280,000 TM de carne en canal de ave (SIAP, 2024), pero si pueden generar un estimado de la contribución de la especie a nivel de carne como ingrediente que contribuiría en el suministro de proteínas para satisfacer las necesidades de la creciente población mundial (Schiel *et al.*, 2022).

Algunos apicultores han encontrado utilidades económicas en la cría de zánganos eliminados durante el proceso de control de Varroa. Estas crías suelen ser congeladas para erradicar los ácaros presentes en ellas y, posteriormente, se ofrecen a otros animales como las gallinas para su alimentación. En otros casos, las larvas son simplemente quemadas al no encontrárseles un uso en particular (Guiné *et al.*, 2023).

Otros estudios han analizado el desempeño económico de las granjas apícolas al emplear la eliminación total de crías como una técnica biológica para el control de varroa (Mancuso *et al.*, 2020). El control biológico redujo los costos de tratamiento, pero aumentó los de alimentación. Este manejo benefició a apicultores italianos al aumentar sus ingresos totales entre un 11 % a un 28 %; sin embargo, la desventaja de este tratamiento fue el aumento de tiempo y mano de obra. Otra desventaja de eliminar CZ está relacionada con la reducción en la producción de miel en comparación con las colmenas manejadas por otros métodos, hecho que puede compensarse con el establecimiento de nuevos núcleos y que puede aumentar los gastos en nutrición suplementaria distribuido a las colonias tratadas y tratamientos con ácido oxálico (Mancuso *et al.*, 2020). Solo un control biológico adecuado permitirá al agricultor obtener certificaciones de productos orgánicos puede resultar beneficioso, ya que los precios de los productos apícolas obtenidos mediante la eliminación de la CZ pueden aumentar hasta en un 30 %, gracias a la ausencia de residuos de acaricidas sintéticos como organofosforados, piretroides, formamidina y flumetrina, entre otros (Loucif-Ayad *et al.*, 2010).

Explorando los productos de la colmena que aportan valor agregado, nuevamente en esta revisión hemos simulado el impacto potencial de la eliminación de la CZ. Dicho esto, si se destinara como producto de la colmena podría ser comercializada como un sustituto de carne

(35 % de sustitución por cría de zángano) e incluirla en refrigerios de proteínas texturizadas (30 % de sustitución por cría de zángano). Esta estrategia, además de ofrecer un producto adicional, también podría mitigar los impactos en la producción de miel, disminuyendo hasta en un 8 % su pérdida (Ulmer *et al.*, 2020).

El uso potencial que puedan tener las crías de abejas como alimento debe respetar la función esencial de las abejas como polinizadoras de flores y sus beneficios ecológicos, por lo que autores como Schiel *et al.* (2022), recomiendan utilizar solo las crías de zánganos para este propósito. Sin embargo, existen otros referentes como Ghosh *et al.* (2016), han propuesto a las obreras como fuente de alimentos, piensos o suplementos nutricionales particularmente por su composición nutricional considerando que la incorporación de crías de abejas como producto comercializable, si se valoran adecuadamente, podrían proporcionar un recurso sostenible con beneficios económicos que permitan para aumentar los ingresos de los apicultores ya sea vendiéndolas enteras, molidas en polvo o como otro producto que pueda agregar un rendimiento extra durante los periodos de baja producción de miel.

Aunque tanto las crías de obreras como las de zánganos se consideran de alto potencial nutricional, es necesario continuar desarrollando investigaciones que evalúen el aprovechamiento de la carne de crías de abejas y sus productos derivados, especialmente considerando su contenido proteínico. Este tipo de investigación ayudaría a identificar cuál cría ofrece mayores beneficios nutricionales, así delimitar u orientar adecuadamente futuras investigaciones. Con base en el análisis de la información existente, la principal recomendación es enfocarse en la cría del zángano, debido a la valiosa importancia que tienen tanto para la cría de reinas como obreras a nivel de colonia, así como para los servicios ecosistémicos y para el apicultor.

Esto considerando la relevancia actual de la abeja melífera y las amenazas que la rodean a nivel mundial incluyendo México, ya que los resultados reportados por Medina-Flores *et al.* (2023) muestran una tasa promedio de pérdida de colonias del 22 %, pero estas variaron de 14,9 % a 30 % entre los años 2016 a 2022. La práctica de migración y el tamaño de la operación apícola no influyeron en las pérdidas; sin embargo, el control de Varroa redujo las pérdidas de colonias, siendo las principales causas problemas relacionados con la reina, colonias muertas o colmenas vacías.

Consumo potencial de la cría de abeja: características químicas y nutricionales

La cría de abeja melífera se consume como alimento en algunas regiones de México (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997), Ecuador (Onore, 2010), China (Feng *et al.*, 2018) y Tailandia (Yhoun-Aree *et al.*, 2010). En cuanto a las características organolépticas, las pupas suelen tener un sabor más salado y umami (ó "sabor salado" en japonés). En cambio, las larvas suelen ser dulces y afrutadas, con una piel más frágil, lo que les confiere una textura mayormente suave y homogénea. Esta suavidad genera ventajas a nivel gastronómico, ya que si se conserva bien esta piel, puede añadir un toque distintivo en preparaciones culinarias, cuyo sabor y textura estará influenciado por el estadio de la cría utilizado, ya sea larva o pupa (Evans *et al.*, 2016).

Uno de los principales intereses del estudio de los insectos con fines alimentarios y nutricionales es que pueden ser una fuente rica en proteínas y esto también incluye a las crías de *A. mellifera* en sus diferentes estadios (Haber *et al.*, 2019). Este insecto puede tener diferente composición química y nutrimental, que puede estar influenciada por su ubicación geográfica, clima, subespecie, casta y estadio morfológico (Evans *et al.*, 2016). Por ejemplo, las crías de obreras de la subespecie *A. mellifera* ssp. *ligustica* cosechadas en las praderas canadienses, en dos estadios de desarrollo (larvas y pupas) presentan

un contenido variable de proteína de 35,3 y 45,9 g/100 g de materia seca (MS) (Ghosh *et al.*, 2016). Por otro lado, las pupas de zángano, recolectadas en Corea de Sur mostraron un contenido de proteína por el orden de los 48,52 g/100 g de MS (Kim *et al.*, 2020).

En un estudio previo, Haber *et al.* (2019) observaron que el contenido de grasa en la pupa de *A. mellifera* varía según su estadio de desarrollo, siendo de 28,1 g/100 g en larvas y de 19,1 a 21,1 g/100 g en pupas, influenciado por su alimentación. Esta grasa tiene un perfil mayoritariamente compuesto por ácidos grasos saturados y monoinsaturados, destacándose el ácido palmítico y el oleico.

En cuanto al contenido de cenizas en muestras de larvas y pupas de abeja se halló variabilidad, con valores de 2,8 a 4,1g y de 3,2 a 3,8g/100g MS, respectivamente (Ghosh *et al.*, 2016; Haber *et al.*, 2019). Adicionalmente, se ha descrito la presencia de minerales como: K, P, Mg, Ca, Na, Fe, Zn, Cu y Mn ordenados de mayor a menor proporción tanto en la larva como en la pupa (Ghosh *et al.*, 2016).

Respecto a la composición química y nutricional de las larvas de cría de reina, se ha reportado en la harina de larva de reinas un contenido promedio en peso seco de 53,05 % de proteína, 16,74 % de grasa cruda, y 7,61 % de ceniza. Destacándose además, la presencia de aminoácidos esenciales (AAE) en el perfil de aminoácidos (ó AA) como: leucina, lisina y valina (Ghosh *et al.*, 2020). En cuanto a los ácidos grasos, hay poca presencia de poliinsaturados y un alto contenido de grasa saturada, especialmente del ácido oleico (Tabla 1). Elementos como el P, Ca, Mg, y K, así como un alto contenido de quitina, también fueron reportados (Addeo *et al.*, 2021).

La quitina es un carbohidrato no digerible del exoesqueleto del insecto sumamente importante porque de este proviene el material fibroso de

las crías de abejas melíferas. Químicamente, la quitina es un polímero largo de unidades de glucosamina acetiladas unidas por enlaces glicosídicos $\beta(1,4)$ -N-acetilglucosamina (Ghosh *et al.*, 2020). En insectos, la quitina se estudia como posible prebiótico funcional debido a su capacidad de estimular ciertas bacterias beneficiosas, cuyos efectos como antimicrobiano o prebiótico aún se están estudiando (Ghosh *et al.*, 2021).

Debido a las características nutricionales previamente mencionadas, las crías de abejas obreras y zánganos son una fuente de proteína alternativa con valor nutricional, mientras que las larvas de abeja reina presentan una relevancia limitada en la alimentación debido a baja cantidad de individuos disponibles en la colonia, aproximadamente 58,9 g/colmena al mes (Addeo *et al.*, 2021).

Tabla 1

Características químicas de crías de A. mellifera en diferentes estadios de desarrollo

Casta	Recepción	Recepción	Zángano	Reina
		(Ghosh <i>et al.</i> , 2021)	(Kim <i>et al.</i> , 2020)	(Addeo <i>et al.</i> , 2021)
Estadio	Larva	Pupa	Pupa	Larva
Proteína (g/ 100 g ms)	35,3	45,9	48,52	53,04
Grasa (g/ 100 g ms)	14,5	16,0	23,41	16,74
ELN (g/ 100 g ms)	46,1	34,3	22,33	22,61
Fibra (g/ 100 g ms)	NR	NR	NR	2,72
Cenizas (g/ 100 g ms)	4,1	2,8	4,05	7,61
AAE (g/100 g proteína)	39,37	35,07	32,17	38,51
AANE (g/100 g proteína)	43,95	54,03	46,76	49,31
AGS (g/100 g grasa)	51,8	51,1	59,62	52,1
AGMI (g/100 g grasa)	48,2	48,9	37,29	47,44
AGPI (g/100 g grasa)	NR	ND	3,18	0,33
Calcio (mg/100 g)	84,0	97,0	55,43	360,0
Magnesio (mg/100 g)	177,0	193,9	85,50	293,3
Sodio (mg/100 g)	59,4	60,8	50,12	NR
Potasio (mg/100 g)	1871,9	2207,3	1323,55	519,5
Hierro (mg/ 100 g)	13,3	15,3	5,49	5,49
Zinc (mg/100 g)	11,6	11,7	6,37	23,15
Cobre (mg/100 g)	3,2	3,7	1,45	3,93
Manganeso (mg/100 g)	1,2	0,7	NR	0,046
Fósforo (mg/100 g)	782,5	900,0	1323,55	784,0

Nota. Dónde: ELN=Extracto libre de nitrógeno, AAE= Aminoácidos esenciales, AANE=Aminoácidos no esenciales, AGS=Ácidos grasos saturados, AGMI= Ácidos grasos monoinsaturados, APGI= Ácidos grasos polinsaturados, NR= No reportado.

Perspectivas de consumo en Yucatan

Con base en el análisis de la información existente, la prioridad para los apicultores de la península de Yucatán en México, estaría centrada en la cría del zángano dado que su función dentro de la colonia es menos relevante que las crías de reina y obreras y suelen suplirse en el ciclo reproductivo de la colmena, además

de representar la mayor cantidad en peso aprovechable de las crías, ya que se puede producir entre 5,000 y 20,000 CZ con un peso promedio de 0,2 g, pudiéndose obtener entre 2 kg a 3 kg de CZ durante el ciclo reproductivo de una colonia de Apis melifera (FAO, 2021), sugiriéndose como una opción para su consumo, considerando para ello requerimientos previos como: un exceso de producción estacional por

parte de las colonias, una crianza por manejo para el control de plagas, o en su caso proponer su producción *in vitro* para fines gastronómicos y alimentarios; todo esto sin comprometer el futuro generacional de las colonias de abejas melíferas.

Conclusiones

Actualmente, el consumo y comercialización de insectos se promueve como una alternativa sostenible para satisfacer la demanda de alimentos saludables y nutritivos. En este contexto, la cría de *Apis mellifera* representa un producto de interés que, debido a sus características químicas y nutricionales, podría adquirir un nuevo valor dentro de los productos de la colmena. Como se ha demostrado, las crías de obreras y las de zánganos poseen un alto potencial nutricional, ricas en proteínas, lípidos, aminoácidos y ácidos grasos esenciales. También aportan minerales como potasio, fósforo y magnesio. Sin embargo, factores como la subespecie, casta, estadio de desarrollo, ubicación y alimentación pueden influir en su composición. Por lo tanto, como perspectiva futura, se requieren investigaciones a corto y mediano plazo que consideren estas variables, especialmente en la península de Yucatán en México, donde la apicultura es una de las principales actividades pecuarias.

Estos datos presentarán de manera detallada y exhaustiva la capacidad que poseen los insectos comestibles para satisfacer adecuadamente las necesidades nutricionales de la población. Se enfatiza en la contribución significativa de su contenido proteico en la alimentación humana, destacando así, su relevancia al promover una dieta equilibrada y saludable para todos los individuos. En caso de tener aceptación, deberán definirse estrategias para realizar una producción sustentable de las crías para garantizar el futuro generacional de las colonias.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONHACYT-México) por el apoyo para la beca No 1230538 para estudios de posgrado.

Referencias

- Addeo, N.F., Roncarati, A. Secci, G., Parisi, G., Piccolo, G., Ariano, A., Scivico, M., A. Rippa, A., & Bovera, F. (2021). Potential use of a queen bee larvae meal (*Apis mellifera* ligustica Spin.) in animal nutrition: a nutritional and chemical-toxicological evaluation. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2), 173-186. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0079>
- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., & Rounsevell, M. D. A. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 15, 22-32. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2017.04.001>
- Arechavaleta-Velasco, M. E., García-Figueroa, C., Alvarado-Avila, L. Y., Ramírez-Ramírez, F. J., & Alcalá-Escamilla, K.I. (2021). Resultados e impacto de la investigación en genética y mejoramiento genético de las abejas melíferas desarrollada por el INIFAP en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 224-242. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V12S3.5919>
- Baer, B., Collins, J., Maalaps, K., & den Boer, S. P. A. (2016). Sperm use economy of honeybee (*Apis mellifera*) queens. *Ecology and Evolution*, 6(9), 2877. <https://doi.org/10.1002/ECE3.2075>
- Barquera, S., Véjar-Rentería, L. S., Aguilar-Salinas, C., Garibay-Nieto, N., García-García, E., Bovecchio, A., Perichart, O., Torres-Tamayo, M., Esquivias-Zavala, H., Villalpando-Carrión, S., García-Méndez, R. C., Apolinar-Jiménez, E., Kaufer-Horwitz, M., Martínez-Montañez, O. G., Niquete, I. F., Crespo, A. A., Gómez-Álvarez, E., Hernández-Jiménez, S. C., Denova-Gutiérrez, E., . . . Rivera-Dommarco, J. (2022). Volviéndonos mejores: necesidad de acción inmediata ante el reto de la obesidad. Una postura de profesionales de la salud. *Salud Pública de México*, 64, 225-9. <https://doi.org/10.21149/13679>
- Barrios-Mariutti, L. R., Sarmiento-Rebelo, K., Bisconsin-Junior, A., Santos de Moraes, J., Magnani, M., Rodrigues-Maldonado, I., Rodrigo-Madeira, N., Tiengo, A., Roberto-Maróstica, M., & Betim-Cazarin, C. B. (2021). The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Research International*, 149, 110709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110709>

- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Boes, K. E. (2009). Honeybee colony drone production and maintenance in accordance with environmental factors: an interplay of queen and worker decisions. *Insectes Sociaux*, 57(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/S00040-009-0046-9>
- Charrière, J. D., Imdorf, A., Bachofen, B., & Tschan, A. (2015). The removal of capped drone brood: an effective means of reducing the infestation of varroa in honey bee colonies. *Bee World*, 84(3), 117–124. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2003.11099587>
- Choi, J. S. (2021). Nutrition, safety, health functional effects, and availability of honeybee (*Apis mellifera* L.) drone pupae. *Insects*, 12(9), 771. <https://doi.org/10.3390/INSECTS12090771>
- Codex Alimentarius Commission. (2022). CCEXEC Sub-Committee on New Food Sources and Production Systems – Interim Report. In *Executive Committee of the Codex Alimentarius Commission Eighty-second Session*. FAO/WHO.
- Commission Regulation (EU) 2017/893. (2017). Official Journal of the European Union of 24 May 2017 Amending Annex I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as Regards the Provisions on Processed Animal Protein. L 138/92–L138/116. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/eur166794.pdf>
- Costa-Neto, E.M., & Dunkel, F.V. (2016). Insects as food: history, culture, and modern use around the world. In: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.M & Rojas, G. (Eds), *Insects as Sustainable Food Ingredients*, (pp. 29–60). Academic Press, Cambridge, MA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00002-8>.
- da Silva Lucas, A. J., de Oliveira, L. M., da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 311, 126022. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.126022>
- de Carvalho, N. M., Madureira, A. R., & Pintado, M. E. (2019). The potential of insects as food sources – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3642–3652. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1703170>
- Delfín-González H. & Chay-Hernández D. 2010. Riqueza de Hymenoptera. En: Durán R. Mández M. (Eds). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Döke, M. A., Frazier, M., & Grozinger, C. M. (2015). Overwintering honey bees: biology and management. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 185–193. <https://doi.org/10.1016/J.COIS.2015.05.014>
- Dossey, A. T., Tatum, J. T., & McGill, W. L. (2016). Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications*, Aaron T. Dossey, Juan A. Morales-Ramos, M. Guadalupe Rojas (Eds), pp 113–152. Academic Press, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>
- Evans, J., Müller, A., Jensen, A. B., Dahle, B., Flore, R., Eilenberg, J., & Frøst, M. B. (2016). A descriptive sensory analysis of honeybee drone brood from Denmark and Norway. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(4), 277–283. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0014>
- FAO. (1996). *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action Rome Declaration on World Food Security*.
- FAO. (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation*. <https://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
- FAO, IZSLT, Apimondia, & CAAS. (2021). *Good beekeeping practices for sustainable apiculture*. FAO Animal Production and Health Guidelines, 25. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb5353en>
- Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., & Ding, W. F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25(2), 184–198. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12449>
- Fry, J.P., Mailloux, N.A., Love, D.C., Michael C Milli, M.C., & Cao, L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13(2), 024017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa273>
- Ghosh, S., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2016). Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honey bee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(2), 487–495. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2016.03.008>

- Ghosh, S., Sohn, H. Y., Pyo, S. J., Jensen, A. B., Meyer-Rochow, V. B., & Jung, C. (2020). Nutritional composition of *Apis mellifera* drones from Korea and Denmark as a potential sustainable alternative food source: comparison between developmental stages. *Foods*, 9(4), 389. <https://doi.org/10.3390/FOODS9040389>
- Ghosh, S., Meyer-Rochow, V. B., & Jung, C. (2021). Honey bees and their brood: a potentially valuable resource of food, worthy of greater appreciation and scientific attention. *Journal of Ecology and Environment*, 45(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s41610-021-00212-y>
- Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Costa, C. A., Correia, P. M. R., Ferreira, M., Cardoso, A. P., Campos, S., Anjos, O., Chuck-Hernández, C., Sarić, M. M., Djekic, I., Papageorgiou, M., Baro, J. M. F., Korzeniowska, M., Černelić-Bizjak, M., Bartkiene, E., Tarcea, M., Boustani, N. M., Klava, D., & Damarli, E. (2023). Investigation of the level of knowledge in different countries about edible insects: Cluster segmentation. *Sustainability*, 15(1), 450. <https://doi.org/10.3390/SU15010450>
- Guzmán-Novoa, E., Benítez, A. C., Montaña, L. G. E., & Novoa, G. G. (2011). Colonization, impact and control of Africanized honey bees in Mexico. *Veterinaria México*, 42(2), 149–178.
- Haber, M., Mishyna, M., Itzhak Martinez, J. J., & Benjamin, O. (2019). Edible larvae and pupae of honey bee (*Apis mellifera*): Odor and nutritional characterization as a function of diet. *Food Chemistry*, 292, 197–203. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.04.041>
- Harbo, J. R. (2015). Effect of population size on brood production, worker survival and honey gain in colonies of honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 25(1), 22–29. <https://doi.org/10.1080/00218839.1986.11100687>
- Hrassnigg, N., & Crailsheim, K. (2005). Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 36(2), 255–277. <https://doi.org/10.1051/APID0:2005015>
- Kim, J.E., Kim, D.I., Koo, H.Y., Kim, H.J., Kim, S.-Y., Lee, Y.B., Kim, J.S., Kim, H.H., Moon, J.H., & Choi, Y.S. (2020). Analysis of nutritional compounds and antioxidant effect of freeze-dried powder of the honey bee (*Apis mellifera* L.) drone (pupal stage). *Korean Journal of Applied Entomology*, 59(3), 265–275. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.08.0.029>
- Loucif-Ayad, W., Aribi, N., Smagghe, G., & Soltani, N. (2010). Comparative effectiveness of some acaricides used to control *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in Algeria. *African Entomology*, 18(2), 259–266. <https://doi.org/10.4001/003.018.0211>
- Krongdang, S., Phokasem, P., Venkatachalam, K., & Charoenphun, N. (2023). Edible insects in Thailand: An overview of status, properties, processing, and utilization in the food industry. *Foods*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/FOODS12112162>
- Magaña-Magaña, M. A., Tavera-Cortés, M. E., Salazar-Barrientos, L. L., Sanginés-García, J. R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1103–1115. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000501103&lng=es&nrm=iso&tln=es
- Mancuso, T., Croce, L., & Vercelli, M. (2020). Total brood removal and other biotechniques for the sustainable control of varroa mites in honey bee colonies: economic impact in beekeeping farm case studies in Northwestern Italy. *Sustainability*, 12(6), 2302. <https://doi.org/10.3390/SU12062302>
- Martínez-Puc, J., Medina-Medina L., & Catzín-Ventura G. (2011). Frecuencia de *Varroa destructor*, *Nosema apis* y *Acarapis woodi* en colonias manejadas y enjambres silvestres de abejas (*Apis mellifera*) en Mérida, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2, 25–38. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v2n1/v2n1a3.pdf> MEDINA-FLORES
- Medina, L. M., Martin, S. J., Espinosa-Montaña, L., & Ratnieks, F. L. W. (2002). Reproduction of *Varroa destructor* in worker brood of Africanized honey bees (*Apis mellifera*). *Experimental & Applied Acarology*, 27(1–2), 79–88. <https://doi.org/10.1023/A:1021579113907>
- Medina-Flores, C.A., López-Carlos, M., Carrillo-Muro, O. & Gray, A. (2023). Honey Bee colony losses in Mexico's semi-arid high plateau for the winters 2016–2017 to 2021–2022. *Insects*, 14, 453. <https://doi.org/10.3390/insects14050453>
- Mitchell, D. (2023). Honeybee cluster-not insulation but stressful heat sink. *Journal of the Royal Society, Interface*, 20, 20230488. <https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0488>
- Mondet, F., Rau, A., Klopp, C., Rohmer, M., Severac, D., Le Conte, Y., & Alaux, C. (2018). Transcriptome profiling of the honeybee parasite *Varroa destructor* provides new biological insights into the mite adult life cycle. *BMC Genomics*, 19, 328. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4668-z>
- Nates-Parra, G. (2011). Genética del comportamiento: abejas como modelo. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 213–230.

- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAG/GAN. (2016). Actividades técnicas y operativas aplicables al Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/567753/NOM-002-SAG-GAN-2016.pdf>
- Ocampo-Thomason, P., Vázquez-Elorza, A., & Cocom-Vázquez J.M. (2016). Producción de miel en México: situación histórica y actual. En: Ramos Díaz, A.L., & Pacheco-López, N.A. (Eds). *Producción y comercialización de miel y sus derivados en México: desafíos y oportunidades para la exportación* (pp. 21-49), CIATEJ. México. ISBN 978-607-97421-2-6
- Onore, G. (2010). A brief note on edible insects in Ecuador. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 277-285. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991520>
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12), e0222043. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0144601>
- Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I. K., Plutino, M., Bianchetto, E., Aromolo, R., Pignatti, G., Ambrogio, A., Pellecchia, M., & Negri, I. (2022). The honey Bee *Apis mellifera*: An insect at the interface between human and ecosystem health. *Biology*, 11(2), 233. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY11020233>
- Pinkus Rendón, M.A., (2013). Abejas, avispa y hormigas en la perspectiva local yucateca, *Entomología Mexicana*, 12, 1706-1711.
- Precedence Research Pvt. Ltd. (2024). *Edible Insects Market (By Product: Caterpillar, Beetles, Cricket, Others; By Application: Powder, Protein Bars, Others) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2024-2033*. <https://www.precedenceresearch.com/edible-insects-market>
- Ramírez-Miranda, I., Betancur-Ancona, D., Moguel-Ordóñez, Y. (2021). Physicochemical and microbiological standards of honey produced by genus *Melipona*. *Journal of Apicultural Science*, 65(2), 197-216. <https://doi.org/10.2478/jas-2021-0016>
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., & De Guevara, O. L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(2), 142-157. <https://doi.org/10.1006/JFCA.1997.0530>
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. & Conconi, M. (2006). Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana*, 45(3), 291-318. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42445304>
- Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council. (2015). On novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001. <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>
- Rodríguez-Rodríguez, M., Barroso, F. G., Fabrikov, D., & Sánchez-Muros, M. J. (2022). In vitro crude protein digestibility of insects: A review. *Insects*, 13(8), 682. <https://doi.org/10.3390/INSECTS13080682>
- Schneider, S.S., Degrandi-Hoffman, G., & Smith, D. R. (2004). The African honey bee: factors contributing to a successful biological invasion. *Annual Review of Entomology*, 49, 351-376. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123359>
- Schiell, L., Wind, C., Ulmer, M., Braun, P. G., & Koethe, M. (2022). Honey bee drone brood used as food. *Ernährungs Umschau*, 69(7), 96-104
- SADER. (2019). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. *Manual Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana* (4a ed.). Gobierno de México
- Shamah-Levy T, Gaona-Pineda EB, Cuevas-Nasu L, Morales-Ruan C, Valenzuela-Bravo DG, Méndez-Gómez Humarán I, & Ávila-Arcos MA. (2023). Prevalencias de sobrepeso y obesidad en población escolar y adolescente de México. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Pública Mex*. 65(supl 1), S218-S224. <https://doi.org/10.21149/14762>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). *Panorama Agroalimentario 2023* (2022nd ed.). https://online.pubhtml5.com/vqdk/rvdl/#google_vignette
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera*. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63, 31-45. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENTO-020117-043348>

- Suna, S., & Çopur, Ö. U. (2018). A new approach: Replacement and alternative foods for food industry. *Alternative and Replacement Foods*, 17, 1–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00001-0>
- Tauber, J. P., Collins, W. R., Schwarz, R. S., Chen, Y., Grubbs, K., Huang, Q., Lopez, D., Peterson, R., & Evans, J. D. (2019). Natural product medicines for honey bees: perspective and Protocols. *Insects*, 10(10), 356. <https://doi.org/10.3390/insects10100356>
- Tumas, N., de la Vega, C., Gutiérrez-Zamora, M.N., Cash-Gibson, L., Carreño, P., Pericàs, J.M., & Benach, J. (2024). Políticas públicas e intervenciones para prevenir el exceso de peso en México: análisis desde una perspectiva interseccional. *Ciência & Saúde Coletiva*, 29 (9), e04142023. <https://doi.org/10.1590/1413-81232024299.04142023>
- Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., & Knutsen, H. K. (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(8). <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2021.6779>
- Ulmer, M., Smetana, S., & Heinz, V. (2020). Utilizing honeybee drone brood as a protein source for food products: Life cycle assessment of apiculture in Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104576. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104576>
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- van Huis, A., Itterbeeck, H. K., Klunder, V. I. J., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme P. (2013). *Edible insects Future prospects for food and feed security*. <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- Wade, M., & Hoelle, J. (2020). A review of edible insect industrialization: scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters*, 15(12), 123013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABA1C1>
- Yhoun-Aree, J., Puwastein, P., & Attig, G. A. (2010). Edible insects in Thailand: An unconventional protein source? *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 133–149. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991511>
- Zoltowska, K., & Frączek, R. (2011). Hydrolases of developing worker brood and newly emerged worker of *Apis mellifera carnica*. *Journal of Apicultural Science*, 55 (1), 27–36. <https://www.researchgate.net/publication/233943106>

Etiquetado nutricional: revisión de su enfoque integral en la alimentación y la salud

Nutritional labeling: a review of its comprehensive approach to nutrition and health

Juan Sebastián Ramírez-Navas^a  juan.ramireznavas@javerianacali.edu.co; Katerine Rojas-Renjifo^b  krojasrenjifo@gmail.com;
Sandra Milena Ramírez-Guzmán^c  sandramrg91@gmail.com; Fressia Jaramillo-López^c  fressia960124@gmail.com

^aCentro Interdisciplinario de Estudios en Salud. Departamento de Alimentación y Nutrición. Facultad de Ciencias de la Salud. Pontificia Universidad Javeriana Cali-Colombia. Cl. 18 #118-250, Barrio Pance, Cali, Valle del Cauca

^bPrograma de Nutrición y Dietética. Facultad de Salud y Rehabilitación. I.U. Escuela Nacional del Deporte. Cl. 9 # 34-01, Eucarístico, Cali, Valle del Cauca.

^cPrograma de Nutrición y Dietética. Facultad de Ciencias de la Salud. Pontificia Universidad Javeriana Cali-Colombia. Cl. 18 #118-250, Barrio Pance, Cali, Valle del Cauca.

*Autor por correspondencia: juan.ramireznavas@javerianacali.edu.co

Recibido: 26/09/2024 Aceptado: 11/12/2024

Citar, APA: Ramírez-Navas, J. S., Rojas-Renjifo, K., Ramírez-Guzmán, S. M., y Jaramillo-López, F. (2024). Etiquetado nutricional: revisión de su enfoque integral en la alimentación y la salud. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 107–132. <https://doi.org/10.23850/24220582.6591>

Resumen El etiquetado nutricional ha cobrado importancia en los últimos años debido a la creciente preocupación por la alimentación equilibrada y la salud pública. La normativa sobre el etiquetado busca garantizar que los consumidores reciban información precisa y útil para tomar decisiones informadas sobre su alimentación. Sin embargo, estudios realizados en diversos países han revelado discrepancias frecuentes entre los valores nutricionales reales y los declarados en las etiquetas de los productos. Estas inconsistencias se atribuyen, en parte, a la falta de supervisión adecuada por profesionales en nutrición. En este artículo se presenta una revisión de la literatura científica relacionada con el etiquetado nutricional, con el objetivo de proponer un enfoque estandarizado para su correcta aplicación. Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas utilizando palabras clave relacionadas con el tema. De los 596 artículos identificados inicialmente, se seleccionaron 101 estudios relevantes acorde a los criterios de inclusión y exclusión establecidos. Los resultados indican que el etiquetado nutricional puede influir positivamente en las decisiones de compra de los consumidores, siempre y cuando esté acompañado de educación en salud y nutrición. Sin embargo, persisten desafíos en cuanto a la interpretación de la información por parte de la población general. Se concluye que la estandarización del etiquetado y la mejora en su aplicación contribuirán a reducir errores y promover hábitos alimenticios más saludables, impactando de manera positiva en la salud pública.

Palabras clave: Ciencia de los alimentos, comportamiento del consumidor, información nutricional, regulación alimentaria.

Abstract Nutritional labeling has gained significance in recent years due to increasing concerns about balanced diets and public health. Labeling regulations aim to ensure that consumers receive accurate and useful information to make informed decisions about their food choices. However, studies conducted in various countries have revealed frequent discrepancies between actual nutritional values and those declared on product labels. These inconsistencies are partly attributed to the lack of proper oversight by nutrition professionals. This article presents a review of scientific literature related to nutritional labeling, with the goal of proposing a standardized approach for its correct implementation. A bibliographic search was conducted in scientific databases using keywords related to the topic. Of the 596 articles initially identified, 101 relevant studies were selected based on inclusion and exclusion criteria. The results indicate that nutritional labeling can positively influence consumer purchasing decisions, provided it is accompanied by health and nutrition education. However, challenges persist in the general population's ability to interpret this information. It is concluded that standardizing labeling and improving its application will help reduce errors and promote healthier eating habits, positively impacting public health.

Keywords: Consumer behavior, food regulation, food science, nutritional information.

Introducción

La composición nutricional de los alimentos y sus preparaciones son temas de relevancia e interés por parte de los consumidores (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024a; Ramírez-Navas, Betancourt-Botero, *et al.*, 2024). Este fenómeno se debe al incremento en la conciencia sobre la importancia de una alimentación equilibrada para el cuidado de la salud y la prevención de enfermedades (de Menezes y do Carmo, 2022). En este contexto, el etiquetado nutricional (EN) se ha convertido en una herramienta esencial para promover hábitos alimentarios saludables (Sierra-Tobón, 2021). La estructuración del etiquetado nutricional ha requerido un enfoque transdisciplinario, integrando conocimientos de diversas áreas y disciplinas, derivando en un sistema complejo de información (Kraemer *et al.*, 2023; Pereira, 2010; Schneemann, 2020).

El etiquetado nutricional es un conjunto de información estandarizada que describe las características nutricionales de los alimentos envasados (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b). Este sistema de etiquetado está diseñado para proporcionar datos claros y comprensibles sobre el contenido energético, macronutrientes (carbohidratos, proteínas y grasas), y micronutrientes esenciales (vitaminas y minerales). Siendo su objetivo principal, el permitir al consumidor tomar decisiones informadas sobre su dieta, promoviendo hábitos alimenticios saludables y la prevención de enfermedades no transmisibles (Berryman, 2014).

Además, el etiquetado nutricional tiene un papel educativo al fomentar la alfabetización nutricional y facilitar la comparación entre productos. Este sistema también regula la presentación de declaraciones nutricionales y de salud, asegurando que no sean engañosas y

cumplan con requisitos científicos respaldados (Cilla *et al.*, 2020). De manera general, regulaciones como el *Codex Alimentarius* establecen los lineamientos internacionales para garantizar que la información sea uniforme y accesible (Codex Alimentarius, 2009), sin embargo, cada país cuenta con sus propias normativas.

El (EN) consta de varios componentes obligatorios y opcionales. Los obligatorios incluyen la lista de ingredientes, la declaración del contenido neto, la tabla de información nutricional y las advertencias sobre alérgenos. También pueden incluirse declaraciones de propiedades nutricionales y de salud, siempre que estén científicamente fundamentadas (Codex Alimentarius, 2009). En cuanto a la tabla nutricional esta debe detallar valores como: calorías, grasas totales, grasas saturadas, carbohidratos totales, azúcares y sodio, expresados por porción y porcentaje del valor diario recomendado (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021). Otros elementos incluyen los sellos frontales, que advierten sobre niveles altos de nutrientes críticos, y los códigos de color, utilizados para clasificar los niveles de nutrientes en rangos de bajo, medio o alto. Estos elementos trabajan en conjunto para proporcionar una imagen completa y accesible del perfil nutricional del producto (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b).

En el etiquetado nutricional se emplea la iconografía como una herramienta visual clave, diseñada para facilitar la interpretación rápida de la información. Entre los formatos más comunes están los sellos frontales y los códigos de color (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021). Los sellos frontales, como los octágonos negros utilizados en varios países, advierten sobre contenidos altos en azúcares, grasas o sodio, utilizando mensajes claros y directos (FAO *et al.*, 2022). Por otro lado, los códigos de color, como

los sistemas de semáforo, clasifican los niveles de nutrientes en verde, amarillo o rojo, indicando su adecuación a una dieta saludable. Esta representación gráfica simplifica la decisión de compra para los consumidores, especialmente aquellos con menor alfabetización nutricional (Nikolaeva y Manko, 2022). Además, etiquetas como "libre de gluten" o "natural" utilizan iconografía específica para resaltar atributos adicionales del producto. Estas herramientas visuales deben cumplir con regulaciones estrictas, asegurando que sean informativas, consistentes y respaldadas por evidencia científica (FAO *et al.*, 2022).

A pesar de los esfuerzos realizados, investigaciones han identificado problemas relacionados con el etiquetado nutricional antes, durante y después de su implementación (Feldman *et al.*, 2015; Urquiaga *et al.*, 2014). El sistema de octógonos, por ejemplo, enfrenta críticas por su limitada eficacia y los desafíos que presenta en la reformulación de alimentos (Ramírez-Navas, Rojas-Renjifo, *et al.*, 2024). Reducir las calorías, base del cálculo para los sellos, incrementa proporcionalmente nutrientes críticos como grasas, azúcares o sodio, dificultando el cumplimiento regulatorio. Además, el cálculo nutricional basado en tablas genéricas o extranjeras puede generar discrepancias respecto a las formulaciones locales, reduciendo la confianza del consumidor en los datos del etiquetado (Ramírez-Navas, Rojas-Renjifo, *et al.*, 2024).

La falta de formación en nutrición entre los consumidores agrava el problema, generando interpretaciones erróneas de los sellos. Algunos perciben cualquier producto con octógonos como perjudicial, ignorando su contexto nutricional integral (Castronuovo *et al.*, 2022; Pineda Sotoa, 2019). Este desconocimiento puede conducir a decisiones alimenticias desequilibradas y una percepción injusta de alimentos que, consumidos con moderación,

pueden ser saludables. Estas limitaciones resaltan la necesidad de estrategias educativas y mejoras en la precisión del etiquetado, para garantizar una comprensión adecuada y fomentar hábitos alimentarios más informados.

A partir de este problema de investigación, se planteó como objetivo general evidenciar en la literatura científica la importancia del etiquetado nutricional y los inconvenientes que se presentan en su implementación. En este documento se buscó integrar los ámbitos de alimentación, nutrición y salud, que aseguran la adecuada incorporación del etiquetado en todas las etapas del diseño de alimentos. A través de un enfoque transdisciplinar, se pretendió optimizar la coherencia y precisión del proceso, buscando minimizar errores en su implementación y garantizando que la información proporcionada sea clara, comprensible y científicamente respaldada.

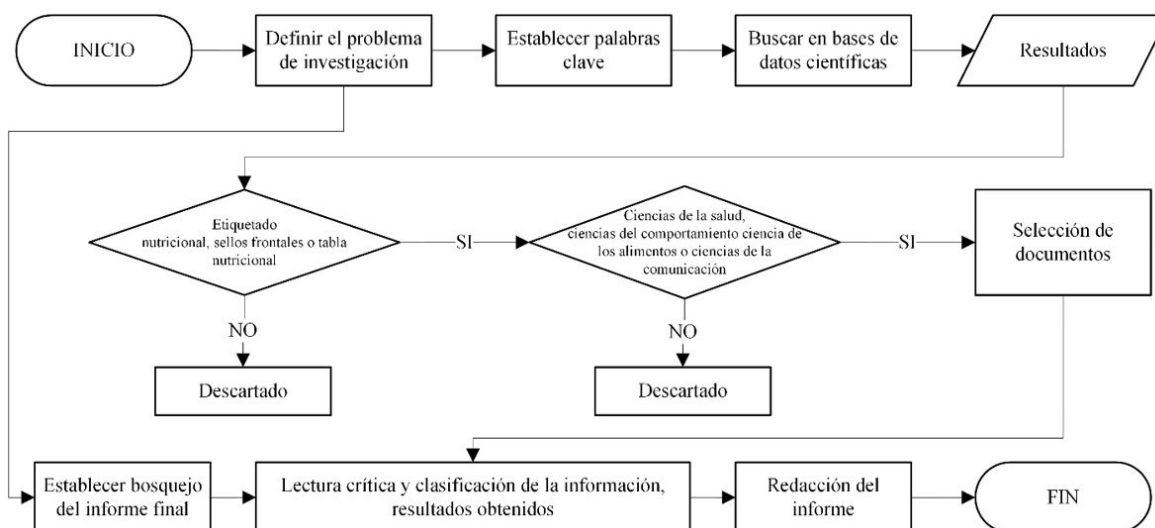
Materiales y métodos

Análisis bibliométrico

Para la estructuración de esta revisión, se realizó una búsqueda bibliográfica priorizando la literatura científica sobre el etiquetado nutricional que se relacionara con el objetivo de esta investigación. Los artículos de interés, se seleccionaron empleando un algoritmo de búsqueda, siguiendo la metodología propuesta por Campo y Ramírez-Navas (2021), con algunas modificaciones (Figura 1). Para la búsqueda se emplearon bases de datos como: ScienceDirect, Scopus, Wiley, Francis Tyler, ACS, MPDI, donde se encontraron artículos, libros y capítulos de libros, en un rango de tiempo de 15 años. Las palabras clave utilizadas fueron: etiquetado nutricional, sellos frontales o (OR) tabla nutricional, cada una de ellas enlazada (AND) a ciencias de la salud, ciencias del comportamiento ciencia de los alimentos o ciencias de la comunicación.

Figura 1

Algoritmo aplicado para la búsqueda bibliográfica



Nota. Adaptado de “Antioxidant capacity in ice cream and dairy products” (p. 25) por Campo y Ramirez-Navas (2021), Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 8 (1), 23-41.

De la revisión bibliográfica en SCOPUS empleando la ecuación booleana [TITLE-ABS-KEY (((nutritional AND labeling) OR (front AND stamps) OR (nutritional AND table)) AND ((health AND sciences) OR (behavioral AND sciences) OR (food AND science) OR (communication AND sciences)))] se obtuvieron 596 artículos que contenían las palabras clave incluidas en las ecuaciones de búsqueda. Con la información de todo el material encontrado se construyó una matriz utilizando MS Excel®. Posteriormente, se seleccionaron aquellos artículos que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión (palabras clave, tiempo, documento evaluado por pares), y finalmente se recopilaron y clasificaron los estudios encontrados.

Finalmente, se redactó el artículo, de manera colaborativa, con base al bosquejo establecido y se elaboraron ayudas visuales para complementar el texto utilizando MS Power Point® y mapas conceptuales (<https://markmap.js.org>). Finalmente se realizó una

evaluación del documento por parte de todos los investigadores y se llevó a cabo la corrección de estilo, previo a sometimiento.

Resultados y Discusión

A partir del análisis bibliométrico se observó que: 1) en los últimos cinco años se han publicado 153 artículos relacionados con el etiqueta nutricional (EN) (*nutritional labeling*); 2) las revistas con más artículos publicados sobre el tema son: Nutrients (ISSN:2072-6643), Nutrition Reviews (ISSN:0029-6643), Journal of Nutrition Education and Behavior (ISSN:1499-4046), Journal of the American Dietetic Association (ISSN:0002-8223) y Public Health Nutrition (ISSN:1368-9800); 3) los países en los que más se ha publicado sobre la temática son: Estados Unidos (164 artículos), Reino Unido (74 artículos), España (46 artículos), Australia (43 artículos) y Canada (41 artículos); y por último, 4) las principales entidades que han financiado investigaciones sobre (EN) son: European Commission (9 proyectos), National Institutes of Health (9 proyectos), Medical Research Council

(8 proyectos), U.S. Department of Health and Human Services (7 proyectos), Consejo Nacional de Desenvolvimiento Científico y Tecnológico (6 proyectos).

Luego de realizar el cribado aplicando los criterios de inclusión y exclusión se obtuvo un total de 114 documentos científicos empleados en esta revisión así:

Etiquetado nutricional y consumidores

El etiquetado nutricional tiene como propósito proporcionar a los consumidores información clara y precisa sobre los productos alimenticios, con el fin de facilitar decisiones alimentarias informadas (Cilla *et al.*, 2020). Sin embargo, factores como la educación y el género de los consumidores influyen de manera significativa en la interpretación de las distintas etiquetas nutricionales (Drichoutis *et al.*, 2009). Por esta razón, resulta esencial fomentar la educación en relación con el etiquetado nutricional, ya que ello podría optimizar la comprensión de la información proporcionada y, en consecuencia, permitir a los consumidores tomar decisiones más acertadas sobre su alimentación.

Adicionalmente, la efectividad del etiquetado nutricional para impulsar la compra y el consumo de alimentos más saludables se ha convertido en un tema de debate (Crockett *et al.*, 2018). Esta controversia se atribuye, principalmente, a la desinformación o al desconocimiento generalizado sobre la interpretación de las tablas nutricionales por parte de la población. Por tanto, mejorar la alfabetización nutricional sobre todo a temprana edad podría contribuir a superar estas barreras y maximizar el impacto positivo del etiquetado nutricional en la salud pública. Por ejemplo, el Lineamiento Nacional de Educación Alimentaria y Nutricional establece que la educación alimentaria y nutricional debe comenzar desde la infancia, ajustándose a las capacidades cognitivas de

cada etapa de desarrollo. Recomendando iniciar la alfabetización alimentaria desde la educación preescolar, incorporando actividades que permitan a los niños reconocer alimentos saludables y comprender su importancia. A medida que los estudiantes avanzan en su formación, en primaria y secundaria, el enfoque se amplía para incluir temas como el etiquetado nutricional, fomentando habilidades para interpretar la información nutricional de manera crítica e informada (CISAN, 2016).

La evolución de la información nutricional, su diseño y presentación al consumidor ha sido influenciada globalmente por desarrollos legislativos, entre los que destacan las regulaciones europeas y españolas (Quirós-Villegas, 2017). Estas medidas han facilitado que los consumidores accedan a información más precisa y comprensible, promoviendo la globalización del etiquetado nutricional y el uso de declaraciones de salud y nutrición en los productos alimentarios (Martínez, 2013). Por lo tanto, resulta imprescindible llevar a cabo investigaciones continuas sobre dichas declaraciones, para adaptarlas a los cambios y normativas de cada país.

Etiquetado frontal

Las regulaciones de países europeos como las brindadas por el Parlamento Europeo con el Reglamento (UE) n° 1169/2011 de 2011, influyeron en la implementación a nivel global del etiquetado frontal, permitiendo a los consumidores adquirir productos rápidamente sin necesidad de analizar en detalle la tabla nutricional, cuya interpretación resultar ser compleja sin un conocimiento previo sobre las cantidades recomendadas de nutrientes, pues de manera general se desconoce su uso en pacientes o poblaciones aparentemente sanas, y mucho menos se considera el impacto en la salud de ciertos ingredientes (Parlamento Europeo, 2011; Roberto *et al.*, 2021). En consecuencia, este tipo de etiquetado no solo ha influido

significativamente en el comportamiento de compra del consumidor, sino que también ha motivado a la industria alimentaria a reformular sus productos para ofrecer alternativas más saludables (Roberto *et al.*, 2021).

El impacto del etiquetado en el comportamiento de compra del consumidor es un tema de interés tanto para la industria como para las áreas médicas centradas en la elección y consumo de alimentos (Khandelwal y Yadav, 2020). Desde una perspectiva mercadotécnica, la industria busca entender cómo el etiquetado influye en las decisiones de compra. Por otro lado, disciplinas como la nutrición y la psicología analizan cómo estos etiquetados afectan las elecciones alimentarias (Helfer y Shultz, 2014). El consumo de alimentos, además de ser una necesidad fisiológica, tiene componentes sociales y emocionales, lo que incrementa el interés en entender las razones detrás de las diferentes elecciones de los consumidores (Parasecoli, 2022).

Aún con las bondades del etiquetado nutricional previamente mencionadas, diferente sucede al evaluar su efectividad al carecer de mediciones claras sobre su impacto en la mejora de los patrones dietéticos (Pereira, 2010). Sin embargo, esta herramienta informativa puede influir positivamente en la toma de decisiones cuando se acompaña de educación en salud y nutrición. A pesar de su potencial, el etiquetado nutricional no es ampliamente comprendido o confiable para muchos consumidores (Barros *et al.*, 2020). Las intervenciones educativas, especialmente en países en desarrollo, son esenciales para una correcta interpretación de estas etiquetas, reflejándose en mejores hábitos de consumo y patrones alimentarios (Castagnoli *et al.*, 2023; Koen *et al.*, 2016). Además del etiquetado nutricional, es importante para el consumidor que este aprenda a considerar la lista de ingredientes en los productos procesados, frecuentemente subestimada

en las regulaciones, pero fundamental para proporcionar información sobre salud y nutrición (Kraemer *et al.*, 2023).

Es importante mencionar que la presencia de EN estandarizado en los alimentos envasados facilita el desarrollo de estrategias educativas para el uso adecuado de la información por parte del consumidor (Schneemann, 2020). Este etiquetado crea conciencia sobre lo que se va a consumir, estableciendo barreras contra los excesos que impactan negativamente la salud. Por tanto, el etiquetado nutricional desempeña un papel importante en la lucha contra enfermedades no transmisibles como la obesidad, diabetes e hipertensión arterial, las cuales afectan directamente el bienestar de la población (Koen *et al.*, 2016). La importancia de una información nutricional apropiada y comprensible es fundamental para la salud pública (Wills *et al.*, 2009). Por tanto, se destaca la necesidad de lograr un equilibrio entre la industria alimentaria y el sector salud, ya que ambos tienen como objetivo común el bienestar de los consumidores. Este equilibrio podría reducir las preocupaciones relacionadas con la política comercial, subrayando la necesidad de un enfoque estratégico y un compromiso conjunto entre los sectores de comercio y salud (Thow *et al.*, 2017).

Principio regulador del etiquetado nutricional

Al analizar los procesos implementados por diversos países y regiones para el desarrollo del etiquetado nutricional, se destacan aspectos clave, como las vitaminas y minerales que deben declararse de manera obligatoria según los déficits nutricionales específicos de cada nación (FAO *et al.*, 2022). Por ejemplo, en Colombia, la obligatoriedad de la sal yodada responde al déficit de yodo identificado en la población (Ministerio de Salud y Protección Social, 1996). Dicho esto, el EN trasciende la simple tarea de calcular e informar valores nutricionales,

constituyéndose como una herramienta esencial en la formulación de alimentos, ya que permite fundamentar decisiones sobre la aceptación o reformulación de productos en función de los requerimientos nutricionales de la población objetivo. De este modo, contribuye tanto a la mejora de la salud pública como al cumplimiento de los estándares regulatorios en cada contexto nacional (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024a, 2024b).

Adicionalmente, el lograr productos alimenticios adecuados requiere aplicar los principios del diseño de alimentos, esto implica la modificación, mejora y optimización de las interacciones alimentarias. Este es un campo transdisciplinario que demanda un conocimiento profundo de los productos alimenticios, la tecnología, la salud y el comportamiento del consumidor (Ramírez-Navas, Betancourt-Botero, *et al.*, 2024).

Actualmente, los profesionales en diseño de alimentos deben considerar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas, sin dejar de lado el impacto nutricional y funcional de sus creaciones logrando la integralidad que el consumidor busca (Ramírez-Navas, Betancourt-Botero, *et al.*, 2024). También es importante evaluar las tendencias culturales y sociales en el diseño alimentario con un enfoque en prácticas sostenibles y beneficios para la salud del consumidor. Este enfoque es importante debido a la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles, como la obesidad, la diabetes, la hipertensión arterial y el cáncer, presenta grandes retos de salud pública (Parasecoli, 2022). En este contexto, los departamentos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I&D+i) en el sector alimentario y académico deben adoptar un enfoque holístico en el diseño de alimentos (Batat, 2021; Ramírez-Navas, Betancourt-Botero, *et al.*, 2024).

En este sentido, investigaciones como las de Liu *et al.* (2022) y McClements (2020), subrayan la relevancia de integrar el concepto de nutrición funcional en el desarrollo de productos alimenticios saludables y sostenibles. El objetivo principal es crear alimentos que no solo sean agradables al paladar, sino también comercialmente viables y con un perfil nutricional equilibrado, aspectos esenciales para promover el bienestar general de la población (Batista *et al.*, 2022; Trejo-Osti *et al.*, 2021). Además, resulta fundamental identificar las prácticas alimentarias cotidianas de la población objetivo para diseñar tecnologías que respalden dichas prácticas, incrementando así las probabilidades de éxito del producto en el mercado (Comber *et al.*, 2012).

Sin embargo, la literatura evidencia la necesidad de ampliar la investigación en el diseño tecnológico de alimentos para abordar de manera efectiva las especificidades del mercado y los requerimientos nutricionales de diversos segmentos poblacionales. Por ejemplo, diferentes grupos etarios presentan demandas particulares que deben ser consideradas en el desarrollo de nuevos productos, a fin de satisfacer características valoradas por los consumidores y garantizar la aceptación del producto lanzado (Dornblaser, 2017; Latino *et al.*, 2019; Lewis y Burton-Freeman, 2010). De esta forma se puede decir que existe un antes..., un durante... y un después del etiquetado nutricional, cada uno con la importancia que merece.

Áreas del conocimiento en etiquetado nutricional

Disciplinas científicas y áreas del conocimiento que contribuyen al diseño y estructuración del etiquetado nutricional

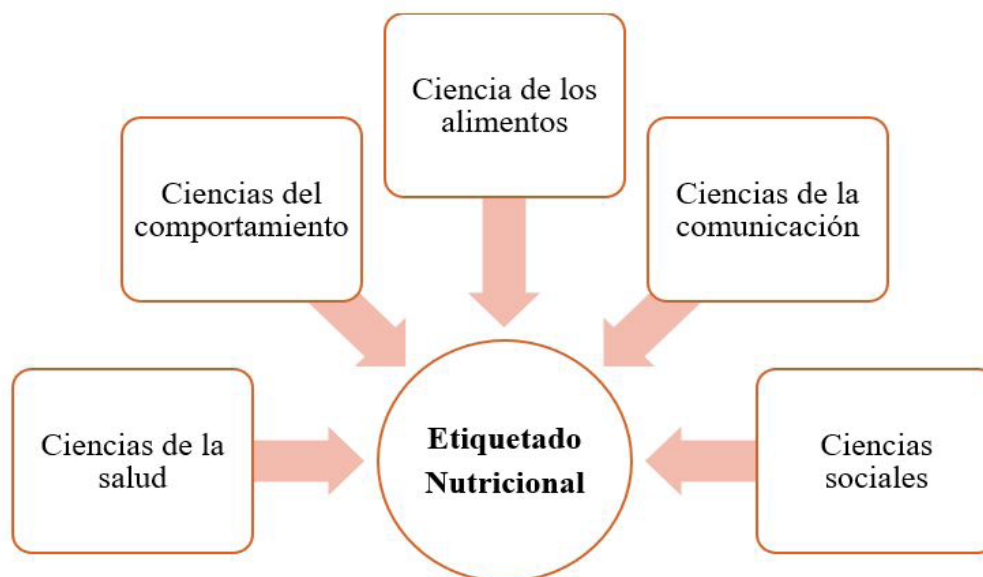
Diversas disciplinas científicas y áreas del conocimiento son esenciales para el diseño y estructuración del etiquetado nutricional (EN) (Figura 2). La colaboración entre estas disciplinas

y la continua evolución de las regulaciones son fundamentales para mejorar la efectividad del

EN y su impacto en la salud pública (Latino *et al.*, 2019).

Figura 2

Ciencias implicadas en el diseño y estructuración del etiquetado nutricional



El desarrollo del etiquetado nutricional es un proceso complejo que integra varias disciplinas. Entre las ciencias de la salud, la nutrición y la epidemiología proporciona el conocimiento fundamental sobre la relación entre dieta y salud (Illner *et al.*, 2012). Estas tres disciplinas analizan los impactos de la alimentación en el cuerpo y cómo estos pueden beneficiar o perjudicar a cada individuo. La información derivada de estos estudios se traduce en etiquetados nutricionales que buscan informar a los consumidores de manera clara y precisa sobre el contenido de los alimentos y su efecto en la salud (Taylor y Wilkenning, 2008).

Puntualmente, la salud pública y la medicina impulsan la necesidad de información nutricional para reducir problemas de salud relacionados con la dieta y promover elecciones que favorezcan la adopción de hábitos más saludables. La regulación de la salud, en forma de etiquetado obligatorio, es esencial para

garantizar que esta información llegue a los consumidores (Drichoutis *et al.*, 2009; Lachat y Tseng, 2013; Thow *et al.*, 2017). Por su parte, la ciencia de los alimentos, que incluye las ciencias básicas, la tecnología y la ingeniería, garantiza la precisión y consistencia de la información nutricional. Estas disciplinas cuantifican e integran los componentes deseados en el producto, tanto nutricionales como organolépticos, mediante la selección adecuada de cantidades e ingredientes que lo hacen posible (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b). Además de garantizar la optimización del proceso y su estandarización.

El análisis del comportamiento del consumidor y la evaluación de su disposición hacia los productos son áreas clave (Andrews *et al.*, 2018; Latino *et al.*, 2019). El diseño de productos desempeña un papel importante en la promoción de opciones nutricionales más saludables y sostenibles (Juodziukynaite,

2021). Se destacan tanto el formato como las características de la etiqueta, y la necesidad de comprender las perspectivas de los consumidores sobre el etiquetado de alimentos (Hieke y Taylor, 2011; Perumal *et al.*, 2022). Adicionalmente, el etiquetado nutricional tiene el potencial de promover opciones alimentarias más saludables al enfocarse en la información sobre el tamaño de las porciones y el diseño de la comunicación visual (Dumoitier *et al.*, 2019; Kelly *et al.*, 2024; Roberto y Khandpur, 2014).

El papel de las ciencias del comportamiento del consumidor en el diseño del etiquetado nutricional

Las ciencias del comportamiento (psicología, sociología, antropología, economía, neurociencia, pedagogía) del consumidor desempeñan un papel fundamental en el diseño del etiquetado nutricional, influyendo en la efectividad de las etiquetas y en las elecciones alimentarias de los consumidores (Helfer y Shultz, 2014). Es necesario recordar que la alimentación tiene un componente emocional y psicológico, por lo que es importante crear asociaciones saludables con los alimentos desde la alimentación complementaria (etapa que inicia a los 6 meses de vida), así mismo se destacan la importancia de la usabilidad y la asociación de los alimentos saludables con el placer de comer, respectivamente (Helfer y Shultz, 2014; Jacquier *et al.*, 2012).

El diseño de la comunicación visual es un factor clave en el etiquetado nutricional. Las investigaciones señalan la necesidad de desarrollar etiquetas que no solo informen, sino que también motiven a los consumidores a tomar decisiones alimentarias más saludables. Además, la ubicación de los productos en el establecimiento influye en su elección. El diseño del empaque y la efectividad de los sistemas de etiquetado impactan la atención del consumidor (Kelly *et al.*, 2024; Scott, 2023). Christoph *et*

al. (2015), encontraron que los estudiantes universitarios y adultos jóvenes que utilizan etiquetas nutricionales tienden a tener actitudes más positivas hacia dietas saludables. Y esto puede asociarse a que esta es una edad en la que la apariencia física es determinante en el impacto social, bien o mal, genera influencia en dicha elección alimentaria. Hammond *et al.* (2015) demostraron que presentar la información del contenido de calorías en los alimentos de una cafetería permitió mejorar la selección de alimentos y redujo la ingesta de calorías. Posteriormente, Kim *et al.* (2016) encontraron un menor riesgo de dislipidemia (concentración elevada de colesterol) entre quienes utilizaron la información de las etiquetas nutricionales al momento de seleccionar sus productos. Por tanto, la combinación de intervenciones educativas y etiquetas bien diseñadas puede potenciar significativamente su efectividad. Sin embargo, es importante realizar más investigaciones sobre el uso y las actitudes de los consumidores hacia las etiquetas nutricionales, especialmente en economías emergentes (Mandle *et al.*, 2015).

La importancia de la comunicación y el diseño gráfico en la efectividad del etiquetado nutricional

La efectividad del etiquetado nutricional está fuertemente influenciada por la comunicación y el diseño gráfico. Urquizar Rojas y Galvão Spinillo (2021) y Scott (2023) subrayan la importancia de estos factores para influir en el comportamiento y las elecciones del consumidor, el consumidor busca experiencias satisfactorias. Kelly *et al.* (2024), enfatizan el papel del diseño de la comunicación visual en la promoción de elecciones alimentarias más saludables. Se ha encontrado que el uso de formatos de etiquetas gráficas simples mejora las decisiones nutricionales de los consumidores (Rudd, 2009). Además, los métodos gráficos han demostrado mejorar el recuerdo de la información de nutrientes e influir en el comportamiento de compra (Pratt *et al.*, 2016).

El diseño del etiquetado nutricional de un alimento se basa en varios factores clave. Coelho *et al.* (2020) destaca la importancia de una etiqueta visual que proporcione tanto contenido nutricional como información contextual. Schneemann (2020), resalta la necesidad de un etiquetado estandarizado para facilitar la comparación por parte del consumidor. Templey Fraser (2014) y Marino y Mahan (2016) abogaron mucho antes por diseños claros y simples que se alinearan con principios cognitivos, sugiriendo específicamente un sistema de semáforo. Método que indudablemente obtuvo muy buena acogida ante la facilidad de asociación que presenta.

Scott (2023) discute el papel de los valores de referencia de nutrientes y la efectividad de diferentes sistemas de etiquetado, utilizando la teoría de la relevancia para explicar el éxito de las etiquetas de advertencia. Por su parte, Campos *et al.* (2011) destacan el uso generalizado de etiquetas nutricionales y su potencial para influir en los hábitos dietéticos, pero también señala los desafíos en la comprensión y uso adecuado. Estos estudios indican que un etiquetado nutricional bien diseñado puede ser una herramienta eficaz para mejorar las elecciones alimentarias, por ende, impactar en la salud pública. No obstante, Hieke y Taylor (2011) y Roberto y Khandpur (2014), durante su época abogaron por una visión más holística del etiquetado nutricional, sugiriendo que se necesitaba más investigación para comprender completamente el impacto de la comunicación y el diseño gráfico en su efectividad.

Estos estudios indican que una combinación de intervenciones visuales y educativas puede potenciar la efectividad del etiquetado nutricional. Es fundamental seguir investigando para desarrollar estrategias de etiquetado que no solo informen, sino que también motiven a los consumidores a realizar elecciones alimentarias más saludables.

El etiquetado nutricional y la salud pública

El etiquetado nutricional desempeña un papel fundamental en la salud pública al influir en las elecciones alimentarias del consumidor y potencialmente reducir las enfermedades no transmisibles relacionadas con la dieta (Feteira-Santos *et al.*, 2021). No obstante, la efectividad de sistemas específicos de etiquetado, como las etiquetas de semáforo, aún está en debate (Sacks *et al.*, 2009). A pesar de estos desafíos, el etiquetado nutricional en la parte frontal y los sistemas de ecoeficiencia tienen el potencial de promover la salud pública al dirigir el comportamiento de compra del consumidor hacia la elección de productos más saludables (Țurcanu y Siminiuc, 2023).

La lista de ingredientes en las etiquetas de alimentos también es una valiosa fuente de información sobre salud y nutrición (Kraemer *et al.*, 2023). En ocasiones, incluso para algunos profesionales esta lista pasa inadvertida, cuando es una pieza fundamental. Una recomendación es que el orden de los ingredientes debe ser congruente con la cantidad usada en el producto y su importancia en la formulación, por ende, puede brindar una idea cercana de cantidades usadas en el producto final. Confirmando de nuevo que resulta esencial integrar una perspectiva de salud en la política de etiquetado nutricional para abordar los desafíos de comprensión (Mansfield *et al.*, 2020). La influencia del etiquetado nutricional en la parte frontal en el comportamiento del consumidor y la reformulación de productos es significativa, siendo las etiquetas de advertencia las que muestran mayor promesa (Roberto *et al.*, 2021).

Estos enfoques, combinados con una educación adecuada, pueden mejorar notablemente la efectividad del etiquetado nutricional en la promoción de dietas más saludables.

Las ciencias sociales y económicas en el etiquetado

Dentro de las ciencias sociales, las ciencias jurídicas juegan un papel fundamental en la creación de la legislación relacionada con los alimentos, su presentación, su consumo, su rotulado, etc., que tiene como objetivo último proteger al consumidor. A través de marcos regulatorios, las leyes definen criterios estrictos para la declaración de nutrientes, alérgenos y propiedades en salud, evitando así información engañosa. Estas normativas buscan proteger al consumidor al exigir a los productores una representación precisa de la composición de los alimentos, lo que permite tomar decisiones informadas (FAO *et al.*, 2022).

En la Unión Europea, el Reglamento 1169/2011 (Parlamento Europeo, 2011) establece directrices para el etiquetado nutricional, incluyendo la obligatoriedad de información clara y legible sobre el contenido nutricional de los productos. Además, en Estados Unidos, la Ley de Etiquetado y Educación Nutricional (NLEA) impone criterios similares, orientados a proteger al consumidor de posibles omisiones o exageraciones en la información nutricional (Becher *et al.*, 2019; Martini *et al.*, 2019).

Las regulaciones jurídicas contribuyen también a proteger al consumidor contra la publicidad y la información engañosa en el etiquetado. Las declaraciones de propiedades saludables en salud solo pueden ser incluidas si están respaldadas por evidencia científica sólida, evitando que los consumidores asocien productos con beneficios no comprobados. Este control legal fomenta la responsabilidad de los productores, quienes deben ajustar sus estrategias de marketing para alinearse con la normativa (Mandle *et al.*, 2015; Tahir *et al.*, 2023).

A nivel internacional, los estándares como los del Codex Alimentarius (Codex Alimentarius, 2009) promueven la armonización de normas de etiquetado nutricional, facilitando el comercio y asegurando la coherencia en la información. Las ciencias jurídicas son clave en la adopción de estos estándares, ya que permiten a cada país adaptarlos a su contexto particular. La legislación establece componentes obligatorios en las etiquetas, como el tamaño de letra y el formato de la tabla nutricional, garantizando que esta información sea accesible y comprensible para todos los consumidores. La actualización continua de estas normativas, respaldada por la legislación, permite que el etiquetado nutricional evolucione conforme a nuevos descubrimientos científicos y necesidades de salud pública, mejorando así la protección del consumidor y promoviendo hábitos alimentarios más saludables (Becher *et al.*, 2019; Marcotrigiano *et al.*, 2018).

Por otra parte, la relación entre las ciencias económicas y el etiquetado nutricional se establece antes, durante y después de que el producto llega al mercado (Golan *et al.*, 2001). Antes de la creación del etiquetado, los economistas evalúan los costos y beneficios de proporcionar información nutricional en función de las demandas de los consumidores y la regulación del mercado. Este análisis permite identificar si los beneficios de incluir información nutricional superan los costos, basándose en teorías de la asimetría de información que destacan cómo una etiqueta adecuada puede reducir la incertidumbre del consumidor sobre el valor del producto (Golan *et al.*, 2001). Además, se considera la inversión necesaria para cumplir con las normativas de etiquetado, como los análisis de composición nutricional, el diseño y la impresión del etiquetado. La intervención del Estado en esta etapa es clave para definir las normativas que aseguran transparencia y protegen al consumidor, evitando prácticas desleales y facilitando la competencia justa (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b).

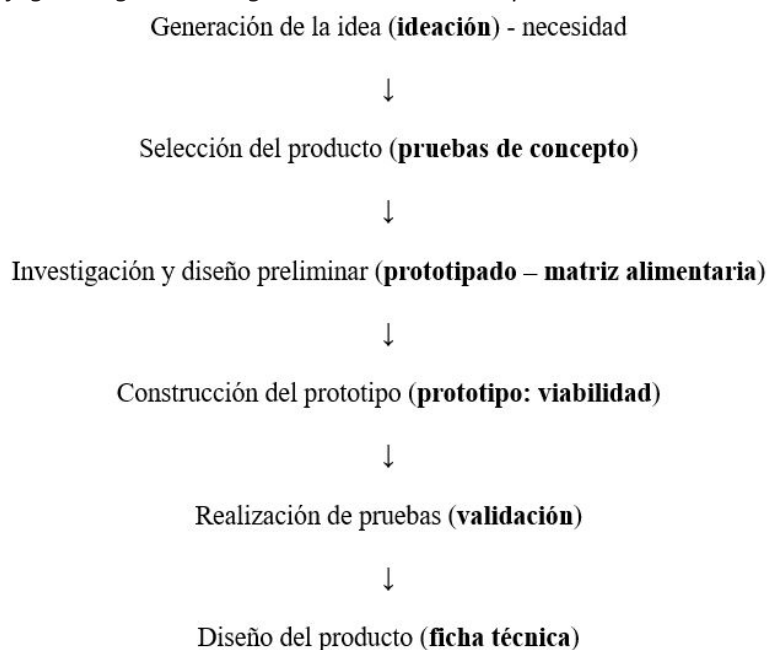
Durante el proceso de etiquetado, las ciencias económicas se centran en medir el impacto del etiquetado en la percepción del consumidor y en las decisiones de compra. Los economistas estudian cómo los diferentes formatos y niveles de detalle en las etiquetas influyen en la demanda, analizando si el etiquetado nutricional motiva a los consumidores a elegir opciones más saludables (Golan *et al.*, 2001). Una vez el producto etiquetado está en el mercado, la evaluación económica se enfoca en el análisis de la respuesta del mercado: se miden los cambios en ventas y se estudia si el etiquetado ha influido en la fidelidad del consumidor y en el posicionamiento del producto. Finalmente, los estos profesionales también evalúan los efectos del etiquetado en los costos a largo plazo de atención sanitaria, considerando si un etiquetado nutricional adecuado puede fomentar mejores hábitos alimenticios y reducir costos de salud pública asociados con enfermedades crónicas (Berryman, 2014; López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b).

Diseño de alimentos

El diseño de alimentos es una disciplina que se enfoca en la creación de productos alimenticios con características específicas que satisfacen las necesidades nutricionales, sensoriales y funcionales de los consumidores. Este proceso interdisciplinar combina principios de la ciencia, tecnología e ingeniería de alimentos, así como de la ciencia de la nutrición para desarrollar productos innovadores, considerando tanto la seguridad alimentaria como la sostenibilidad (Traitler *et al.*, 2015). Diseñar un alimento implica: la selección cuidadosa de ingredientes, el procesamiento adecuado y la evaluación de las propiedades organolépticas, físicas y químicas de los productos resultantes. Además, se presta atención a la estabilidad del alimento durante su vida útil, garantizando que conserve sus características organolépticas y nutricionales (Ramírez-Navas, Betancourt-Botero, *et al.*, 2024). En la **Figura 3** se presenta uno de los posibles caminos en la generación de nuevos productos:

Figura 3

Flujograma general de generación de nuevos productos



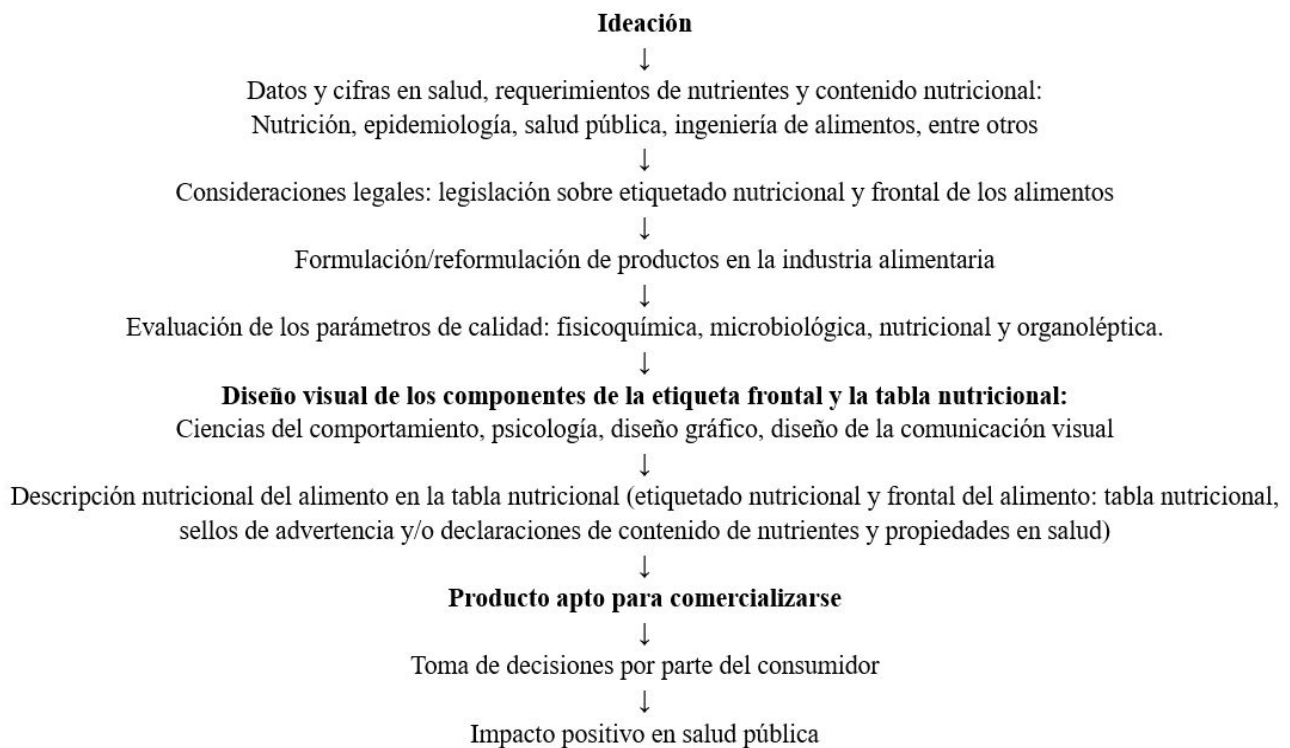
Nota. Adaptado de “Structuration of a definition for a Natural Ingredients prototype” (p. 14) por Ramírez-Navas *et al.* (2020), Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 7 (1), 10–19.

Durante el diseño del alimento, el etiquetado nutricional juega un papel clave ya que proporciona información clara y precisa sobre el contenido nutricional del producto, permitiendo evidenciar o no el cumplimiento de las regulaciones locales e internacionales que establecen los límites de nutrientes críticos. Por ejemplo, la información provista por el etiquetado nutricional ha llevado a la reformulación de productos con el fin de evitar que estos superen los umbrales establecidos por el etiquetado frontal de advertencia, lo que ha generado un cambio en los patrones de compra de los consumidores (Koenigstorfer *et al.*, 2014; Yana-Salluca *et al.*, 2022). Sin embargo, el etiquetado nutricional no es el único condicionante para una formulación alimenticia saludable exitosa.

La modificación de productos o reformulación genera frecuentemente costos adicionales debido a los ajustes que afectan diversas áreas de la estructura de costos. Entre estos, se incluyen materias primas, recursos humanos, procesos de producción, tiempo de vida útil del producto, materiales de empaque y plazos de lanzamiento (Golan *et al.*, 2001). Como consecuencia, el establecimiento de una matriz alimentaria integral (prototipo) desde las etapas iniciales, que contemple una proyección precisa del etiquetado nutricional, puede reducir estos costos adicionales. Esta planificación permite anticipar necesidades y ajustar variables clave antes de la producción a gran escala, optimizando los procesos y facilitando el cumplimiento de normativas nutricionales y de calidad (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b).

Figura 4

Ruta que sigue un producto desde su ideación, consolidado de la etiqueta nutricional y finalmente su comercialización



El desarrollo de un prototipo detallado (ver **Figura 3**), no solo minimiza los costos relacionados con ajustes posteriores, sino que también mejora la exactitud en la caracterización nutricional de los productos. Esto implica una mayor coherencia entre las proyecciones iniciales y los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio. La formulación precisa y las estimaciones nutricionales previas permiten predecir con exactitud el perfil nutricional, reduciendo el riesgo de discrepancias y costos asociados a modificaciones inesperadas (reformulaciones). Adicionalmente, asegura una mayor transparencia y exactitud en la información proporcionada al consumidor, fortaleciendo la confianza del mercado en los productos etiquetados (Ramírez-Navas *et al.*, 2020).

La implementación de un prototipo preciso favorece una gestión eficiente de los recursos en la industria alimentaria al facilitar decisiones fundamentadas en datos analíticos sólidos. Esto incluye la optimización del uso de insumos, la mejora de la eficiencia en el proceso de producción y el cumplimiento de estándares de calidad y etiquetado nutricional (Ramírez-Navas *et al.*, 2020). En consecuencia, se maximiza la rentabilidad del producto y se reduce el impacto de costos operativos y desperdicios. Así, la reformulación y el etiquetado adecuado no solo son una herramienta técnica, sino un elemento estratégico en la gestión de recursos y competitividad del sector. En la **Figura 4**, se presenta de manera resumida la ruta seguida en el proceso de creación y consolidación de una etiqueta nutricional, posterior a la elaboración de un producto.

El etiquetado nutricional en la industria alimentaria en términos de formulación de productos y marketing

El etiquetado nutricional tiene implicaciones significativas para la formulación de productos y el marketing en la industria alimentaria influye en el comportamiento de compra del

consumidor, esto con el potencial de aumentar la satisfacción y lealtad del cliente (Anisha *et al.*, 2020).

La industria alimentaria utiliza estratégicamente el marketing nutricional, incluido el etiquetado nutricional, para diferenciar productos y atraer a los consumidores. Sin embargo, existen sectores de la industria que presentan resistencia a las etiquetas en la parte frontal del envase (FOP) obstaculizando sus beneficios para la salud pública (Nestle, 2018). Las etiquetas FOP pueden llevar a la reformulación de productos, especialmente cuando transmiten información intuitiva (Ganderats-Fuentes y Morgan, 2023). Se ha encontrado que estas etiquetas tienen un impacto modesto pero positivo en la reformulación de alimentos, particularmente en la reducción del contenido de sodio, azúcar y grasa saturada en los productos (Crocker *et al.*, 2020; Ganderats-Fuentes y Morgan, 2023; Mhurchu *et al.*, 2017; Reyes *et al.*, 2020).

Lamentablemente no existe un análisis responsable por parte de quienes establecen la legislación y se generalizan las restricciones como “Alto en...” o “Exceso de...”, generando rechazo a productos que pudieran tener valor nutricional. Por otra parte, se ha observado que las políticas de etiquetado obligatorio han demostrado ser más efectivas que las voluntarias, con el potencial de beneficiar a las poblaciones de menores ingresos (Barahona *et al.*, 2020; Ganderats-Fuentes y Morgan, 2023). La armonización de las regulaciones de etiquetado de alimentos puede crear nuevas oportunidades de mercado, pero también presenta desafíos (Kasapila y Shaarani, 2011).

Decisiones post-etiquetado nutricional Decisiones en salud pública

Desde la perspectiva de la salud pública, fomentar la conciencia sobre la alimentación saludable es fundamental para establecer políticas que reduzcan la incidencia de enfermedades

crónicas no transmisibles. La alimentación, como pilar esencial en la prevención y desarrollo de patologías, juega un papel clave en estas iniciativas (Marcotrigiano *et al.*, 2018; Nestle, 2018). En casos donde un producto alimenticio se considera inapropiado para la población, dichas políticas pueden incluir restricciones en su consumo o recomendaciones para su reformulación, con el objetivo de salvaguardar la salud del consumidor. En este contexto, la combinación del etiquetado nutricional con programas de educación nutricional puede incrementar notablemente su efectividad al facilitar decisiones informadas. Además, la obligatoriedad de declarar cantidades exactas en las etiquetas contribuye a fomentar la transparencia, fortaleciendo el compromiso de la industria con los consumidores. Este enfoque promueve la confianza en la información proporcionada y refuerza el vínculo entre los productos alimenticios y la salud pública, generando un impacto positivo en los hábitos de consumo (López-Ramírez y Celis-Rozo, 2024b).

Por su parte, Anisha *et al.* (2020) y Schneeman (2015) destacan la relevancia de basar el desarrollo de regulaciones en evidencia científica sólida, lo que asegura decisiones informadas y efectivas. En esta línea, Thow *et al.* (2017) enfatizan las implicaciones de las políticas comerciales en el etiquetado nutricional, señalando la necesidad de un enfoque estratégico en la formulación de objetivos políticos. Asimismo, subrayan la importancia de promover un compromiso proactivo entre los sectores de comercio y salud, para garantizar la coherencia entre ambos ámbitos. Estas estrategias resultan fundamentales para asegurar que las políticas de etiquetado nutricional no solo sean efectivas en términos de promoción de la salud pública, sino también compatibles con los intereses comerciales. Este equilibrio entre la salud y el comercio es clave para maximizar los beneficios sociales y económicos derivados de una regulación adecuada en el ámbito alimentario.

Etiquetado nutricional y toma de decisiones informadas sobre dieta y salud

Los consumidores pueden utilizar el etiquetado nutricional como una herramienta clave para tomar decisiones informadas sobre su dieta y salud, siempre y cuando comprendan adecuadamente la información proporcionada (Rimpeekool *et al.*, 2015; Wills *et al.*, 2009). Este proceso requiere una conciencia clara de la relación entre el uso de etiquetas y la salud (Su *et al.*, 2015), así como la evaluación de la usabilidad de distintos esquemas de etiquetado (Helfer y Shultz, 2014). Sin embargo, persisten desafíos significativos, como la confusión sobre nutrientes específicos (Pereira, 2010), la necesidad de una mayor educación en el uso de etiquetas (Moore *et al.*, 2018) y la complejidad que generan los múltiples formatos disponibles (Draper *et al.*, 2011).

Estudios realizados por Urquiaga *et al.* (2014) en Chile y por Mallet *et al.* (2018) en Brasil, han reportado elevadas tasas de incumplimiento con las regulaciones, incluyendo omisiones y la presentación de información engañosa. Problemas similares se identificaron en Estados Unidos, donde etiquetas de menús en servicios de alimentos universitarios presentaron discrepancias significativas en los valores nutricionales (Feldman *et al.*, 2015). En muchos casos, estas inconsistencias se atribuyen a la falta de supervisión por parte de profesionales en Nutrición y Dietética, cuya intervención, fundamental en el proceso de etiquetado, a menudo es omitida. De manera similar, un estudio en Australia detectó discrepancias importantes entre los valores reales y los declarados en las etiquetas nutricionales (Clark *et al.*, 2023).

Estos hallazgos enfatizan la necesidad urgente de fortalecer las regulaciones y mejorar su aplicación para garantizar la precisión y la confiabilidad de la información nutricional

en los alimentos. Por todo esto, los sistemas de etiquetado efectivos deben incorporar etiquetas específicas de nutrientes en la parte frontal del envase, utilizando texto claro y códigos de colores. Este enfoque facilita una comprensión rápida y precisa de la información nutricional, permitiendo a los consumidores tomar decisiones alimentarias más saludables. Además, la combinación de educación nutricional con un etiquetado claro y consistente

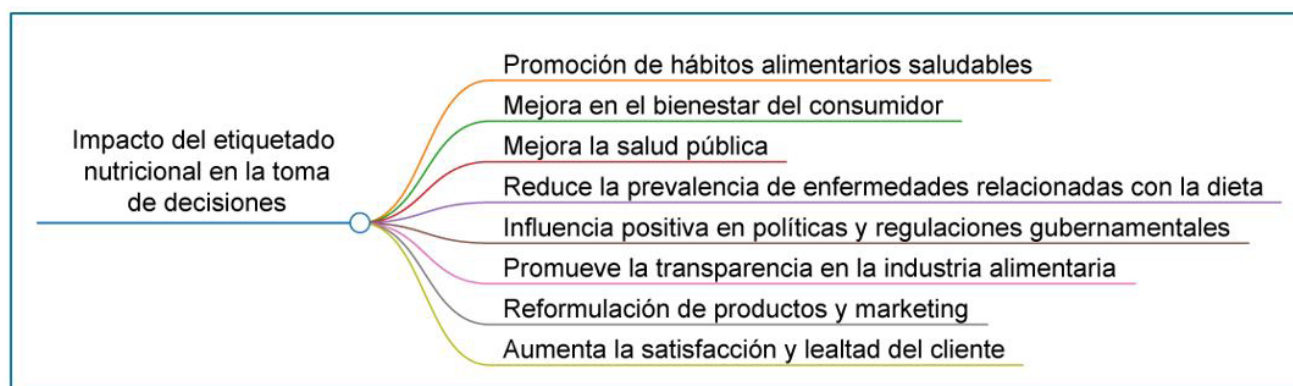
resulta fundamental para maximizar la eficacia de estas herramientas, promoviendo así mejoras significativas en la salud pública.

Impacto y evaluación del etiquetado nutricional

Diversos métodos y herramientas se han utilizado para evaluar la efectividad del etiquetado nutricional en la modificación del comportamiento del consumidor.

Figura 5

Impacto del etiquetado nutricional en la toma de decisiones



Se han encontrado diversos impactos del etiquetado sobre el consumidor (Figura 5), pero se evidencia la necesidad de establecer la forma de cuantificar estos impactos, ya que la mayoría de los estudios se ha centrado en la intención de compra. Scherr *et al.* (2017) y Moore *et al.* (2016), introducen técnicas innovadoras para evaluar intervenciones de nutrición conductual, como la evaluación del estrés y la tecnología de seguimiento ocular. Sin embargo, la efectividad de estos métodos y herramientas todavía se debate, siendo necesaria más investigación para proporcionar evidencia más concluyente.

Una serie de estudios han explorado el impacto del etiquetado nutricional en la percepción de compra del consumidor. Se encontró que el etiquetado interpretativo FOP

puede influir en la intención de compra, siendo el Nutri-Score particularmente efectivo. Este sistema capta la atención del consumidor al resaltar de manera clara si un producto se alinea con hábitos alimentarios saludables o necesidades específicas de salud (Medina-Molina y Alonso-Hernando, 2022). Las etiquetas nutricionales influyen en el comportamiento de compra del consumidor, especialmente en el contexto de la salud y la nutrición, debido a que las declaraciones nutricionales afectan la comprensión y el juicio al elegir productos (Prates *et al.*, 2022; Raja-M *et al.*, 2019).

Finkelstein *et al.* (2018) y Pinheiro Fernandes *et al.* (2021), encontraron que el etiquetado en la parte frontal del envase puede influir en los patrones de compra de

alimentos, específicamente por el impacto del puntaje NuVal en las ventas. Sin embargo, Mhurchu *et al.* (2017) halló que las etiquetas nutricionales interpretativas no tuvieron un efecto significativo en las compras de alimentos, a pesar de ser consideradas útiles y fáciles de entender por los consumidores. Esto está directamente relacionado con la percepción que el consumidor tiene sobre bienestar y salud. En muchos casos, se observa la omisión de los sellos nutricionales cuando prevalece el deseo de consumo, lo cual refleja un patrón cultural influenciado por hábitos arraigados a través del modelaje social y comunitario. Estos factores destacan la complejidad en la toma de decisiones alimentarias, donde la experiencia personal y colectiva puede superar la información nutricional disponible. De manera similar, Sacks *et al.* (2009) encontró que la introducción de etiquetas de semáforo no tuvo un efecto discernible en la salubridad de las compras de los consumidores.

Una serie de estudios han identificado factores clave que influyen en la comprensión y el uso del etiquetado nutricional entre diferentes grupos demográficos. Las intervenciones educativas han demostrado mejorar la comprensión y el uso de las etiquetas nutricionales (Moore *et al.*, 2018), pero existen barreras como los términos técnicos y el tamaño pequeño de la fuente (Nieto *et al.*, 2020). La alfabetización en salud es un factor significativo, con una mayor alfabetización asociada a una mejor comprensión de las etiquetas y comportamientos dietéticos más saludables (Persoskie *et al.*, 2017). También se observan disparidades en la comprensión y uso de las etiquetas nutricionales en diferentes países, donde las habilidades numéricas y los formatos de etiquetas interpretativas juegan un papel importante (Bhawra *et al.*, 2022).

En Ecuador, la conciencia y el uso de etiquetas nutricionales son bajos, especialmente entre las mujeres indígenas (Orozco *et al.*, 2016). En Corea, el uso del etiquetado de alimentos está

influenciado por factores demográficos, siendo el nivel de educación un determinante clave (Jo y Jung, 2019). Se han discutido las fortalezas y debilidades de diferentes formatos de etiquetas, como la etiqueta de semáforo, las etiquetas FOP y la etiqueta de información nutricional, con sugerencias para mejorar mediante educación y difusión de información (Bhargava *et al.*, 2020). Estos estudios subrayan la importancia de adaptar el etiquetado nutricional y las intervenciones educativas a las necesidades específicas de diferentes grupos demográficos para mejorar su efectividad.

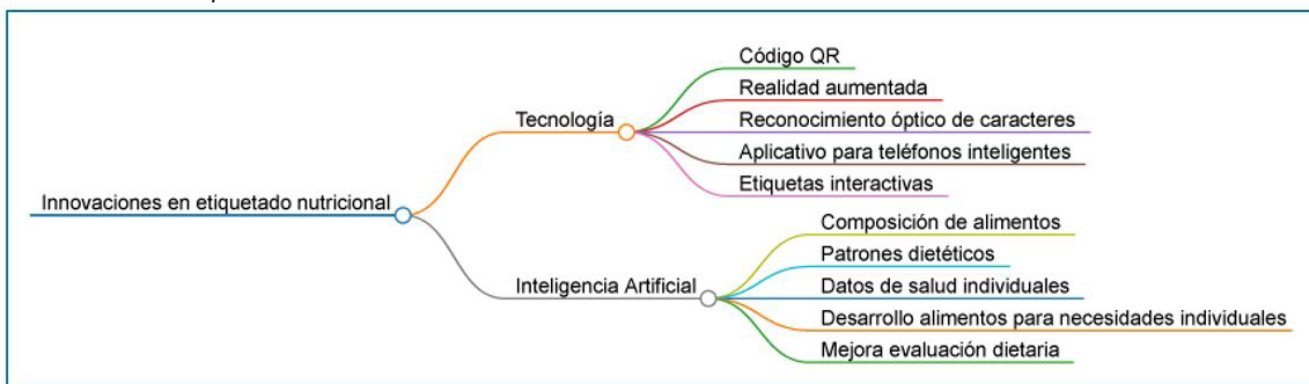
Innovaciones y futuro del etiquetado nutricional

Las tendencias emergentes (Figura 6) en el etiquetado nutricional buscan aplicar la ingeniería e inteligencia artificial para incrementar la utilización de las etiquetas nutricionales y así mejorar la experiencia en la elección alimentaria. Las etiquetas FOP (etiquetas de la parte frontal del envase) deberían incorporar texto y códigos de colores en pro de atraer la atención en el consumidor (Hersey *et al.*, 2013; Wills *et al.*, 2009). Por su parte, Dunford *et al.* (2014) presentan la implementación exitosa de una aplicación móvil con etiquetas de semáforo para apoyar elecciones alimentarias más saludables. Sin embargo, Mandle *et al.* (2015) y Al-Jawaldeh *et al.* (2020) destacan la necesidad de más investigación en relación a las etiquetas FOP en economías emergentes. Sin olvidar que estas deberían ser altamente visibles, simples y emocionalmente atractivas (Roberto *et al.*, 2021).

No obstante, es importante considerar que la aplicación de esta tecnología no es adecuada para la totalidad de la población y requiere estudiar previamente el área demográfica de implementación (Al-Jawaldeh *et al.*, 2020). Si este método se aplica correctamente, su aceptabilidad y asimilación podrían ser significativas, especialmente en población joven, lo que permitiría la modificación de hábitos desde la adolescencia y la adultez temprana.

Figura 6

Innovación en etiquetado nutricional



Investigaciones recientes han explorado el uso de tecnologías innovadoras para mejorar la efectividad de las etiquetas nutricionales. Lowe *et al.* (2013) identificaron tres segmentos de consumidores con diferentes preferencias por la tecnología en la transmisión de información nutricional. Kulyukin *et al.* (2014) presentaron una aplicación para teléfonos inteligentes que permite a los usuarios diseñar y manipular sus propios esquemas de presentación de etiquetas. Posterior a esto, Jain y Djasasbi (2019) desarrollaron una aplicación para teléfonos inteligentes que utiliza OCR (Reconocimiento óptico de caracteres) y realidad aumentada para proporcionar retroalimentación dinámica sobre la información de la etiqueta. Lagunes-Navarro (2021) propuso el uso de códigos QR y realidad aumentada para mejorar la comprensión de las etiquetas. Por último, Wimer *et al.* (2024) encontraron que las etiquetas interactivas mejoraron significativamente la capacidad de los consumidores para interpretar y aplicar la información nutricional.

La integración de tecnologías avanzadas, como la realidad aumentada y los códigos QR, puede ofrecer información detallada y personalizada, facilitando decisiones alimentarias más saludables y mejorando la comprensión del consumidor sobre la

nutrición. Sin embargo, la manipulación de estas tecnologías en el etiquetado podría ser susceptible de alteraciones indebidas. Por ello, es fundamental implementar un control riguroso en esta metodología para garantizar la integridad y confiabilidad de la información proporcionada.

Por otra parte, la inteligencia artificial (IA) y el análisis de datos tienen el potencial de mejorar significativamente la personalización del etiquetado nutricional. Al utilizar algoritmos de aprendizaje automático y el análisis de grandes volúmenes de datos, la IA puede examinar información nutricional extensa, incluyendo la composición de alimentos, patrones dietéticos y datos de salud individuales, para identificar patrones y asociaciones que informen recomendaciones dietéticas personalizadas (Rivera-Valdivia, 2022; Sharma, 2024). Además, la IA puede ayudar en el desarrollo de nuevos productos alimenticios y formulaciones que se adapten a las necesidades y preferencias dietéticas individuales (Sharma y Gaur, 2024).

La integración de campos emergentes como las ciencias ómicas también puede ser facilitada por la IA, refinando aún más las recomendaciones dietéticas personalizadas (Ramírez-Navas *et al.*, 2023). Los algoritmos

de IA también pueden mejorar la comprensión y predicción de las interacciones complejas entre los datos nutricionales y los resultados de salud (Côté y Lamarche, 2022). El uso del modelado matemático y la optimización en nutrición con ayuda de la IA ofrece herramientas poderosas para analizar y procesar datos nutricionales (Knights *et al.*, 2023). Además, los enfoques impulsados por IA pueden mejorar la evaluación dietética, maximizando la eficiencia y abordando los errores asociados con las medidas autoinformadas de ingestas dietéticas (Côté y Lamarche, 2022). Finalmente, la IA se puede utilizar para desarrollar modelos de análisis de nutrientes de precisión, mejorando significativamente la eficiencia del análisis de la ingesta de nutrientes (Lee *et al.*, 2022).

No obstante, aunque las herramientas tecnológicas son esenciales en el avance de la nutrición personalizada, no se debe depender exclusivamente de algoritmos o promedios al proporcionar atención individualizada. A pesar de su utilidad, la inteligencia artificial no puede abarcar completamente todas las variables necesarias para una intervención personalizada en el paciente, lo que resalta la importancia de la evaluación clínica directa y contextual.

Conclusiones

El etiquetado nutricional se consolida como una herramienta indispensable en la promoción de decisiones alimentarias informadas, impactando tanto en la salud pública como en el diseño y comercialización de productos alimenticios. Los hallazgos evidencian que, aunque este sistema proporciona información crítica sobre los alimentos, su efectividad depende en gran medida de la educación y alfabetización nutricional de los consumidores.

La integración de enfoques transdisciplinarios, que consideren aspectos regulatorios, tecnológicos y sociales, se presenta

como una estrategia clave para superar las barreras actuales en su implementación. Esto asegura que la información ofrecida no solo sea científicamente respaldada y comprensible, sino también accesible para diversos grupos demográficos.

Asimismo, se resalta que los avances en el diseño de alimentos y la implementación de etiquetados claros, como los sistemas frontales con códigos de colores, tienen el potencial de guiar elecciones alimentarias más saludables y fomentar cambios en los patrones de consumo. Sin embargo, la falta de estandarización global y las discrepancias en el cumplimiento de normativas representan desafíos significativos que deben abordarse mediante investigaciones continuas y una colaboración estrecha entre sectores regulatorios, académicos e industriales. Este enfoque permitirá optimizar las regulaciones y garantizar una representación fiel y confiable de los valores nutricionales en los productos.

Finalmente, la innovación tecnológica, como el uso de inteligencia artificial y realidad aumentada, representa una oportunidad prometedora para personalizar el etiquetado nutricional y mejorar la experiencia del consumidor. No obstante, su adopción debe ser evaluada cuidadosamente para garantizar la equidad y accesibilidad en todos los contextos socioculturales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Pontificia Universidad Javeriana Cali por su apoyo en el desarrollo de esta investigación que es parte del Programa de Investigación e Innovación en Alimentación y Nutrición (PInAN) N.20065.

Referencias

Al-Jawaldeh, A., Rayner, M., Julia, C., Elmadfa, I., Hammerich, A., y McColl, K. (2020). Improving Nutrition Information in the Eastern

- Mediterranean Region: Implementation of Front-of-Pack Nutrition Labelling. *Nutrients*, 12(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu12020330>
- Andrews, J. C., Lin, C.-T. J., Levy, A. S., y Lo, S. (2018). Consumer Research Needs from the Food and Drug Administration on Front-of-Package Nutritional Labeling. *Journal of Public Policy & Marketing*, 33(1), 10–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1509/jppm.33.1.10>
- Anisha, N., Divya, M., y Manivannan, A. S. (2020). *Marketing Implications of Nutrition Food Labels on Consumer's Purchase Behaviour* First Pan IIT International Management Conference, Roorkee, India.
- Barahona, N., Otero, C., Otero, S., y Kim, J. (2020). Equilibrium Effects of Food Labeling Policies. *Econometrica*, 91(3), 839–868. <https://doi.org/https://doi.org/10.2139/ssrn.3698473>
- Barros, L. d. S., Rêgo, M. d. C., Montel, D. d. C., Santos, G. d. F. F. d. S., y Paiva, T. V. (2020). Nutritional Food Labeling: Use and Understanding by Students. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 90688–90699. <https://doi.org/https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-469>
- Batat, W. (2021). *Design Thinking for Food Well-Being*. Springer Nature. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-54296-2>
- Batista, M. F., de Carvalho-Ferreira, J. P., Thimoteo da Cunha, D., y De Rosso, V. V. (2022). Front-of-package nutrition labeling as a driver for healthier food choices: Lessons learned and future perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 535–586. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.13085>
- Becher, S. I., Gao, H., Harrison, A., y Lai, J. C. (2019). Hungry for change: the law and policy of food health labeling. *Wake Forest Law Review*, 54, 1305–1360.
- Berryman, P. (2014). *Advances in food and beverage labelling : information and regulations*. Woodhead Pub. Elsevier.
- Bhargava, M., Seyedhamzeh, S., Nedjat, S., Shakibazadeh, E., Doustmohammadian, A., Hosseini, H., y Dorosty Motlagh, A. (2020). Nutrition labels' strengths & weaknesses and strategies for improving their use in Iran: A qualitative study. *Plos One*, 15(10). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241395>
- Bhawra, J., Kirkpatrick, S. I., Hall, M. G., Vanderlee, L., Thrasher, J. F., y Hammond, D. (2022). Correlates of Self-Reported and Functional Understanding of Nutrition Labels across 5 Countries in the 2018 International Food Policy Study. *The Journal of Nutrition*, 152, 13S–24S. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/nxac018>
- Campo, L. M., y Ramirez-Navas, J. S. (2021). Antioxidant capacity in ice cream and dairy products. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 23–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.3982>
- Campos, S., Doxey, J., y Hammond, D. (2011). Nutrition labels on pre-packaged foods: a systematic review. *Public Health Nutrition*, 14(8), 1496–1506. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/s1368980010003290>
- Castagnoli, J. d. L., Santos, E. F. d., y Novello, D. (2023). How Interdisciplinary Interventions Can Improve the Educational Process of Children Regarding the Nutritional Labeling of Foods. *Foods*, 12(23), 4290. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods12234290>
- Castronuovo, L., Tiscornia, M. V., Guarnieri, L., Martins, E., Gomes, F. S., y Allemandi, L. (2022). Efficacy of different front-of-package labeling systems in changing purchase intention and product healthfulness perception for food products in Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26633/rpsp.2022.137>
- Christoph, M. J., An, R., y Ellison, B. (2015). Correlates of nutrition label use among college students and young adults: a review. *Public Health Nutrition*, 19(12), 2135–2148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/s1368980015003183>
- Cilla, A., López-García, G., Blanco-Morales, V., Barberá, R., y Alegria, A. (2020). Labeling and nutritional education. En F. J. Barba, P. Putnik, y D. B. Kovačević (Eds.), *Agri-Food Industry Strategies for Healthy Diets and Sustainability* (pp. 197–217). Academic Press, ELSEVIER. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817226-1.00008-4>
- CISAN. (2016). *Lineamiento Nacional de Educación Alimentaria y Nutricional*. Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Prosperidad Social, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Salud y Protección Social, Asociación Colombiana de Facultades de Nutrición y Dietética – ACOFANUD, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.
- Clark, K. M., James, A. P., Ip, H. I., Dunlop, E., Cunningham, J., Adorno, P., Dabos, G., y Black, L. J. (2023). Comparison of measured and declared vitamin D concentrations in Australian fortified foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104922>
- Codex Alimentarius. (2009). *Codex Alimentarius: General standard for the labelling of prepackaged foods* (CODEX STAN 1-1985) (5 ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization FAO & WHO. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

- Coelho, D., He, H., Baduk, M., y Mueller, K. (2020). *Eating with a Conscience: Toward a Visual and Contextual Nutrition Facts Label* VisComm: Workshop on Visualization for Communication, NY, USA.
- Comber, R., Ganglbauer, E., Choi, J. H.-j., Hoonhout, J., Rogers, Y., O'Hara, K., y Maitland, J. (2012). *Food and interaction design CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Austin Texas USA.
- Côté, M., y Lamarche, B. (2022). Artificial intelligence in nutrition research: perspectives on current and future applications. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 47(1), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/apnm-2021-0448>
- Crockett, R. A., King, S. E., Marteau, T. M., Prevost, A. T., Bignardi, G., Roberts, N. W., Stubbs, B., Hollands, G. J., y Jebb, S. A. (2018). Nutritional labelling for healthier food or non-alcoholic drink purchasing and consumption. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2021(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/14651858.CD009315.pub2>
- Crocker, H., Packer, J., Russell, S. J., Stansfield, C., y Viner, R. M. (2020). Front of pack nutritional labelling schemes: a systematic review and meta-analysis of recent evidence relating to objectively measured consumption and purchasing. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 33(4), 518–537. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jhn.12758>
- de Menezes, B. F., y do Carmo, M. M. R. (2022). A importância da rotulagem alimentar e nutricional para a autonomia alimentar do consumidor / The importance of food and nutrition labeling for consumer food autonomy. *Brazilian Journal of Development*, 8(4), 23114–23116. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n4-024>
- Dornblaser, L. (2017). Why Understanding Trends Is Important to Product Success. En J. H. Beckley, L. J. Herzog, y M. M. Foley (Eds.), *Accelerating New Food Product Design and Development* (pp. 29–46). John Wiley & Sons Ltd & the Institute of Food Technologists <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/9781119149330.ch3>
- Draper, A. K., Adamson, A. J., Clegg, S., Malam, S., Rigg, M., y Duncan, S. (2011). Front-of-pack nutrition labelling: are multiple formats a problem for consumers? *The European Journal of Public Health*, 23(3), 517–521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/eurpub/ckr144>
- Drichoutis, A. C., Nayga, J. R. M., y Lazaridis, P. (2009). Can Nutritional Label Use Influence Body Weight Outcomes? *Kyklos*, 62(4), 500–525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-6435.2009.00448.x>
- Dumoitier, A., Abbo, V., Neuhofer, Z. T., y McFadden, B. R. (2019). A review of nutrition labeling and food choice in the United States. *Obesity Science & Practice*, 5(6), 581–591. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/osp4.374>
- Dunford, E., Trevena, H., Goodsell, C., Ng, K. H., Webster, J., Millis, A., Goldstein, S., Hugueniot, O., y Neal, B. (2014). FoodSwitch: A Mobile Phone App to Enable Consumers to Make Healthier Food Choices and Crowdsourcing of National Food Composition Data. *JMIR mHealth and uHealth*, 2(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/mhealth.3230>
- FAO, OPS, y UNICEF. (2022). *Etiquetado Nutricional en la Parte Frontal del Envase en América Latina y el Caribe. Nota Orientadora*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Panamericana de la Salud, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc1545es>
- Feldman, C., Murray, D. W., Chavarria, S., y Zhao, H. (2015). Menu label accuracy at a university's foodservices. An exploratory recipe nutrition analysis. *Appetite*, 92, 24–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.05.001>
- Feteira-Santos, R., Alarcão, V., Santos, O., Virgolino, A., Fernandes, J., Vieira, C. P., João Gregório, M., Nogueira, P., Costa, A., y Graça, P. (2021). Looking Ahead: Health Impact Assessment of Front-of-Pack Nutrition Labelling Schema as a Public Health Measure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18041422>
- Finkelstein, E. A., Li, W., Melo, G., Strombotne, K., y Zhen, C. (2018). Identifying the effect of shelf nutrition labels on consumer purchases: results of a natural experiment and consumer survey. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 107(4), 647–651. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy014>
- Ganderats-Fuentes, M., y Morgan, S. (2023). Front-of-Package Nutrition Labeling and Its Impact on Food Industry Practices: A Systematic Review of the Evidence. *Nutrients*, 15(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nui15112630>
- Golan, E., Kuchler, F., Mitchell, L., Greene, C., y Jessup, A. (2001). Economics of Food Labeling. *Journal of Consumer Policy*, 24(2), 117–184. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1023/a:1012272504846>
- Hammond, D., Lillico, H. G., Vanderlee, L., White, C. M., y Reid, J. L. (2015). The Impact of Nutrition Labeling on Menus: A Naturalistic Cohort Study. *American Journal of Health Behavior*, 39(4), 540–548. <https://doi.org/https://doi.org/10.5993/ajhb.39.4.10>
- Helfer, P., y Shultz, T. R. (2014). The effects of nutrition labeling on consumer food choice: a psychological experiment and computational model. *Annals of the New York Academy of Sciences*,

- 1331(1), 174-185. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nyas.12461>
- Hersey, J. C., Wohlgenant, K. C., Arsenault, J. E., Kosa, K. M., y Muth, M. K. (2013). Effects of front-of-package and shelf nutrition labeling systems on consumers. *Nutrition Reviews*, 71(1), 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nure.12000>
- Hieke, S., y Taylor, C. R. (2011). A Critical Review of the Literature on Nutritional Labeling. *Journal of Consumer Affairs*, 46(1), 120-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-6606.2011.01219.x>
- Illner, A. K., Freisling, H., Boeing, H., Huybrechts, I., Crispim, S. P., y Slimani, N. (2012). Review and evaluation of innovative technologies for measuring diet in nutritional epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, 41(4), 1187-1203. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1093/ije/dys105>
- Jacquier, C., Bonthoux, F., Baciú, M., y Ruffieux, B. (2012). Improving the effectiveness of nutritional information policies: assessment of unconscious pleasure mechanisms involved in food-choice decisions. *Nutrition Reviews*, 70(2), 118-131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00447.x>
- Jain, P., y Djasasbi, S. (2019). Transforming User Experience of Nutrition Facts Label - An Exploratory Service Innovation Study. En F. F.-H. Nah y K. Siau (Eds.), *HCI in Business, Government and Organizations. eCommerce and Consumer Behavior* (pp. 225-237). Springer Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-22335-9_15
- Jo, H. S., y Jung, S. M. (2019). Evaluation of Food Labeling Policy in Korea: Analyzing the Community Health Survey 2014-2017. *Journal of Korean Medical Science*, 34(32). <https://doi.org/https://doi.org/10.3346/jkms.2019.34.e211>
- Juodziukynaite, E. (2021). *Design Contribution to Consumers Knowledge Regarding Healthier and More Sustainable Nutritional Choices at the Grocery Store DS 110: Proceedings of the 23rd International Conference on Engineering and Product Design Education (EPDE 2021)*, Denmark.
- Kasapila, W., y Shaarani, S. (2011). Harmonization of food labeling norms in Southeast Asia: benefits, challenges and relevance. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 20(1), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.6133/apjcn.2011.20.1.01>
- Kelly, M., McCann, J. R., Chapple, C. I., Woods, J., y Russell, C. G. (2024). Visual communication design: a neglected factor in nutrition promotion via packaged food labels. *Frontiers in Public Health*, 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1296704>
- Khandelwal, A., y Yadav, R. (2020). A Review on the Effects of Nutritional Labelling on Consumer Buying Behaviour. *SSRN Electronic Journal*, 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.2139/ssrn.3815501>
- Kim, J. Y., Kweon, K. H., Kim, M. J., Park, E.-C., Jang, S.-Y., Kim, W., y Han, K.-T. (2016). Is nutritional labeling associated with individual health? The effects of labeling-based awareness on dyslipidemia risk in a South Korean population. *Nutrition Journal*, 15(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12937-016-0200-y>
- Knights, V., Kolak, M., Markovikj, G., y Kljusurić, J. G. (2023). Modeling and Optimization with Artificial Intelligence in Nutrition. *Applied Sciences*, 13(13). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app13137835>
- Koen, N., Blaauw, R., y Wentzel-Viljoen, E. (2016). Food and nutrition labelling: the past, present and the way forward. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 29(1), 13-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/16070658.2016.1215876>
- Koenigstorfer, J., Groeppel-Klein, A., y Kamm, F. (2014). Healthful Food Decision Making in Response to Traffic Light Color-Coded Nutrition Labeling. *Journal of Public Policy & Marketing*, 33(1), 65-77. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1509/jppm.12.091>
- Kraemer, M. V. S., Fernandes, A. C., Chaddad, M. C. C., Uggioni, P. L., Bernardo, G. L., y Proença, R. P. C. (2023). Is the List of Ingredients a Source of Nutrition and Health Information in Food Labeling? A Scoping Review. *Nutrients*, 15(21). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu15214513>
- Kulyukin, V., Zaman, T., y Andhavarapu, S. K. (2014). Effective nutrition label use on smartphones. *Proceedings on the International Conference on Internet Computing (ICOMP)*, Las Vegas, Nevada, USA.
- Lachat, C., y Tseng, M. (2013). A wake-up call for nutrition labelling. *Public Health Nutrition*, 16(3), 381-382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S1368980012005666>
- Lagunes-Navarro, P. E. (2021). México y la seguridad alimentaria: el uso de las TIC para un etiquetado digital en alimentos. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 1(158). <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ij.24484873e.2020.158.15635>
- Latino, M. E., Menegoli, M., y Corallo, A. (2019). Food label design - exploring the literature. *British Food Journal*, 122(3), 766-778. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/bfj-06-2019-0452>
- Lee, H.-A., Huang, T.-T., Yen, L.-H., Wu, P.-H., Chen, K.-W., Kung, H.-H., Liu, C.-Y., y Hsu, C.-Y. (2022). Precision Nutrient Management Using Artificial Intelligence Based on Digital Data Collection Framework. *Applied Sciences*, 12(9). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app12094167>

- Lewis, K. D., y Burton-Freeman, B. M. (2010). The Role of Innovation and Technology in Meeting Individual Nutritional Needs. *The Journal of Nutrition*, 140(2), 426S-436S. <https://doi.org/https://doi.org/10.3945/jn.109.114710>
- Liu, F., Li, M., Wang, Q., Yan, J., Han, S., Ma, C., Ma, P., Liu, X., y McClements, D. J. (2022). Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6423-6444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033683>
- López-Ramírez, M. P., y Celis-Rozo, E. E. (2024a). Evolución del Etiquetado Nutricional y Frontal: Hitos históricos en Colombia y el mundo. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11(2), 1-31. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23850/24220582.5994>
- López-Ramírez, M. P., y Celis-Rozo, E. E. (2024b). *Manual etiquetado nutricional y frontal de alimentos envasados o empacados para consumo humano* Sello Editorial Javeriano.
- Lowe, B., de Souza-Monteiro, D. M., y Fraser, I. (2013). Nutritional labelling information: Utilisation of new technologies. *Journal of Marketing Management*, 29(11-12), 1337-1366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/0267257x.2013.798673>
- Mallet, A. C. T., De Oliveira, R. V. d. A., De Oliveira, C. F., Saron, M. L. G., y Costa, L. M. A. S. (2018). Adequação das rotulagens alimentícias frente à legislação vigente. *Cadernos UniFOA*, 12(35), 101-110. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.47385/cadunifoa.v12.n35.432>
- Mandle, J., Tugendhaft, A., Michalow, J., y Hofman, K. (2015). Nutrition labelling: a review of research on consumer and industry response in the global South. *Global Health Action*, 8(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.3402/gha.v8.25912>
- Mansfield, E., Wahba, R., y De Grandpré, E. (2020). Integrating a Health Literacy Lens into Nutrition Labelling Policy in Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph17114130>
- Marcotrigiano, V., Lanzilotti, C., Rondinone, D., De Giglio, O., Caggiano, G., Diella, G., Orsi, G., Montagna, M., y Napoli, C. (2018). Food labelling: regulations and public health implications. *Annali di Igiene*, 30(3), 220-228. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7416/ai.2018.2213>
- Marino, C. J., y Mahan, R. P. (2016). Configural Displays Can Improve Nutrition-Related Decisions: An Application of the Proximity Compatibility Principle. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 47(1), 121-130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1518/0018720053653758>
- Martinez, S. W. (2013). *Introduction of New Food Products with Voluntary Health- and Nutrition-Related Claims, 1989-2010* (Vol. 108). Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://doi.org/https://doi.org/10.2139/ssrn.2266446>
- Martini, D., Del Bo', C., y Cavaliere, A. (2019). Current legislation in the European context. En D. Bagchi (Ed.), *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World* (pp. 253-265). Academic Press, ELSEVIER. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-816467-9.00018-6>
- McClements, D. J. (2020). Future foods: a manifesto for research priorities in structural design of foods. *Food & Function*, 11(3), 1933-1945. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/c9fo02076d>
- Medina-Molina, C., y Alonso-Hernando, A. (2022). Nutritional Labelling and Purchase Intention. *International Journal of Applied Behavioral Economics*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.4018/ijabe.311050>
- Mhurchu, C., Eyles, H., y Choi, Y.-H. (2017). Effects of a Voluntary Front-of-Pack Nutrition Labelling System on Packaged Food Reformulation: The Health Star Rating System in New Zealand. *Nutrients*, 9(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu9080918>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (1996). *Decreto 547 del 19 de Marzo de 1996, expedición del registro Sanitario y a las condiciones sanitarias de producción, empaque y comercialización, al control de la sal para consumo humano y se dictan otras disposiciones sobre la materia*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%202492de%202022.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Resolución 810 del 16 de Junio de 2021. Reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados o empacados para consumo humano*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20810de%202021.pdf
- Moore, S. G., Donnelly, J., Jones, S., y Cade, J. E. (2016). P50 Nutrition label information: a systematic literature review of interventions targeting improved consumer understanding and use. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 70, A75.72-A76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1136/jech-2016-208064.149>
- Moore, S. G., Donnelly, J. K., Jones, S., y Cade, J. E. (2018). Effect of Educational Interventions on Understanding and Use of Nutrition Labels: A Systematic Review. *Nutrients*, 10(10). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu10101432>
- Nestle, M. (2018). Public Health Implications of Front-of-Package Labels. *American Journal of*

- Public Health*, 108(3), 320–321. <https://doi.org/https://doi.org/10.2105/ajph.2017.304285>
- Nieto, C., Alcalde-Rabanal, J., Mena, C., Carriedo, Á., y Barquera, S. (2020). Perception of the use and understanding of nutrition labels among different socioeconomic groups in Mexico: a qualitative study. *Salud Pública de México*, 62(3, may-jun). <https://doi.org/https://doi.org/10.21149/10793>
- Nikolaeva, M. A., y Manko, E. G. (2022). Traffic light food labeling. *Tovaroved prodovolstvennykh tovarov (Commodity specialist of food products)*(12), 782–791. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33920/igt-01-2212-04>
- Orozco, F., Ochoa, D., Muquinche, M., Padro, M., y Melby, C. L. (2016). Awareness, Comprehension, and Use of Newly-Mandated Nutrition Labels Among Mestiza and Indigenous Ecuadorian Women in the Central Andes Region of Ecuador. *Food and Nutrition Bulletin*, 38(1), 37–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/03795721166684730>
- Parasecoli, F. (2022). *Gastronativism : food, identity, politics*. Columbia University Press.
- Parlamento Europeo. (2011). *Reglamento (UE) no 1169/2011. que se modifican los Reglamentos (CE) n o 1924/2006 y (CE) n o 1925/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan la Directiva 87/250/CEE de la Comisión, la Directiva 90/496/CEE del Consejo, la Directiva 1999/10/CE de la Comisión, la Directiva 2000/13/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2002/67/CE, y 2008/5/CE de la Comisión, y el Reglamento (CE) n o 608/2004 de la Comisión*. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/1169/2018-01-01>
- Pereira, R. (2010). Understanding the Maze of Nutrition Symbols and Nutrition Labeling Systems. *Diabetes Spectrum*, 23(1), 57–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.2337/diaspect.23.1.57>
- Persoskie, A., Hennessy, E., y Nelson, W. L. (2017). US Consumers' Understanding of Nutrition Labels in 2013: The Importance of Health Literacy. *Preventing Chronic Disease*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.5888/pcd14.170066>
- Perumal, K., Balakrishnan, B., y Idris, M. Z. (2022). Food Labelling from Consumers' Perspectives: A Review. *Muallim Journal of Social Science and Humanities*, 6(3), 80–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.33306/mjssh/206>
- Pineda Sotoa, V. I. (2019). The Pros and Cons of the Implementation of Octagonal Labeling in Peru. *Current Research in Diabetes & Obesity Journal*, 11(5). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19080/crdoj.2019.11.555821>
- Pinheiro Fernandes, A. C., Quintiliano Scarpelli Dourado, D., Gomes Ramires, T., y Aráneda Flores, J. A. (2021). Impact of front-of-pack labeling on food purchase pattern in Chile. *Nutrición Hospitalaria*. <https://doi.org/https://doi.org/10.20960/nh.03311>
- Prates, S. M. S., Reis, I. A., Rojas, C. F. U., Spinillo, C. G., y Anastácio, L. R. (2022). Influence of nutrition claims on different models of front-of-package nutritional labeling in supposedly healthy foods: Impact on the understanding of nutritional information, healthfulness perception, and purchase intention of Brazilian consumers. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnut.2022.921065>
- Pratt, N. S., Ellison, B. D., Benjamin, A. S., y Nakamura, M. T. (2016). Improvements in recall and food choices using a graphical method to deliver information of select nutrients. *Nutrition Research*, 36(1), 44–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nutres.2015.10.009>
- Quirós-Villegas, D. (2017). Evolución de la información y comunicación nutricional en alimentos y bebidas en los últimos 50 años. *Nutrición Hospitalaria*, 34(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.20960/nh.1566>
- Raja-M, A. S., Anisha, N., y Divya. (2019). Nutrition Food Labels on Consumers Purchase Behaviour: A Triangulation Approach. *The Journal of Social Sciences Research*, 5(2), 241–263. <https://doi.org/https://doi.org/10.32861/jssr.52.241.263>
- Ramírez-Navas, J. S., Betancourt-Botero, S. P., Montoya-Devia, L. M., y López-Ramírez, M. P. (2024). Diseño de alimentos: de la reflexión al proceso de formulación. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11(1), 57–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.6221>
- Ramírez-Navas, J. S., Jaramillo-López, F., y López-Parra, L. L. (2023). Las disciplinas ómicas en la ciencia de los alimentos. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.5694>
- Ramírez-Navas, J. S., Rojas-Renjifo, K., Cardenas-Nieto, J. D., y Sánchez Mejía, M. (2020). Structuration of a definition for a Natural Ingredients prototype. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 10–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.2711>
- Ramírez-Navas, J. S., Rojas-Renjifo, K., Ramírez-Guzmán, S. M., y Jaramillo-López, F. (2024). Un viaje histórico a través del etiquetado nutricional. *La Alimentación Latinoamericana*, 372(1).
- Reyes, M., Bablani, L., Ni Mhurchu, C., Neal, B., Skeels, C. L., Staub, K. E., y Blakely, T. (2020). The impact of voluntary front-of-pack nutrition labelling on packaged food reformulation: A difference-in-differences analysis of the Australasian Health Star Rating scheme. *PLOS Medicine*, 17(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003427>

- Rimpeekool, W., Banwell, C., Seubsman, S.-a., Kirk, M., Yiengprugsawan, V., y Sleigh, A. (2015). "I rarely read the label": Factors that Influence Thai Consumer Responses to Nutrition Labels. *Global Journal of Health Science*, 8(1). <https://doi.org/10.5539/gjhs.v8n1p21>
- Rivera-Valdivia, K. C. (2022). Aplicación De La Inteligencia Artificial En La Nutrición Personalizada. *Revista de Investigaciones*, 11(4), 265-277. <https://doi.org/10.26788/ri.v11i4.3990>
- Roberto, C. A., y Khandpur, N. (2014). Improving the design of nutrition labels to promote healthier food choices and reasonable portion sizes. *International Journal of Obesity*, 38(S1), S25-S33. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.86>
- Roberto, C. A., Ng, S. W., Ganderats-Fuentes, M., Hammond, D., Barquera, S., Jauregui, A., y Taillie, L. S. (2021). The Influence of Front-of-Package Nutrition Labeling on Consumer Behavior and Product Reformulation. *Annual Review of Nutrition*, 41(1), 529-550. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-111120-094932>
- Rudd, J. (2009). Aiding Consumer Nutrition Decisions with the Simple Graphic Label Format. *Home Economics Research Journal*, 14(3), 342-346. <https://doi.org/10.1177/1077727x8601400308>
- Sacks, G., Rayner, M., y Swinburn, B. (2009). Impact of front-of-pack 'traffic-light' nutrition labelling on consumer food purchases in the UK. *Health Promotion International*, 24(4), 344-352. <https://doi.org/10.1093/heapro/dap032>
- Scherr, R. E., Laugero, K. D., Graham, D. J., Cunningham, B. T., Jahns, L., Lora, K. R., Reicks, M., y Mobley, A. R. (2017). Innovative Techniques for Evaluating Behavioral Nutrition Interventions. *Advances in Nutrition*, 8(1), 113-125. <https://doi.org/10.3945/an.116.013862>
- Schneeman, B. (2015). Science-Based Regulatory and Policy Considerations in Nutrition. *Advances in Nutrition*, 6(3), 361S-367S. <https://doi.org/10.3945/an.114.007013>
- Schneemann, Barbara O. (2020). Nutrition Labeling for Foods: Which Approaches Are Useful? En H. K. Biesalski y H. K. Biesalski (Eds.), *Hidden Hunger and the Transformation of Food Systems* (pp. 166-175). S. Karger AG. <https://doi.org/10.1159/000507487>
- Scott, K. (2023). Nutritional labeling, communication design, and relevance. *Frontiers in Communication*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2023.1125575>
- Sharma, S. K. R., y Gaur, S. (2024). Optimizing Nutritional Outcomes: The Role of AI in Personalized Diet Planning. *International Journal for Research Publication and Seminar*, 15(2), 107-116. <https://doi.org/10.36676/jrps.v15.i2.15>
- Sharma, T. (2024). Artificial Intelligence in Nutrition: Revolutionary Dietary Research. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 08(05), 1-5. <https://doi.org/10.55041/ijserem32799>
- Sierra-Tobón, L. M. (2021). Etiquetado nutricional frontal y su impacto en la salud pública. Consideraciones bioéticas. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 4(3), 26-34. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.35454/rncm.v4n3.214>
- Su, D., Zhou, J., Jackson, H. L., Soliman, G. A., Huang, T. T. K., y Yaroch, A. L. (2015). A Sex-Specific Analysis of Nutrition Label Use and Health, Douglas County, Nebraska, 2013. *Preventing Chronic Disease*, 12. <https://doi.org/10.5888/pcd12.150167>
- Tahir, P., Budisetyowati, D. A., Purwanti, A., y Garunja, E. (2023). Safeguarding consumer rights: enhancing legal protection against unlabeled food products. *Diponegoro Law Review*, 8(1), 59-75.
- Taylor, C. L., y Wilkening, V. L. (2008). How the Nutrition Food Label Was Developed, Part 1: The Nutrition Facts Panel. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(3), 437-442. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.12.010>
- Temple, N. J., y Fraser, J. (2014). Food labels: A critical assessment. *Nutrition*, 30(3), 257-260. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.06.012>
- Thow, A. M., Jones, A., Hawkes, C., Ali, I., y Labonté, R. (2017). Nutrition labelling is a trade policy issue: lessons from an analysis of specific trade concerns at the World Trade Organization. *Health Promotion International*, 34(4), 561-571. <https://doi.org/10.1093/heapro/daw109>
- Traitler, H., Coleman, B., y Hofmann, K. (2015). *Food Industry Design, Technology and Innovation*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118823194>
- Trejo-Osti, L. E., Ramírez-Moreno, E., y Ruvalcaba-Ledezma, J. C. (2021). Efecto del etiquetado frontal de advertencia de alimentos y bebidas. La experiencia de otros países de América Latina. *Journal of Negative & No Positive Results*, 6(7), 898-990. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.4176>
- Turcanu, D., y Siminiuc, R. (2023). Front-End Nutrition Labeling and Eco-Labeling Models for Public Health Promotion. *Journal of Social Sciences*, 6(3), 77-86. [https://doi.org/10.52326/jss.utm.2023.6\(3\).06](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2023.6(3).06)
- Urquiaga, I., Lamarca, M., Jiménez, P., Echeverría, G., y Leighton, F. (2014). Podemos confiar en el

etiquetado nutricional de los alimentos en Chile. *Revista médica de Chile*, 142(6), 775-781. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872014000600012>

Urquizar Rojas, C. F., y Galvão Spinillo, C. (2021). Avaliação de advertências: Contribuições do design da informação para avaliação de eficácia comunicacional de rotulagem nutricional frontal. *InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação*, 18(1), 1-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.51358/id.v18i1.877>

Wills, J. M., Schmidt, D. B., Pillo-Blocka, F., y Cairns, G. (2009). Exploring global consumer attitudes toward nutrition information on food labels. *Nutrition Reviews*, 67, S102-S106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00170.x>

Wimer, B. L., Szymanski, A., y Metoyer, R. A. (2024). *Beyond Static Labels: Unpacking Nutrition Comprehension in the Digital Age* Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu HI USA.

Yana-Salluca, M., Adco-Valeriano, D. Y., Alanoca-Gutiérrez, R., y Adco-Valeriano, H. (2022). Marketing sensorial y su incidencia en la toma de decisiones de los consumidores. *Revista Venezolana de Gerencia*, 27(Especial 8), 1263-1279. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.52080/rvgluz.27.8.34>

Efecto de tratamientos térmicos por inmersión en características fisicoquímicas de dátil cv. Mejhoul durante el almacenamiento en poscosecha

Effect of thermal immersion treatments on physicochemical characteristics of date cv. Mejhoul during postharvest storage

Anabel Geronimo-Cruz^a anabel.geronimo@uabc.edu.mx; Raúl Enrique Valle-Gough^a raul.valle@uabc.edu.mx;
Fidel Núñez-Ramírez^a fidel.nuez@uabc.edu.mx; Daniel González-Mendoza^a danielg@uabc.edu.mx
Olivia Tzintzun-Camacho^a otzintzun@uabc.edu.mx; René Garraña-Hernández^b renegh10@hotmail.com
Blanca Yesenia Samaniego-Gómez^{a*} samaniego.blanca@uabc.edu.mx

^aGrupo de Investigación Cuerpo Académico de Fisiología y Ambiente en Zonas Áridas (CA-UABC-349). Universidad Autónoma de Baja California. Av. Alvaro Obregón s/n, Nueva, 21100 Mexicali, B.C., México.

^bConsejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación. Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Conkal. Calle 10 S/N, 97345 Mérida, Yuc., México.

*Autor por correspondencia: samaniego.blanca@uabc.edu.mx

Recibido: 08/08/2024 Aceptado: 12/12/2024

Citar, APA: Geronimo-Cruz, A., Valle-Gough, R. E., Núñez-Ramírez, F., González-Mendoza, D., Tzintzun-Camacho, O., Garraña-Hernández, R., y Samaniego-Gómez, B. Y. (2024). Efecto de tratamientos térmicos por inmersión en características fisicoquímicas de dátil cv. Mejhoul durante el almacenamiento en poscosecha. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 133–147. <https://doi.org/10.23850/24220582.6500>

Resumen En etapa poscosecha, los dátiles obtenidos de la palma datilera sufren alteraciones que disminuyen su calidad alcanzando pérdidas de 20 % a 30 %. Los tratamientos térmicos (combinación de tiempo y temperatura) se han empleado para el manejo poscosecha de dátiles. Nuestro objetivo fue determinar el efecto de tratamientos térmicos en características fisicoquímicas poscosecha en dátil cv. Mejhoul. Se evaluaron 5 tratamientos térmicos (TT): (50 °C × 1 min, 50 °C × 5 min, 50 °C × 10 min, 60 °C × 1 min, 60 °C × 5 min, 60 °C × 10 min), y sus variables como: temperatura (T: 50 °C, 60 °C), tiempo de inmersión (TI: 1, 5, 10 min), y tiempos de almacenamiento (TA: 1, 15 días) sobre parámetros fisicoquímicos (sólidos solubles totales, firmeza, humedad del fruto, variación de peso y tamaño) de dátiles cv Mejhoul, las medias se analizaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados mostraron que los tratamientos influyeron de forma significativa en el contenido de humedad del fruto, variación de peso y volumen, con ganancia de peso (7,9 %) en frutos tratados a 60 °C × 1 min, con un 1 día en almacenamiento. Sin embargo, a los 15 días se observaron diferencias significativas en el tamaño del fruto con los TT = 60 °C × 1 min (-0,1 %) y 60 °C × 5 min (-0,5 %), con una menor variación en el tamaño del fruto. Así mismo, los TT de 50 °C × 1 min, 50 °C × 5 min y 60 °C × 1 min mostraron contenidos de humedad en fruto a los 15 días de almacenamiento de 24,9 %, 25,2 % y 25,6 % respectivamente. El tratamiento térmico de 50 °C × 1 min mostró efecto negativo en los parámetros ganancia de peso, volumen y sólidos solubles totales. Los parámetros TA, TI y T evidenciaron significancia estadística de 0,0001 para TA, 0,0081 para TI y 0,0007 para T. Se observó que los parámetros antes mencionados actuaron en forma sinérgica en las variables de firmeza, peso y sólidos solubles totales. Se concluye que el tratamiento de 60 °C × 1 min, género menor pérdida de tamaño, menor humedad en fruto, mayor firmeza y mayor contenido en sólidos solubles totales a 15 d de almacenamiento a una temperatura de 20 °C.

Palabras clave: Calidad, gestión postcosecha, palma datilera, *Phoenix dactylifera* L, temperatura.

Abstract In the postharvest stage, dates obtained from date palms suffer alterations that reduce their quality, reaching losses of 20 % to 30 %. Heat treatments (combination of time and temperature) have been used for the postharvest handling of dates. Our objective was to determine the effect of heat treatments on postharvest physicochemical characteristics of date cv. Mejhoul. Five heat treatments (TT) were evaluated: (50 °C × 1 min, 50 °C × 5 min, 50 °C × 10 min, 60 °C × 1 min, 60 °C × 5 min, 60 °C × 10 min), and their variables such as: temperature (T: 50 °C, 60 °C), immersion time (TI: 1, 5, 10 min), and storage times (TA: 1, 15 days) on physicochemical parameters (total soluble solids, firmness, fruit moisture, weight and size variation) of dates cv Mejhoul, means were analyzed by Tukey's test ($p < 0.05$). The results showed that the treatments significantly influenced fruit moisture content, weight and volume variation, with weight gain (7.9 %) in fruits treated at 60 °C × 1 min, with 1 day in storage. However, at 15 days, significant differences in fruit size were observed with TT = 60 °C × 1 min (-0.1 %) and 60 °C × 5 min (-0.5 %), with less variation in fruit size. Likewise, the TT of 50 °C × 1 min, 50 °C × 5 min and 60 °C × 1 min showed fruit moisture contents at 15 days of storage of 24.9 %, 25.2 % and 25.6 %, respectively. The 50 °C × 1 min heat treatment showed a negative effect on weight gain, volume and total soluble solids. The TA, TI and T parameters showed statistical significance of 0.0001 for TA, 0.0081 for TI and 0.0007 for T. It was observed that the aforementioned parameters acted synergistically on the variables of firmness, weight and total soluble solids. It was concluded that the 60 °C × 1 min treatment resulted in lower size loss, lower fruit moisture, higher firmness and higher total soluble solids content at 15 d of storage at a temperature of 20 °C.

Keywords: Date palm, *Phoenix dactylifera* L., postharvest management, quality, temperature.

Introducción

El cultivo de palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.) es de gran importancia en regiones de climas cálidos y áridos alrededor del mundo (Tenberg, 2012), debido a que el fruto de dátil aporta beneficios a la salud por su contenido azúcares, fibra, proteínas, minerales vitaminas y compuestos fenólicos (Salomon-Torres et al., 2019). En América, la producción comercial de dátil se da principalmente en Estados Unidos, México y Perú (FAO, 2022). En México, la principal zona productora de *P. dactylifera* se encuentra en el Noroeste del país, siendo la variedad Mejhoul la más cultivada, en los estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur, que en conjunto producen 99 % del total nacional de este cultivo (Salomón-Torres et al., 2017). En el Valle de Mexicali, Baja California, el cultivo mantiene una tendencia de producción creciente, alcanzando un valor de producción de 600 millones de pesos durante 2022, posicionándolo en el 7° lugar de importancia como producto hortofrutícola (SIAP, 2023).

Los dátiles son frutos no climatéricos que generalmente se cosechan en etapas de madurez completas llamadas “Rutab” o suave en español (con un dátil de color marrón claro) y “Tamar” (con un dátil marrón oscuro y suave, semiseco o seco) (Ghnimi et al., 2017). Además, en estado de madurez poseen la mayor concentración de azúcares, son más suaves y presentan un menor contenido de taninos y humedad (Ghnimi et al., 2017; Kader & Awad, 2009). El manejo poscosecha de los dátiles para su venta en fresco implica operaciones de selección, lavado, desinfección, secado, clasificación y envasado para la venta al consumidor final (Sarraf et al., 2021).

Durante el almacenamiento los frutos sufren alteraciones físicas, comúnmente de origen mecánico, que ocurren durante

diversas operaciones en el manejo del fruto causando lesiones que aceleran los procesos de deterioro (Sarraf et al., 2021). Para el dátil, se han reportado entre el 20 y 30 % de pérdidas en etapa poscosecha en la zona productora de San Luis Rio Colorado, Sonora Mexicali y Baja California (Contreras-Espinoza et al., 2023; Blando-Briceño, 2019; Rodríguez-Carmona, 2012). Esta problemática, ha hecho que diversos productores agrupados en el “Sistema Producto Dátil (SIPRODA)” manifestaran la necesidad de generar información local y alternativas de manejo del fruto en etapa durante la fase cultivo y poscosecha (INIFAP, 2023).

Diversos métodos se han empleado para el manejo poscosecha de frutos de dátil destacándose: los tratamientos térmicos (TT), irradiación, microondas, ozono, envasado al vacío y atmósferas modificadas (Ben-Amor et al., 2016; Jemni et al., 2014; Abo-El-Saad et al., 2011; Zouba et al., 2009; Azelmat et al., 2006; Achour et al., 2003).

Algunos estudios se han enfocado en la aplicación de los tratamientos térmicos TT (combinación de temperatura y tiempo) por inmersión en agua caliente en frutos de dátil, mango, higo, manzana, cítricos y aguacate. Este tipo de tratamiento elimina la suciedad pesada, pesticidas y esporas de hongos en productos recién cosechados, mejora la apariencia general del fruto y conservando su calidad (Khalil et al., 2022; Hazbavi et al., 2015; Ben-Amor et al., 2016; Fallik, 2004; Antunes et al., 2003). Sin embargo, estos tratamientos también pueden ocasionar efectos perjudiciales en la calidad, como en el caso de mango donde se reportó una aceleración de la maduración, ablandamiento del fruto y oscurecimiento de la cáscara (Kim et al., 2007). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en evaluar el efecto de tratamientos térmicos en variables fisicoquímicas de frutos de *P. dactylifera* variedad Mejhoul durante su almacenamiento poscosecha a 20 °C.

Materiales y métodos

Sitio experimental

Los frutos de *P. dactylifera* utilizados en los tratamientos térmicos y testigo, se obtuvieron de parcelas de palma datilera del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), ubicada en la colonia Pólvera, Mexicali, Baja California (32 °29'37,6"N 115 °12'46,8"W), cosechados en etapa Tamar en el ciclo de cultivo otoño-invierno 2022.

Materia prima

Los dátiles cosechados, tanto para tratamientos térmicos y el testigo se tomaron en estado Tamar, los cuales presentaban las siguientes características: color marrón oscuro, consistencia suave y bajo contenido de humedad, las cuales son las consideradas ideales. Los frutos de dátil se colectaron manualmente con ayuda de un elevador y posteriormente fueron transportados al laboratorio de poscosecha del ICA-UABC, donde se seleccionaron de acuerdo con la norma NMX-FF-117-SCFI-2012 (Secretaría de Economía, 2012), la cual indica los parámetros de clasificación (tamaño y peso) para frutos de dátil.

Los valores iniciales de peso y tamaño (medida del diámetro polar del fruto, cm) se registraron para su comparación posterior a tratamientos térmicos por inmersión y para clasificarlos de acuerdo a la normativa vigente. Posteriormente, los dátiles se introdujeron en recipientes de plástico para tratamientos térmicos por inmersión subsecuentes.

Aplicación de tratamientos térmicos (TT) por inmersión

Los dátiles fueron tratados por inmersión en agua, a diferentes temperaturas empleando los siguientes tratamientos: 50 °C × 1 min, 50 °C × 5 min, 50 °C × 10 min, 60 °C × 1 min, 60 °C × 5 min, 60 °C × 10 min.

Para lograr dichas temperaturas se emplearon las metodologías propuestas por Ben-Amor *et al.* 2016 y Hazbavi *et al.* 2015, descritas a continuación: en un recipiente de acero inoxidable se calentó agua en una parrilla eléctrica (CORNING PC-620D), se midió la temperatura en el centro del fruto con un termómetro para alimentos (Aleissi TP101) hasta llegar a la temperatura de cada TT, posteriormente se cronometró el tiempo de inmersión. Los frutos se secaron y enfriaron a temperatura ambiente durante 4 h. Los tratamientos testigo consistieron en frutos de dátil en etapa Tamar, los cuales se mantuvieron a temperatura ambiente y sin aplicar tratamientos térmicos por inmersión.

Almacenamiento y evaluaciones

La unidad experimental (UE) estuvo representada por un dátil, el cual se colocó en un recipiente de plástico de tipo cesta para permitir la aeración de los frutos a una temperatura de 20 °C durante 15 d, tanto en tratamientos por inmersión como en los tratamientos testigo.

Las evaluaciones fueron realizadas en el laboratorio de poscosecha del ICA-UABC en frutos con 1 día y 15 días de almacenamiento, a cada UE se le realizaron mediciones de peso (g), tamaño (mm), firmeza (Kilogramos-fuerza, Kgf) y sólidos solubles totales (SST, °Bx) con un total de 14 repeticiones por cada tratamiento de inmersión y el tratamiento testigo.

Evaluación de caracterización fisicoquímica

Los dátiles procedentes de los diferentes TT y los tratamientos testigos (a los cuales no se les aplicó TT), luego de almacenarse a diferentes tiempos: (1 día y 15 días), se les evaluaron cuatro parámetros fisicoquímicos siguiendo las metodologías propuestas por Amorós *et al.*, 2007; Ben-Amor *et al.*, 2016 y AOAC (1980), descritos a continuación:

Análisis de humedad relativa del fruto (HRF).

La medición de esta variable se llevó a cabo en frutos de dátil con el método propuesto por El-Sohaimy y Hafez, (2010), como se expresa en la ecuación 1.

$$\% \text{ Humedad} = (M_i - M_f) / M_i * 100 \quad \text{Eq 1.}$$

% HRF = porcentaje de humedad relativa del fruto;

M_i = Masa inicial;

M_f = Masa final.

La medición de esta variable solo se efectuó en los TT sometidos a 50 °C y 60 °C a los diferentes tiempos de inmersión (1, 5 y 10 min).

Variación de Peso (VP). Se registró el peso de la unidad experimental en g, mediante una balanza analítica (Mettler Toledo AB204). La VP se expresó como pérdida o ganancia de peso en %, respecto al peso inicial mediante la siguiente ecuación 2:

$$\% \text{ VP} = (P_i - P_f) / P_i * 100 \quad \text{Eq 2.}$$

Donde:

VP = variación de peso;

P_i = Peso inicial;

P_f = Peso final.

Variación de Tamaño (VT). Se registró el diámetro polar en cm de cada dátil utilizando un vernier digital (Caliper), la VT se reportó como pérdida o ganancia de tamaño en % respecto del tamaño inicial del fruto mediante la siguiente ecuación 3:

$$\% \text{ VT} = (T_i - T_f) / T_i * 100 \quad \text{Eq 3.}$$

Donde:

VT = variación de tamaño;

T_i = Tamaño inicial;

T_f = Tamaño final.

Firmeza. Se midió en dos lados aleatorios de cada fruto, mediante un texturómetro manual (Chatillon, AMETEK, MT150H) con sonda cilíndrica de 8 mm de diámetro, la penetración de la sonda en la pulpa del fruto fue de 3 mm $\pm$ 1 mm, las mediciones se expresaron en Kgf (Ben-Amor *et al.*, 2016).

SST. Se tomó una muestra de 10 g de la pulpa del fruto y se maceró en mortero con 100 mL de agua destilada, se dejó reposar por 5 minutos, después se filtró y posteriormente se tomó una alícuota de la mezcla para su medición en un refractómetro digital (Reichert AR200) las mediciones se expresaron en ° Bx (AOAC, 1980).

Diseño y análisis estadístico

Los datos procedentes de los TT y el testigo fueron ordenados en un diseño completamente al azar (DCA), la detección de diferencias estadísticas significativas se realizó mediante la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0,05$) de las variables % HRF, % VP, % VT, firmeza y SST mediante el programa estadístico SAS (v.2001).

Se analizó la significancia de los factores durante los TT en frutos de dátil, para el cual se utilizó un DCA con arreglo factorial 2 x 3 x 2. Siendo el factor A la temperatura (T) con dos niveles: 50 °C y 60 °C, el factor B los tiempos de inmersión (TI) con tres niveles: 1 min, 5 min y 10 min; y finalmente el factor C considerando el tiempo de almacenamiento (TA) con dos niveles: 1d y 15 d.

Como UE se empleó un fruto de dátil por cada TT y el testigo (sin TT) a los cuales se les realizó la medición individual de las variables fisicoquímicas, con un total de 12 combinaciones con 14 repeticiones. La significancia de los factores se analizó mediante un ANOVA con la prueba de medias de Tukey ($p < 0,01$, $p < 0,05$) en el programa SAS (v 2001).

Resultados y discusión

Tratamientos térmicos (TT) en función de la humedad relativa

Los frutos de *P. dactylifera* variedad Mejhoul mostraron variaciones morfológicas, donde los dos TT a 60 °C durante 1 min y 10 min incidieron en una apariencia más voluminosa de los dátiles en frutos tratados térmicamente durante el tiempo de almacenamiento de 1 día (Figura 1 d, e), mientras que los dos TT a 50 °C por 1 min y 10 min generaron el efecto contrario

en los frutos evaluados en el mismo periodo de almacenamiento (Figura 1 a, c).

Dicho esto, en este estudio los tratamientos de 50 °C x 1 min, 50 °C x 5 min y 60 °C x 1 min, generaron contenidos de humedad relativa en el fruto de 23,5 %, 24,9 % y 26,5 %, respectivamente (Tabla 1). Estas variaciones en el % de humedad relativa del fruto (HRF) difieren de forma significativa ($p < 0,05$) al compararse el TT de 60 °C x 10 min, el cual tuvo una humedad relativa del 29,9 %.

Figura 1

Frutos de *P. dactylifera* con diferentes tratamientos térmicos con un tiempo de almacenamiento de 1 día: a) 50 °C x 1 min; b) 50 °C x 5 min; c) 50 °C x 10 min; d) 60 °C x 1 min; e) 60 °C x 5 min; f) 60 °C x 10 min



Tabla 1

Comparación del contenido de humedad en frutos de dátil sometidos a diferentes tratamientos térmicos almacenados durante 15 d

Tratamiento	HRF (%)
50 °C x 1 min	23,5 ^a
50 °C x 5 min	24,9 ^a
50 °C x 10 min	26,2 ^{bc}
60 °C x 1 min	25,6 ^a
60 °C x 5 min	28,2 ^{bc}
60 °C x 10 min	29,9 ^c

Nota. HRF: humedad relativa del fruto Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$), con la prueba Tukey.

Las variaciones en la humedad del fruto de dátil cv. Mejhoul, por acción de los tratamientos térmicos por inmersión en agua resulta relevante debido a que el contenido de humedad en el fruto puede determinar su precio de venta, es decir un aumento excesivo en la humedad relativa puede promover alteraciones fisiológicas o el desarrollo de patógenos en algunos casos (Martínez-González *et al.*, 2017; Ramadan *et al.*, 2016, Kader & Awad, 2009; Azelmat *et al.*, 2006; Chan, 1986). El cultivar de Mejhoul en estadios Tamar, se considera debe tener una humedad relativa menor al 30 %, siendo lo recomendado del 22 % al 25 % (Yahia & Kader, 2011; Kader & Awad, 2009), valores por debajo del 20 % de humedad se deben evitar por alterar la consistencia del

fruto en esta variedad, alterando su conocida suavidad. En este estudio los dátiles tratados térmicamente a: (50 °C x 1 min), (50 °C 5 min) y (60 °C 1 min), tuvieron contenidos de humedad del 24,9 %, 25,2 % y 25,6 %, respectivamente. Valores de humedad que está dentro del rango sugerido por Yahia y Kader (2011), y Kader y Awad (2009).

Tratamientos térmicos (TT) analizando la VP y la VT

Por otra parte, el análisis ANOVA ($p < 0,05$) mostró efecto de los TT sobre las variables variación de peso o VP y variación de tamaño o VT con diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en las dos variables estudiadas (Tabla 2).

Tabla 2

Comparación de valores medios de dátil cv Mejhoul, sometidos a tratamientos térmicos en almacenamiento poscosecha

Variables			
Tratamiento	Almacenamiento (días)	VP (%)	VT (%)
Testigo	1	-1,8 ^b	-3,1 ^{abc}
	15	-8,4 ^c	-7,9 ^{cd}
50 °C x 1 min	1	-0,4 ^b	-3,0 ^{abc}
	15	-7,5 ^c	-8,6 ^d
50 °C x 5 min	1	1,0 ^b	1,7 ^{ab}
	15	-6,7 ^c	-5,6 ^{bcd}
50 °C x 10 min	1	0,3 ^b	-0,9 ^{ab}
	15	-7,1 ^c	-8,3 ^d
60 °C x 1 min	1	0,5 ^b	-0,9 ^{ab}
	15	-7,4 ^c	-0,1 ^a
60 °C x 5 min	1	1,5 ^b	-2,5 ^{ab}
	15	-7,4 ^c	-0,5 ^a
60 °C x 10 min	1	7,9 ^a	-1,3 ^{ab}
	15	-7,7 ^c	-1,7 ^{ab}
DSM		4,2	4,9
Media		-3,1	-3,3
CV		107,1	119

Nota. VP = variación de peso; VT = variación de tamaño, CV = coeficiente de variación. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$), con la prueba Tukey. Valores negativos de VP indican pérdidas, valores positivos indican ganancias.

De manera general, se observó que con un día de almacenamiento se tuvieron ganancias significativas de peso en los tres tratamientos térmicos de 60 °C, de manera contraria se evidenció una pérdida de peso en los dátiles bajo tratamientos térmicos de 50 °C x 1 min, así como en el tratamiento testigo, por lo que es posible sugerir que los TT de 60 °C x 10 min ejercen un efecto de hidratación inmediato al dátil con un aumento significativo de peso (7,9 %), al compararse con el tratamiento testigo y el tratamiento de 50 °C x 1 min, los cuales mostraron pérdidas de peso del -1,8 % y -0,4 %, respectivamente (**Tabla 2**), sin que este efecto se mantuviera a los 15 días de almacenamiento, pues se observó que no hubo diferencias por el peso entre los tratamientos térmicos y el testigo en ese día de evaluación.

Con respecto a la variación de tamaño (VT) en frutos de dátil aquí reportados, se observó que las mayores pérdidas de tamaño ocurrieron a los 15 d de almacenamiento (**Tabla 2**), reflejándose significancia estadística de $p < 0,05$, específicamente para los dos tratamientos térmicos de: 50 °C x 1 min y 50 x 10 min cada uno con variaciones de tamaño en el fruto iguales a -8,6 % y a -8,3 %, respectivamente al compararse con los tratamientos restantes de este estudio. Analizando el tratamiento testigo, carente de tratamiento térmico, pero con almacenaje por dos periodos de tiempo distintos, se pudo notar de igual manera una pérdida de tamaño de (-7,9 %), siendo este porcentaje mayor para el periodo de almacenamiento de 15 días. Caso contrario sucedió con los frutos procedentes de TT empleando temperaturas de: 60 °C x 1 min, 60 °C x 5 min y 60 °C x 10 min, por 15 días de almacenamiento, donde las VT en los frutos mostraron menor tendencia a la pérdida de tamaño con valores de (-0,1 %), (-0,5 %) y (-1,7 %), respectivamente. Estos porcentajes fueron significativamente menores si se compara con los dátiles sometidos a TT de 50 °C y el testigo.

La ganancia de peso en los dátiles al día uno (1) de almacenamiento, bajo los tratamientos térmicos (TT) de 60 °C, podría deberse a una hidratación inicial en los tejidos epidérmicos y del mesocarpio en los frutos de dátil (Hazbavi *et al.*, 2015; Amorós *et al.*, 2007), ya que al ser tejidos de un fruto considerado semiseco es capaz de retener una mayor cantidad de moléculas de agua durante el proceso de inmersión, aunado a un posible aumento en la actividad enzimática debido a la temperatura y al tipo de azúcares predominantes en el cultivar Mejhoul (Sarraf *et al.*, 2021; Abbasi *et al.*, 2011; Kalra *et al.*, 1976).

Este comportamiento se reportó previamente por Amorós *et al.* (2007), quienes al tratar dátiles “variedad Caqui” con ácido acético, para la inducción de su maduración, observaron a las 24 horas aumentos en el peso de los frutos de entre 0,19 % - 0,67 %, demostrando que el fruto de dátil de diferentes variedades es capaz de retener humedad al ser tratados térmica y químicamente bajo tiempos de almacenamiento cortos (1 día o 2 días).

Los resultados anteriores muestran que los tratamientos térmicos y las condiciones de almacenamiento alteran el tamaño del fruto, siendo los frutos bajo los tratamientos de 50 °C los que mostraron una mayor pérdida de tamaño después de 15 días de almacenamiento junto al testigo. Estudios previos realizados en diferentes variedades de dátil como: Deglet Noor, Caqui, Taberzal y Zahidi han reportado un comportamiento similar, donde se ha documentado la disminución en el tamaño de los frutos conforme avanzaba el tiempo de almacenaje (Amorós *et al.*, 2007; Ibrahim & Hamzah, 2019, Ramadan *et al.*, 2016), en dichos estudios se sugiere que la reducción de peso y tamaño, está influenciada por las condiciones de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento de frutos. Cabe mencionar que diferentes estudios mencionan que temperaturas de almacenamiento bajas (0 °C a

4 °C) y una humedad relativa alta (40 % al 95 %) generan menores variaciones de peso y tamaño a lo largo del tiempo de almacenamiento de frutos de dátil (Sarraf *et al.*, 2021; Ibrahim & Hamzah, 2019; Amorós *et al.*, 2007; Ramadan *et al.*, 2016). Lo anterior nos sugiere que la reducción del tamaño de frutos de dátil cv. Mejhoul aquí reportadas podría estar asociado al aumento en la tasa de transpiración producto de las condiciones de temperatura (20 °C), humedad relativa (27 %) y tiempo de almacenamiento (15 d).

En concordancia con nuestros hallazgos, en otras variedades de dátil como: Deglet-Noor, Barhi, Sayer y Taberzal donde los frutos fueron almacenados de 20 °C a 30 °C, también se reportó la pérdida de peso y tamaño, promovida principalmente por las condiciones de humedad relativa baja durante el almacenaje, lo que en consecuencia aumentó la tasa de transpiración de los frutos provocando los cambios morfológicos anteriormente mencionados (El-Beltagi *et al.*, 2023; Khalil *et al.*, 2022; Sarraf *et al.*, 2021; Ahmed *et al.*, 2021).

Es importante mencionar que algunos estudios como los de Li *et al.* (2023), Sarraf *et al.* (2021), Ibrahim y Hamza (2019) y Yahia y Kader (2011), han resaltado la influencia del fenotipo con respecto a las pérdidas de peso – tamaño de los dátiles, destacando además la importancia de considerar el estadio de maduración del fruto, al momento de generar su evaluación. En nuestro caso los dátiles evaluados se clasificaron en el estadio Tamar (o estadio final de maduración), por ende, su contenido de humedad suele encontrarse en un porcentaje menor al 30 % (El-Beltagi *et al.*, 2023; Ibrahim & Hamzah, 2019). Este valor es mucho menor si se compara con dátiles recolectados en estadios como el Khalal (frutos no maduros), que suelen presentar un contenido de humedad en un rango del 50 % al 80 %. Si nos acogemos a los rangos de humedad reportados en frutos de variedad Mejhoul

en estadios Tamar, se puede sugerir que las diferencias en peso y tamaño son producto de la reducción en el contenido de humedad del fruto, lo cual podría ser considerado como un indicador indirecto de la humedad óptima del fruto.

En el presente estudio, se puede observar en la **Tabla 2** la disminución de peso y tamaño en los dátiles sometidos a TT de 60 °C, lo cual creemos podría estar relacionado con las características del cultivar Mejhoul que evaluamos, que destaca por presentar frutos con un mesocarpio grueso, epidermis delgada y un fruto de tamaño grande (Yahia & Kader, 2011) estas características pudieron disminuir la tasa de evapotranspiración en los tejidos de esta variedad, haciendo que el fruto presentara una menor pérdida de peso durante su almacenamiento. Nuestros porcentajes son menores a los reportados por autores como Ramadan *et al.* (2016), Ben-Amor *et al.* (2016), Khalil *et al.* (2022) y Ahmed *et al.* (2021) en diferentes cultivares de dátil. Cabe destacar puntualmente a Ben-Amor *et al.* (2016), quienes al evaluar cultivares de dátiles como el Deglet Noor (fruto pequeño, con mesocarpio delgado), evidenciaron pérdidas de peso del 9 % al ser almacenados por 15 días, mientras que la variedad Mejhoul perdió el 8 % de peso en el mismo periodo de almacenaje.

Nuestros resultados mostraron que los TT de 60 °C x 1 min tuvieron una menor variación de tamaño (o VT) si se compara con los dátiles tratados con TT de 50 °C y al testigo, con 15 días de almacenamiento a 20 °C. Lo anterior sugiere que los TT de 60 °C x 1 min, tuvieron un efecto benéfico en la conservación de las características morfológicas del fruto de dátil las cuales están influenciadas por diferentes factores como: la humedad relativa, la temperatura de almacenamiento, tasa de transpiración y grado de madurez del fruto. Adicionalmente, consideramos que el evaluar parámetros fisicoquímicos asociados a la variación de peso y tamaño en frutos de dátil resulta útil para

mejorar la cosecha y su almacenamiento dada su relación directa con criterios de clasificación comercial de este producto, los cuales están establecidos en la Norma Mexicana NMX-FF-117 del 2012 (Secretaría de Economía, 2012). En esta norma se clasifica a los dátiles por tamaño de acuerdo al número total de dátiles presentes en una muestra de 500 g (pequeño: 36 a 45 frutos, mediano: 26 a 35 frutos, y grande: menos de 26 frutos), en el presente estudio se tuvieron dátiles con un peso 17,9 g por fruto con 28 dátiles en 500 g de muestra, lo cual clasificó a los frutos

del presente estudio en el tamaño mediano de acuerdo a la NMX-FF-117.

Caracterización fisicoquímica

Debido a la naturaleza multifactorial de los tratamientos térmicos (ó TT) a los que fueron sometidos los frutos de dátil cv. Mejhoul, se analizó la influencia de los factores temperatura (T), tiempo de inmersión (TI) y tiempo de almacenamiento (TA), así como sus interacciones (T x TI, T x TA, T x TI x TA) sobre las variables VP, VT, SST y firmeza (Tabla 3).

Tabla 3

Efecto de la temperatura, tiempo de inmersión, tiempo de almacenamiento y sus interacciones en atributos fisicoquímicos de dátiles cv Mejhoul

Factor de Variación		Variables		
FV	VP (%)	VT (%)	Firmeza (Kgf)	SST (°Bx)
Temperatura (T)	0,0071*	<,0001**	0,0006*	0,0007*
Tiempo de inmersión (TI)	0,0024*	NS	NS	0,0081*
Tiempo de almacenamiento (TA)	<,0001**	0,0002*	<,0001**	<,0001**
T x TI	0,004*	NS	0,0004*	0,0008*
T x TA	0,0005*	<,0001**	NS	0,0151*
TI x TA	0,0018*	NS	NS	NS
T x TI x TA	0,002*	NS	0,0412*	0,0462*
Coeficiente de variación (CV)	112,7	140,2	31,2	5,85

Nota. FV= factor de variación; T = temperatura (°C); TI = tiempo de inmersión (min); TA = tiempo de almacenamiento (d); VP = variación de peso (%); VT = variación de tamaño (%); Kgf = kilogramos fuerza; SST = sólidos solubles totales en grados Brix (° Bx); CV= Coeficiente de variación; *Diferencia significativa ($p < 0,05$); **Diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) NS: No significancia ($p < 0,05$).

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey arrojó valores significativos ($p < 0,05$) para T y TA, sobre las variables asociadas a peso (VP = $p < 0,007$, $p < 0,001$), tamaño (VT = $p < 0,001$, $p < 0,0002$), sólidos solubles (SST= $p < 0,0007$, $p < 0,0001$) y firmeza ($p < 0,0006$, $p < 0,0001$). Mientras que la interacción T x TI x TA influyó significativamente ($p < 0,05$) sobre las variables peso (VP = $p < 0,002$), sólidos solubles (SST = $p < 0,0462$) y firmeza ($p < 0,0412$) en los dátiles evaluados. Cabe mencionar que el factor TI o tiempo de inmersión únicamente influyo de forma significativa en la VP ($p < 0,001$) y SST (0,008).

La variación morfológica observada por efecto de los TT mostró aumentos en el peso de los frutos a 60 °C con 1 día de almacenamiento, este efecto no se mantuvo al llegar a los 15 días de almacenamiento. Sin embargo, en este tiempo se pudo observar que los frutos tratados a 60 °C tuvieron una reducción de tamaño menor al comparase con TT de 50 °C. Así mismo, las condiciones de almacenamiento jugaron un papel importante en las características de los frutos debido a cambios fisiológicos propios de este proceso, donde factores como la temperatura de almacenamiento, humedad

relativa, el estado de maduración del fruto y las características genéticas de cada variedad juegan un papel relevante en la conservación de frutos de las diferentes variedades de dátil (El-Beltagi *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Sarraf *et al.*, 2021; Ibrahim y Hamzah, 2019; Hazbavi *et al.*, 2015). Cabe mencionar que los factores antes mencionados también ejercen efectos en la composición química y física de los frutos, reportándose cambios en los SST y firmeza (Sarraf *et al.*, 2021; Ibrahim & Hamzah, 2019; Ben-Amor *et al.*, 2016; Hazbavi *et al.*, 2015; Yahia & Kader, 2011; Kalra *et al.*, 1976), los cuales serán discutidos a mayor profundidad en secciones posteriores.

Por otra parte, estudios previos donde se han realizado tratamientos térmicos en frutos de dátil de diferentes variedades han reportado periodos de conservación prolongados de hasta 12 meses, con variaciones menores en el peso y tamaño del fruto. En este sentido, cabe mencionar los estudios de El-Beltagi *et al.* (2023) y Sarraf *et al.* (2021), quienes emplearon temperaturas de

almacenamiento de 0 °C a 12 °C y una humedad relativa del 40 % al 95 %. Sin embargo, estos mismos autores si reportaron alteraciones en frutos de dátiles almacenados en condiciones de refrigeración (0 °C a 4 °C), lo cual redujo drásticamente su valor comercial (El-Beltagi *et al.*, 2023; Sarraf *et al.*, 2021). En el presente estudio los frutos de dátil cv. Mejhoul fueron almacenados a 20 °C a una humedad relativa del 27 %, lo cual posiblemente pudo incrementar la pérdida de humedad del fruto, más en cambio creemos este hecho generó una menor probabilidad del desarrollo de enfermedades poscosecha (debido a la baja humedad relativa), disminuyéndose el riesgo de fisiopatías como el obscurecimiento del fruto y la aparición de manchas de azúcar en frutos maduros de dátil.

Respecto al análisis de los frutos de dátil sometidos a tratamientos térmicos (TT), también se hallaron diferencias significativas ($p < 0,05$) evaluando la concentración de SST (expresados en °Brix) y firmeza (expresada en Kgf), (Tabla 4).

Tabla 4

Efecto de los tratamientos térmicos en los atributos fisicoquímicos de dátil cv Mejhoul

Variables			
Tratamiento	TA (días)	SST (° Bx)	Firmeza (Kgf)
Testigo	1	68 ^{ab}	1.5 ^{cde}
	15	67 ^b	1.9 ^{bcd}
50 °C × 1 min	1	67 ^b	1.2 ^{de}
	15	72 ^{ab}	2.2 ^{abc}
50 °C × 5 min	1	70 ^{ab}	1.5 ^{cde}
	15	72 ^{ab}	2.2 ^{abc}
50 °C × 10 min	1	69 ^{ab}	1.3 ^d
	15	71 ^{ab}	2.6 ^a
60 °C × 1 min	1	68 ^{ab}	1.3 ^d
	15	73 ^a	2.3 ^{ab}
60 °C × 5 min	1	67 ^b	0.9 ^e
	15	71 ^{ab}	2.1 ^{abc}
60 °C × 10 min	1	61 ^c	0.9 ^e
	15	70 ^{ab}	1.8 ^{bcd}

Nota. TA: Tiempo de almacenamiento, SST: Sólidos solubles totales. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba *Tukey*, ($p < 0.05$). Valores negativos de VP indican pérdidas, valores positivos indican ganancias.

Los frutos de dátil con un tiempo de almacenamiento o TA igual a 1 días y sometidos a tratamientos de: 60 °C x 5 min y 60 °C x 10 min, obtuvieron valores de SST de 67 °Bx y 61 °Bx, respectivamente. La concentración de SST en estos dos tratamientos fue significativamente menor que en otros TT y el tratamiento testigo. Sin embargo, a los 15 días de almacenaje se pudo observar que el contenido de SST incrementó en los frutos que fueron sometidos a TT, con un aumento significativo de SST en los frutos tratados a 60 °C x 1 min (73 °Bx) al compararse con el tratamiento testigo (67 °Bx).

El comportamiento de los frutos tratados a 60 °C x 5 min y 60 °C x 10 min con 1 día de almacenamiento, mostró una menor presencia de sólidos solubles totales (ó SST) pero de manera contraria se halló que estos mismos tratamientos generaron una ganancia en el peso del fruto, con una variabilidad correspondiente a ($p < 0,0042$) y ($p < 0,0002$), respectivamente. Estudios efectuados por Ibrahim y Hamzah (2019) y Rastegar *et al.* (2012), mencionan de manera contraria a nuestros resultados una relación inversa entre la concentración de SST con el peso, debido a factores como la pérdida de humedad durante el almacenamiento producto de la transpiración del fruto, provocando así un aumento en el contenido de SST al incrementarse el contenido de solutos presentes en el fruto. Lo reportado por estos autores si fue observado en los frutos que analizamos al llegar a los 15 d de almacenamiento al ser tratados por 60 °C x 1 min, presentándose aumentos en la concentración de SST igual a 73 °Bx. Además, este incremento resultó ser significativo al compararse con el tratamiento testigo (68 °Bx).

El contenido de SST es una aproximación utilizada para conocer el contenido de azúcares en frutos, en el caso de dátiles cv. Mejhoul el contenido de SST generalmente debe oscilar entre los 68 °Bx y 75 °Bx (Kahramanoglu & Usanmaz, 2019; Salomón-Torres *et al.*, 2019), dicho esto los valores obtenidos en el presente

estudio para dátiles con 15 d de almacenamiento oscilaron entre 67 °Bx - 72 °Bx, lo cual ratifica un contenido de azúcar ideal en los dátiles propios de las parcelas aquí analizadas.

Los cambios observados en este estudio en parte son propios de los procesos de maduración de los frutos, los cuales incluyen cambios a nivel de textura, peso y composición química (Sarraf *et al.*, 2021; Ibrahim & Hamzah, 2019; Hazbavi *et al.*, 2015). Dentro de los cambios anteriormente mencionados podemos destacar el incremento de los SST, los cuales se cree tienen relación positivamente con el aumento de materia seca y azúcares en fruto (Li *et al.*, 2023; Sarraf *et al.*, 2021, Ibrahim & Hamzah, 2019). Además, el aumento en los SST también puede estar asociado a la actividad de enzimas hidrolíticas durante su periodo de almacenamiento, estudios realizados en frutos de dátil en etapas Khalal mencionan que el aumento de enzimas hidrolíticas son las responsables del aumento en el contenido de SST, dichas enzimas se encargan principalmente de la conversión de polisacáridos en azúcares simples como glucosa y fructosa (Sidhu *et al.*, 2022; Hazbavi *et al.*, 2015, Rastegar *et al.*, 2012; Abbasi *et al.*, 2011).

En el presente estudio el uso de tratamientos térmicos mostró favorecer aumentos en la concentración de los sólidos solubles totales o SST, lo anterior puede deberse a que los frutos tratados a temperaturas altas pueden aumentar la generación de carbohidratos solubles producto del incremento en el metabolismo favorecido por las temperaturas de inmersión en agua (Echegaray *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Mukhtar *et al.*, 2022; Sidhu *et al.*, 2022). Estos cambios han sido reportados en diferentes especies frutales, donde al sumergir frutos en agua caliente (45 °C - 65 °C) en intervalos de tiempo cortos (1 min - 7 min) se han generado aumentos en el contenido de carbohidratos, y por ende en el contenido solutos, conforme avanzó el tiempo de almacenamiento. En adición, se sabe que los tratamientos térmicos pueden causar cambios

en el metabolismo de carbohidratos mediante el incremento de la actividad de enzimas como la invertasa (Sarraf *et al.*, 2021, Ibrahim & Hamzah, 2019; Hazbavi *et al.*, 2015).

Asimismo, se ha reportado aumentos en la concentración de SST en frutos de dátil en etapas Tamar, debido a la conversión de polisacáridos en azúcares solubles y al intercambio hídrico durante el almacenaje a 25 °C (Sarraf *et al.*, 2021; Hazbavi *et al.*, 2015; Rastegar *et al.*, 2012; Kalra *et al.*, 1976), lo cual coincide con los resultados observados en el presente estudio.

En lo referente a la firmeza en frutos de dátil, se pudieron observar diferencias significativas ($p < 0,05$) con 1 día de almacenaje, entre los diferentes TT donde los frutos tratados a 50 °C x 10 min (1,3 Kgf) y 60 °C x 1 min (1,3 Kgf) tuvieron una mayor firmeza al compararse con los tratamientos de 60 °C x 5 min (0,9 Kgf) y 60 °C x 10 min (0,9 Kgf). Asimismo, a los 15 días de almacenamiento se observó un aumento generalizado en la firmeza de los frutos, donde los frutos procedentes de los TT de 50 °C x 10 min mostraron diferencias significativas frente al testigo, con valores de firmeza de 2,6 Kgf y 1,9 Kgf respectivamente.

En el presente estudio se pudo observar que los frutos de dátil mostraron una disminución significativa de la firmeza en los TT de 60 °C con 1 día de almacenamiento, lo anterior puede deberse a un aumento en enzimas hidrolíticas (poligalacturonasa, celulasa) y a cambios en la estructura celular (ablandamiento de tejidos en el fruto) producto de la exposición temporal a temperaturas elevadas (Khalil *et al.*, 2022; Hazbavi *et al.*, 2015; Amorós *et al.*, 2007), este efecto no fue prolongado debido a que al llegar a los 15 días de almacenamiento aumentó la firmeza en los frutos.

El resultado de los frutos de dátil cv. Mejhoul sometidos a TT de 50 °C x 10 min, mostró una tendencia similar a la descrita por autores

como Marouf *et al.* (2021), Marouf y Khali (2019), Ramadan *et al.* (2016) y Amorós *et al.* (2007), quienes han reportado aumentos en la firmeza de frutos conforme avanzaba el tiempo de almacenamiento. Adicionalmente, consideramos que otro factor a contribuir a los resultados con estos tratamientos podría deberse a las condiciones de almacenamiento de los frutos debido a que durante los procesos de maduración se han reportado disminución en el contenido de con el consecuente aumento en la firmeza de los frutos agua (Ibrahim y Hamzah, 2009).

Un estudio realizado por Hazbavi *et al.* (2015) en frutos de dátil cv. Stamaran en estadios Khalal, que fueron sometidos tratamientos térmicos (50 °C a 70 °C), estos evidenciaron una disminución en la firmeza del fruto conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, reduciéndose en un 11 % en frutos tratados a 70 °C con 15 días de almacenamiento a 25 °C, con una humedad relativa del 75 %, mientras que, en este estudio se obtuvieron aumentos en la firmeza de los frutos de hasta un 200 % con 15 días de almacenamiento a 20 °C y una humedad relativa del 27 %. Lo anterior muestra como las características varietales, así como al estadio de desarrollo del fruto y las condiciones de almacenamiento influyen grandemente en la respuesta del fruto.

Finalmente, debemos hacer referencia al desarrollo del fruto del dátil, destacando diferentes estudios como los desarrollados por Hazbavi *et al.* (2015), Ben-Amor *et al.* (2016) y Sarraf *et al.* (2021), quienes han preferido usar frutos de dátil en estadio Khalal caracterizados por un contenido de humedad de entre 50 % - 85 %, mientras que, en la presente investigación se emplearon frutos en estadio Tamar con una humedad mucho menor al 30 %. Dicho esto, las diferencias observadas pueden atribuirse, no solo a la variedad, si no al grado de madurez del fruto el cual al presentar una menor humedad tendrá una actividad metabólica menor que los frutos en estadios khalal, lo cual se puede ver reflejado en la firmeza del fruto.

En este estudio a nivel de poscosecha, se considera que los tratamientos térmicos de 60 °C incidieron de forma significativa en las variables de firmeza y SST, las cuales son importantes en el valor comercial de frutos de dátil debido a que son las responsables de la textura (suavidad) y sabor (dulzor) del fruto.

Conclusiones

Los tratamientos térmicos proporcionaron un efecto inmediato de hidratación en los dátiles Mejhoul al día uno de almacenamiento, con ganancias de peso significativas bajo el tratamiento de 60 °C x 10 min. A los 15 d de almacenamiento se pudo observar que los dátiles tratados a 50 °C x 10 min mostraron una mayor firmeza, mientras que a 60 °C x 1 min se observó una menor pérdida de tamaño, una humedad relativa de fruto baja, una firmeza alta y una mayor cantidad de SST. La interacción de los tres factores: temperatura, tiempo de inmersión y almacenamiento, influyó de manera significativa ($p < 0,05$) en las variaciones de peso, humedad relativa de fruto, firmeza y sólidos solubles totales.

Dentro de los diferentes tratamientos evaluados en los frutos de dátil cv. Mejhoul, el tratamiento de 60 °C x 1 min mostró menor pérdida de tamaño (-0.1 %), con un aumento en el contenido de SST (72 °Bx), firmeza de los frutos igual a (2,3 Kgf) y un contenido de humedad de fruto de (25,6 %), dentro de lo que se recomienda para el fruto de dátil cv. Mejhoul.

Estudios posteriores deberán estar encaminados al análisis de las características sensoriales y carga microbiana producto de los tratamientos térmicos. Así mismo, se deberá evaluar el uso de recubrimientos comestibles en frutos tratados térmicamente y sus efectos en los parámetros fisicoquímicos y organolépticos del dátil.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el financiamiento de esta investigación otorgado con la beca 845863. Al Cuerpo Académico de Fisiología y Ambiente en la Producción Agrícola (UABC-CA-349) y proyectos participantes: 200/3330 y 200/3316, así como a los productores datileros por permitirnos el acceso a sus plantaciones.

Referencias

- Abbasi, K. S., Anjum, N., Sammi, S., Masud, T., & Ali, S. (2011). Effect of coatings and packaging material on the keeping quality of mangoes (*Mangifera indica* L.) stored at low temperature. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(2), 129-138 <https://www.doi.org/10.3923/pjn.2011.129.138>
- Abo-El-Saad, M.M., Elshafie, H.A., Al Ajlan, A.M., & Bou-Khowh, I.A. (2011). Non-chemical alternatives to methyl bromide against *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae): microwave and ozone. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2, 1222-1231 <https://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.8.1222.1231>
- Achour, M., Ben-Amara, S., Ben-Salem, N., Jebalic, A., & Hamdi, M. (2003). Effet de différents conditionnements sous vide ou sous atmosphère modifiée sur la conservation de dattes Deglet Noor en Tunisie. *Fruits*, 58, 205-212 <https://www.doi.org/10.1051/fruits:2003008>
- Ahmed, Z.F.R., Al-Shaibani, F.Y.Y., Kaur, N., Maqsood, S., & Schmeda-Hirschmann, G. (2021). Improving Fruit Quality, Bioactive Compounds, and Storage Life of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Barhi) Using Natural Elicitors. *Horticulturae*, 7, 293 <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090293>
- Amorós, A., Pretel, M.T., Botella, M. A., Almansa, M.S., & Serrano, M. (2007). Comportamiento de dátiles (*Phoenix dactylifera* L.) de elche a diferentes tratamientos de maduración exógena en poscosecha. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Escuela politécnica superior de Orihuela, 59-70 <https://www.doi.org/10.31428/10317/11843>
- Antunes, M.D.C., Oliveira, R., Miguel, M.G., Martins, M.A., Pica, C., & Neves, M.A. (2003). The effect of calcium chloride and thermal postharvest treatments on storage ability and quality of fig fruit. *En International Conference on Quality in Chains. An Integrated View on Fruit and Vegetable Quality*, 604; 715-719 <https://www.doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.604.90>

- Association of Analytical Chemistry [AOAC]. (1980). Official Methods. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7086-4_3
- Azelmat, K., El-Garrouj, D., Mohammed-Mouhib, M., & Sayah, F. (2006). Irradiation of 'Boufeggous' dates: effects on chemical composition during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 39(2), 217-222 <https://www.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.008>
- Ben-Amor R., Habib, M., & Aguayo, E. (2016). Hot Water treatments combined with cold storage as a tool for *Ectomyeloid ceratoniae* mortality and maintenance of Deglet Noor Palm date quality. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 247-255 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.005>
- Blando-Briceño, L.F. (2019). Tesis: Determinación de parámetros para procesos poscosecha de dátil medjool. *Centro de Enseñanza Técnica y Superior (Cetys)*, 1-53 <https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1217>
- Chan H.T. (1986). Effects of heat treatments on the ethylene forming enzyme system in papayas. *Journal of Food Science*, 51(3), 581-583 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13884.x>
- Contreras-Espinoza, J.E., Valle-Gough, R. E., Núñez-Ramírez, F., Samaniego-Gómez, S.U., Barrera-Gavira, J.M., Torregosa-Sauret, L., Moreno-Valenzuela, O. A., & Samaniego-Gómez, B.Y. (2023). Aislamiento e identificación de hongos fitopatógenos en dátiles en poscosecha en Valle de Mexicali, México. *Ala Avances En investigación Agropecuaria*, 27(Especial), 22-24. <https://doi.org/10.53897/RevAla.23.27.18>
- Echegaray, N., Gullón, B., Pateiro, M., Amarowicz, R., Misihairabgwi, J.M., & Lorenzo, J.M. (2023). Date fruit and its by-products as promising source of bioactive components: A review. *Food Reviews International*. 39(3), 1411-1432 <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1934003>
- El-Beltagi, H.S., Shah, S.T., Mohamed, H.I., Alam, N., Sajid, M., Khan, A., & Basit, A. (2023). Physiological response, phytochemicals, antioxidant, and enzymatic activity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivated under different storage time, harvesting Stages, and temperatures. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(11), 103818 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103818>
- El-Sohaimy, S.A., & Hafez, E.E. (2010). Biochemical and nutritional characterizations of date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *J Appl Sci Res*, 6(6), 1060-1067
- Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatment (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 125-134 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.10.005>
- Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A., & Kamal-Eldin, A. (2017). Date fruit (*Phoenix dactylifera* L.): An underutilized food seeking industrial valorization. *NFS journal*, 6, 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.12.001>
- Hazbavi, I., Khoshtaghaza, M.H., Mostaan, A., & Banakar, A. (2015). Effect of postharvest hot-water and heat treatment on quality of date palm (cv. Stamaran). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(2), 153-159 <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.003>
- Ibrahim, M.A., & Hamzah, H. A. (2019). Effect of the harvest date, storage period and package on the storability of date palm (*Phoenix dactylifera* L. Cv. Taberzal) fruits. *Plant Archives*, 19, 2, 226-231 <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.003>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (2023). Inicio la cosechadeldátil2023enelVallededeMexicali. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cbjacalifornia/articulos/inicio-la-cosecha-del-datil-2023-en-el-valle-de-mexicali>
- Jemni, M., Otón, M., Ramirez, J.G., Artés-Hernández, F., Chaira, N., Ferchichi, A., & Artés, F. (2014). Conventional and emergent sanitizers decreased *Ectomyeloid ceratoniae* infestation and maintained quality of date palm after shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 33-41 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.002>
- Kader, A., & Awad, M.H. (2009). Harvesting and postharvest handling of dates. *ICARDA, Aleppo, Syria*. 4; 15 ISBN: 92-9127-213-6
- Kahramanoglu, I., & Usanmaz, S. (2019). Preharvest and postharvest treatments for increasing the rate of ripening of date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Medjool. *Progress in Nutrition*, 21(1), 215-224 <https://www.doi.org/10.23751/pn.v21i1.7817>
- Kalra, S.K., Jawanda, J.S., & Munshi, S.K. (1976). Studies on the Curing of Dates (*Phoenix dactylifera* L.) By Hot Water Treatments. *Indian Journal of Horticulture*, 33(2), 146-151 ISSN: 0019-5251
- Khalil, H.A., Abdelkader, M.F.M., Loay, A.A., El-Ansary, D.O., Shaaban, F.K.M., Osman, S.O., Shenawy, I.E., Osman, H.E.H., Limam, S.A., & Abdein, M.A. (2022). The Combined Effect of Hot Water Treatment and Chitosan Coating on Mango (*Mangifera indica* L. cv. Kent) Fruits to Control Post-harvest Deterioration and Increase Fruit Quality. *Coatings*, 12, 83 <https://doi.org/10.3390/coatings12010083>
- Kim, Y., Brecht, J. K., & Talcott, S. T. (2007). Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food Chemistry*, 105(4), 1327-1334 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.050>
- Li, J., Hussain, I., Azam, M., Khan, M.A., Akram, M.T., Naveed, K., Asif, M., Anjum, N., Zeng, J., & Zhang, J. (2023). Hot Water Treatment Improves Date Drying and Maintains Phytochemicals and Fruit

- Quality Characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera*). *Foods*, 12(12), 2405. <https://doi.org/10.3390/foods12122405>
- Marouf A.M., & Khali, M. (2019). Characterization of postharvest physiology of thermised dates (*Phoenix dactylifera* L.), packed under a modified atmosphere (MAP). *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1528-1542 ISSN: 2170-1652
- Marouf, A.M., Khali, M., & Boutekrabt, L. (2021). Individual and Combined Effects of Postharvest Heat Disinfestation Treatments Associated with a Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the Quality of Algerian Dates Fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202103.0591>.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alía-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M.A., Palomino-Hermosillo, Y.A., & López-Gúzman, G.G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v01i9.674>
- Mukhtar, S., Mohamed, H. I., Qazi, I. M., Basit, A., Javed, H., Shah, S. T., Ibrahim A., Aziz I., & Ali F. (2022). Impact of pectin extracted from selected citrus fruit peel on overall quality of mango jam. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(6), 5079-5079. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01576-y>
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Ramadan, B.R., El-Rify, M.N.A., Abd El-Hamid, A.A., & Abd El-Majeed, M.H. (2016). Effect of some Treatments on Chemical Composition and Quality Properties of Daidy Date Fruit (*Phoenix dactylifera* L.) During Storage. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 47(5), 107-124. <https://www.doi.org/10.21608/ajas.2016.2052>
- Rastegar, S., Rahemi, M., Baghizadeh, A., & Gholami, M. (2012). Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening. *Food Chemistry*, 134(3), 1279-1286. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.208>
- Rodríguez-Carmona, P.I. (2012). Caracterización de dátil (*Phoenix dactylifera* L.) variedad medjool y su uso potencial como película comestible. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. 105.
- Salomón-Torres, R., Ortiz-Urbe, N., Valdez-Salas, B., Rosas-González, N., García-González, C., Chávez, D., Córdova-Guerrero, I., Díaz-Rubio, L., Haro-Vázquez, M.D.P., Mijangos-Montiel, J.L., Morales-Maza, A., Mahadevan, P., & Krueger, R. (2019). Nutritional assessment, phytochemical composition and antioxidant analysis of the pulp and seed of medjool date grown in Mexico. *PeerJ*, 7, e6821. <https://doi.org/10.7717/peerj.6821>
- Salomón-Torres, R., Ortiz-Urbe, N., & Villa-Angulo, R. (2017). La producción de la palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.) en México. *Nueva época*, 91, 15-20.
- Sarraf, M., Jemni, M., Kahramanoglu, I., Artés, F., Shah-koomahally, S., Namsi A., Ihtisham, M., Brestic, M., Mohammadi, M., & Rastogi, A. (2021). Commercial techniques for pre-serving date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit quality and safety: a review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 4408-4420. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.035>
- Secretaría de Economía. (2012). NMX-FF-117-SCFI-2012. 2012. Productos alimenticios para consumo humano - dátiles-especificaciones. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Economía. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4756/seeco4/seeco4.htm>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Sidhu, A. R., Basit, A., Hayat, A., Mangrio, S., Arain, S., Khalid, T., & Elhakem, A. (2022). Quality characteristics, phytochemical analysis, and antioxidant of extract *Cuscuta reflexa* (Roxb.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(3), 12691-12691 <https://doi.org/10.15835/nbha50312691>
- Tenberg, M. (2012). Beginnings and early history of date palm garden cultivation in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, 86, 139-147 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.022>
- Yahia, E.M., & Kader, A.A. (2011). Date (*Phoenix dactylifera* L.). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Woodhead Publishing, 41-81 <https://doi.org/10.1533/9780857092885.41>
- Zouba, A., Khoualdia, O., Diaferia, A., Rosito, V., Bouabidi, H., & Chermiti, B. (2009). Microwave treatment for postharvest control of the date moth *Ectomyelois ceratoniae*. *Tunis. Journal of Plant Protection*, 4(2), 173-184 <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:137977142>

Technological properties of pork in sausage production: comparison of trimmings obtained from animals of meat, meat-lard and lard breeds

Propiedades tecnológicas de la carne de cerdo en la producción de embutidos: comparación de los recortes obtenidos de animales de razas cerdo, meat-lard y lard breeds

Elena Franko^a  meatipr@ukr.net; Liubov Voitsekhivska^a  lubovvojcehovskaa@gmail.com;
Liana Nedorizaniuk^a  nedliana4@gmail.com; Sergii Verbytskyi^{*b}  tk140@hotmail.com
Natalia Patsera^b  iprinform@ukr.net

^aDepartment of Technology of Meat Products. Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Yevhen Sverstiuk St, 4-A, Kyiv 02002, Ukraine.

^bDepartment of Informational Support, Innovative Providing, Standardization and Metrology. Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Yevhen Sverstiuk St, 4-A, Kyiv 02002, Ukraine.

*Corresponding author: tk140@hotmail.com

Received: 26/09/2024 Accepted: 11/12/2024

Citing, APA: Franko, E., Voitsekhivska, L., Nedorizaniuk, L., Verbytskyi, S., & Patsera, N. (2024). Technological properties of pork in sausage production: comparison of trimmings obtained from animals of meat, meat-lard and lard breeds. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 148–160. <https://doi.org/10.23850/24220582.6492>

Abstract Sausages are the most popular and widely manufactured meat products in Ukraine and pork is a typical raw material used for the purpose. However, there is a deficiency of pork and meat processors have to operate with all the raw meats available and often originated from the animals of different types and breeds. These are characterized by different technological properties which prevents from manufacturing sausages of the constant quality. So it is necessary to provide with the relevant information on the content and properties of different types of pork used in practice. The goal was to study physical, chemical, functional and technological properties of lean, semi-fatty and fatty trimmed pork obtained by boning and trimming half-carcasses of meat, meat-and-lard and lard breed pigs. It is determined in the course of quintuplicate experiments that trimmed meat obtained from meat breed pigs contains 13 % by weight less fatty tissue than trimmed meat from meat-and-lard pigs and 46 % by weight less than trimmed meat from lard breed pigs. It is determined that the fat tissue content in lean pork is within the range from 6.44 % to 15.08 % by weight, in semi-fatty pork – from 27.67 % to 50.96 % by weight, in fatty pork – from 58.32 % to 68.91 % by weight. The values of the criteria for assessing the functional and technological properties are determined: water to protein, fat to protein, water to fat ratios, water-binding capacity in different grades of minced trimmed meat. It is established that the optimum values of water-binding capacity with simultaneous growth of fat and water absorption are characteristic of semi-fatty pork with a fat content of 27.67 % – 34.73 % by weight, which corresponds to a fat-to-protein ratio of 2.0 – 2.5. The research fulfilled makes possible to determine the main criteria for assessing the functional and technological properties of trimmed meat, and their influence on the ability of trimmed meat of different grades to bind and retain water and fat, and to create stable meat emulsions. It facilitates the use different types and breeds of pork to guarantee the quality characteristics of the sausages being manufactured.

Keywords: Fatty pork, lean pork, pork trimmings, semi-fatty pork, technological properties.

Resumen Las salchichas son los productos cárnicos más populares y ampliamente fabricados en Ucrania y la carne de cerdo es una materia prima típica utilizada para tal fin. Sin embargo, hay una deficiencia de carne de cerdo y los procesadores de carne tienen que operar con todas las carnes crudas disponibles y, a menudo se originan a partir de los animales de diferentes tipos y razas. Estos se caracterizan por diferentes propiedades tecnológicas que impide la fabricación de salchichas de la calidad constante. Por lo tanto, es necesario proporcionar la información pertinente sobre el contenido y las propiedades de los diferentes tipos de carne de cerdo utilizados en la práctica. Nuestro objetivo consistió en estudiar las propiedades físicas, químicas, funcionales y tecnológicas de la carne de cerdo magra, semigrasa y grasa recortada obtenida mediante el deshuesado y recorte de medias canales de cerdos de raza cárnica, meat-lard y lard. Se determinó en el curso de experimentos quintuplicados que la carne recortada obtenida de cerdos de raza cárnica contiene un 13 % en peso menos tejido graso que la carne recortada de cerdos de raza meat-lard y lard breed y un 46 % de menos peso que la carne recortada de cerdos de raza lard breed. Se determinó que el contenido de tejido adiposo en la carne magra de cerdo se situó entre el 6,44 % y el 15,08 % en peso, para la carne de cerdo semigrasa entre 27,67 % y 50,96 % en peso, y en la carne de cerdo grasa entre el 58,32 % y 68,91 % en peso. Se determinan los valores de los criterios de evaluación de las propiedades funcionales y tecnológicas: relación agua-proteína, grasa-proteína, agua-grasa, capacidad de retención de agua en diferentes calidades de carne picada recortada. Se estableció que los valores óptimos de capacidad de retención de agua con crecimiento simultáneo de la absorción de grasa y agua son característicos de la carne de cerdo semigrasa con un contenido de grasa de 27,67 – 34,73 % en peso, lo que corresponde a una relación grasa-proteína de 2,0 – 2,5. La investigación realizada permite determinar los principales criterios de evaluación de las propiedades funcionales y tecnológicas de la carne despiezada, así como su influencia en la capacidad de la carne despiezada de distintas calidades para ligar y retener agua y grasa, y para crear emulsiones cárnicas estables. Facilitando, además el uso de distintos tipos y razas de carne de cerdo para garantizar características de calidad de los embutidos que se fabrican.

Palabras clave: Cerdo graso, cerdo magro, cerdo semigraso, propiedades tecnológicas, recortes de cerdo.

Introduction

Important parameters of meat which determine consumers' perception of meat products are tissue composition, namely content of muscle, connective, fat and bone tissue, chemical composition, namely protein content, including muscle, fat, water, ash as well as taste, consistency and other sensorial criteria of quality (Teixeira & Rodrigues, 2021; de Araújo *et al.*, 2022). In many countries, including Ukraine, there is a requirement that premium meat should contain the maximum amount of muscle tissue, and therefore muscle protein free from connective tissue protein (Matarneh *et al.*, 2021; Gagaoua *et al.*, 2022). Premium meat products are made mainly from meat that is maximally separated from connective and fatty tissues, that is, from premium meat (Petranović *et al.*, 2021; Senčić & Samac, 2024).

The content of fatty and connective tissues in meat affects its functional and technological properties (FTP), these effectively ensuring the ability to bind and retain water, emulsify fat, and form a stable minced meat structure. In general, FTP in the applied technology of meat and meat products is understood as a set of indicators characterizing the levels of water-binding, emulsifying, gelling capacity, structural and mechanical properties (plasticity, viscosity, etc.), sensorial characteristics (color, taste, smell), the amount of losses during heat treatment of various types of raw materials and meat systems. This interpretation of the concept of FTP is not absolute, it is debatable, but no one denies the importance of the above indicators in determining the acceptability of a particular meat raw material for the production of a particular type of meat product (Latoch *et al.*, 2021; Lebret & Čandek-Potokar, 2022).

At the same time, numerous factors of the life-time maintenance and slaughter of animals that affect the FTP of pork should be fully taken

into account (Kopylova & Verbytskyi, 2015; Novgorodska & Verbytskyi, 2022).

In production conditions, meat is divided into grades by assessing its tissue composition during the trimming operation using visual inspection. However, meat of the same grade obtained from processing animals of the same species may have differences in chemical composition due to the influence of the animal breed, fattening, careful observance of trimming and sorting rules, etc (Chen *et al.*, 2021; Razmaitė *et al.*, 2021).

The national standards of Ukraine for the main types of meat products include requirements for the chemical composition of these products, which directly depends on the original meat raw material. However, there is no systematized information on the chemical composition and FTP of different types and grades of meat, as well as on the relationship of these indicators with the tissue composition of meat. The lack of the said information forces manufacturers to rely only on their own experience when making important technological decisions on the selection of raw materials and their processing. It also makes it difficult to manufacture a product of the expected chemical composition and properties.

In the production of most types of meat products, a complex of animal soft tissues is used: muscle tissue, which has the greatest nutritional value and high taste qualities, connective tissue. This is important for the formation of structure, and fatty tissue, which makes meat products high in calories (Toldrá & Reig, 2014). The nutritional value of meat, from the standpoint of nutrition science, is assessed by the content of complete proteins. Muscle tissue proteins contain all essential amino acids, are well absorbed by the human body and are assessed as complete. Connective tissue proteins lack the essential amino acid tryptophan, which makes them incomplete (Toldrá, 2006).

According to the definition, trimmed meat is “boneless meat in the form of pieces of different sizes and weights, of arbitrary shape with a given ratio of muscle, connective and fatty tissue”. Thus, simultaneously with trimming, meat sorting is carried out – the meat is classified into grades depending on the visually determined ratio of tissues (Meat industry, 2005).

Long-term studies have proven that meat quality indicators calculated based on tissue composition have a high degree of reliability (Kipper *et al.*, 2019; Masoumi *et al.*, 2021; Over *et al.*, 2023). The quality criteria for all tissues that make up meat include tissue FTP. These FTP are important for the following issues: assessing the technological functions and potential uses of meat raw materials; choosing the type, ratios, and compatibility conditions for the components of a meat product formulation; predicting the nature of changes in the properties of meat systems at various stages of technological processing; obtaining meat products of guaranteed quality. The FTP of proteins are related to their chemical and amino acid composition, structure, physical and chemical properties, which determine the interaction of protein – protein (important for gel formation), protein – water (important for swelling, water-binding capacity, solubility), protein – fat (important for fat-absorbing and fat-retaining capacity), and protein – fat – water (important for the formation of foams and emulsions).

In Ukraine, the quantitative content of fat and connective tissue is also the basis for meat sorting. The tissue composition by fat content is assessed by visual inspection of raw meat, provided that the necessary requirements for the operations of cutting carcasses, boning and trimming meat are met. According to the “Technological Instructions for Boning and Trimming Meat” (Technological, 1998), trimmed pork from carcasses of any category is divided into 3 grades: lean trimmed pork – muscle tissue with a visible fat content of no

more than 10 %; semi-fatty trimmed pork – muscle tissue with a visible fat content of (30 – 50) % by weight; fatty trimmed pork – muscle tissue with a visible fat content of (50 – 85) % by weight. Lean and semi-fatty trimmed pork is extracted mainly from the hip, neck, back and shoulder parts, fatty – from the flank, cheek, and rib parts.

The water to protein, fat to protein and fat to water ratios accurately reflect the properties of trimmed meat by grade (Kara *et al.*, 2021; Kryzhova *et al.*, 2023) and these criteria make it possible to establish differences in the quality characteristics of meat samples with different fat contents, but, nevertheless, belonging to the same grade. Thus the objective of this study was to determine and compare the chemical composition of the trimmed meat obtained from meat, meat-lard and lard breeds of pigs as an important criterion of meat quality influencing its rational use for manufacturing sausages of the constant quality.

Materials and methods

The pigs of Duroc, Landrace and Large White breeds were raised in agricultural firms, industrial complexes, in the private sector and were delivered for slaughter with a live weight of 100 kg – 115 kg to meat processing plants in the Kirovograd, Kyiv and Chernivtsi regions of Ukraine. The samples were subsequently taken to the laboratory of the Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

To achieve our objective, the ratios of fat to protein, water to fat, water to protein in trimmed meat obtained from pigs of meat, meat-lard, and lard breeds have been established. Within the frame of the objective, fat to protein ratio has been determined as a criterion of the ability of minced meat systems to bind water and fat, and create stable emulsions, using the following methodology:

Tissue content of meat. at the first stage we determined the tissue content of meat, meat-lard and lard breeds of pigs. Three half-carcasses from each breed were selected for the study. The lard was removed from the pork half-carcasses before boning. Then the half-carcasses were divided into 2 parts – the front and back between the last and penultimate lumbar vertebrae. Then the parts of the half-carcasses were subjected to boning and trimming into three grades in accordance with the current technological instructions for boning and trimming slaughter pigs (Technological, 1998).

After sorting the trimmed meat into lean, semi-fatty and fatty pork, the quality of the trimming was checked by separating the visible fatty tissue from the muscle tissue and then weighing it (preparation method).

Preparation method

For this, an average sample of trimmed meat from a specific grade was taken, the fatty tissue was carefully separated from the muscle tissue using a knife, weighed and the fatty tissue content was determined using the **equation 1**:

$$A = m/m_1 \cdot 100 \quad \text{Eq 1.}$$

Where:

- A is the content of fatty tissue in trimmed meat, %;
- m is the weight of the average sample, g;
- m₁ is the weight of fatty tissue, g.

Chemical methods

In the course of the research we determined the indicators of water, fat, total protein, ash using chemical methods. Within the frame of the objective of this study we determined the chemical composition of trimmed meat, its water-holding capacity (WHC), the average sample was ground to the state of finely ground mince, which was tested, using the below methods.

-Total fat of meat and meat products. expressed as a percentage by weight, was determined according to DSTU ISO 1443:2005 (Meat and meat products, 2007a) by boiling the test sample with dilute hydrochloric acid until bound and unbound lipid fractions are released, filtering the resulting weight, drying and extracting the fat remaining on the filter using n-hexane or petroleum ether.

-Water content. was determined according to DSTU ISO 1442:2005 (Meat and meat products, 2007b). Thorough mixing of the test portion with sand and drying to constant weight at $103 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Loss in weight obtained under the operating conditions specified in the standard was divided by the weight of the test portion and expressed as a percentage by weight.

-Nitrogen content. was determined according to DSTU ISO 937:2005 (Meat and meat products, 2007c). The quantity of nitrogen corresponding to the ammonia produced and was determined by digestion of a test portion with concentrated sulphuric acid, using copper(II) sulphate as a catalyst, to convert organic nitrogen to ammonium ions; alkalization, distillation of the liberated ammonia into an excess of boric acid solution, titration with hydrochloric acid to determine the ammonia bound by the boric acid, and calculation of the nitrogen content of the sample from the amount of ammonia produced.

-Mass fraction of total ash. taken as the weight of the mineral substance residue obtained after drying, charring and ashing the test sample at a temperature of $(550 \pm 25) \text{ }^{\circ}\text{C}$, expressed as a percentage.

The ratio of fat content to the content of protein in the sample was also determined by dividing the first of the specified parameters by the second and expressing it as a decimal fraction.

The values of water-holding capacity (WHC). were determined according to the filter paper press method (Grau & Hamm, 1957).

At the next stage, the relationship of the obtained results with the tissue composition of graded meat and its chemical characteristics were analyzed.

The energy value. was determined by the calculation method laid out in (Basonov & Sudakova, 2022) according to equation 2:

$$E = [D - (F + A)] \cdot 4.1 + (F \cdot 9.3) \quad \text{Eq 2.}$$

Where:

- E is energy value of meat, kcal;
- D is weight of dry matter, g;
- A is weight of ash, g;
- F is weight of fat, g.

Statistical analysis

The number n of measurements of each parameter was carried out 5 times, calculations were made of average values, standard deviation and correlation coefficient for water, fat and total protein. Statistical data processing was carried out using Microsoft Excel 2010 software. The

results of five-fold replicates were expressed as mean ± standard errors.

Results and discussion

Determination of the tissue content of the meat

The tissue content of meat, meat-lard and lard breeds of pigs was determined. Pork was sorted into three grades: lean, semi-fatty, and fatty. Based on the concept outlined in (Bekhit, 2017), when sorting trimmed meat of enterprises, optimal ratios of trimmed meat grade indicators were: lean pork – 40 %, semi-fatty – 40 %, fatty – 20 % – all by weight.

The scheme for sorting meat in the production shops of meat processing enterprises was based on a visual selection of meat raw materials based on the content of fat tissue. In this case, the term “fat tissue” means a combination of adipose and connective tissue, since it is almost impossible to visually separate them (Sokolenko *et al.*, 2021). Lean pork is recommended to contain about 10 % fat tissue, semi-fat pork – from 30 % to 50 %, fatty pork – over 50 % – all by weight (Technological, 1998).

The results of weighing muscle and fat tissue by grade of trimmed meat are presented in Table 1.

Table 1

Tissue content of different breeds of pigs

	Tissue content by breeds, % by weight					
	Lean pork		Semi-fatty pork		Fatty pork	
	Muscle	Fatty	Muscle	Fatty	Muscle	Fatty
Meat	93.23±2.32	6.77±2.32	77.29±2.38	22.71±2.38	44.38±2.46	55.62±2.46
Meat-lard	89.20±1.10	10.80±1.10	69.15±3.35	30.85±3.35	45.00±2.89	55.00±2.89
Lard	87.60±3.70	12.40±3.70	52.42±3.36	47.58±3.36	35.00±2.45	65.00±2.45

Based on the weighing results (**Table 1**), it was determined that the least amount of fat tissue is contained in lean pork obtained from meat breed pigs. Its content was 6.77 %. Considering that the scheme of sorting used for animals of all breeds was the same, the carcasses of pigs belonging to this breed, according to the data of the Kolos private enterprise (Chernivtsi region), in general had (16.8 % – 28.0 %) by weight less fat tissue than the carcasses of meat-lard and lard breed pigs.

The minimum amount of fat tissue is also recorded in semi-fat pork obtained from pigs of meat breeds, with a percentage equal to 22.71 % (**Table 1**). In this case, its content is even lower than the regulated minimum value by (7.29 %) by weight, (Technological, 1998). When analyzing the obtained results, it is noteworthy that the greatest variation in tissue composition indicators was observed in semi-fatty pork. The fat content in this variety, obtained during the processing of experimental pigs of different

breeds, was from 22.71 % to 47.58 % by weight (**Table 1**). The difference of fat tissue content in fatty pork varies from 55.00 % to 65.00 % depending upon the breed of animals. The above variations can be explained both by the productive characteristics of the breeds classified as fatty ones as well as by individual traits of the animals studied in the frame of this research.

Thus, the tissue composition of graded meat is effected by the breed of the animal: from meat breed pigs, when trimming and sorting meat, we generally obtained (13 % – 46 %) by weight less fat tissue than from meat-lard and lard breed pigs. The tissue composition of all meat grades is characterized by a significant spread of values for the content of fat tissue.

Chemical composition of graded meat

At the next stage of the study the chemical composition of graded meat was determined, as shown in **Table 2**.

Table 2

Chemical composition of different grades of pork

Parameter, % by weight	Pig breed								
	Meat			Meat-lard			Lard		
	Lean pork	Semi-fatty pork	Fatty pork	Lean pork	Semi-fatty pork	Fatty pork	Lean pork	Semi-fatty pork	Fatty pork
Water	72.89±4.89	56.08 ± 2.18	31.91 ± 2.90	69.19 ± 2.65	50.59 ± 2.90	31.73 ± 1.91	66.38 ± 2.90	37.94 ± 2.91	23.75 ± 2.50
Fat	6.44 ± 2.97	27.67 ± 0.54	58.43 ± 0.70	11.36 ± 2.34	34.73 ± 0.64	58.32 ± 0.20	15.08 ± 5.05	50.96±4.20	68.91 ± 2.18
Total protein	19.59±2.00	15.15 ± 3.00	8.58 ± 1.80	18.25 ± 0.31	13.60 ± 2.36	8.87 ± 2.50	17.47 ± 0.20	10.20 ± 0.50	6.25 ± 0.25
Ash	1.08±0.04	1.10 ± 0.06	1.08 ± 0.04	1.20 ± 0.03	1.08 ± 0.06	1.08 ± 0.04	1.07 ± 0.03	0.90 ± 0.06	1.09 ± 0.02

As can be seen from the **Table 2**, the fat content in semi-fatty pork obtained by processing experimental pigs varied from 27.67 % to 50.96 % by weight according to the breed, in fatty pork – from the fat content varied in greater average from 58.32 % to 68.91 % by weight. There are similar differences in the

amount of water varied from 23.75 % to 31.91 % in fatty pork and 66.38 % to 72.89 % – in lean pork. Protein in meat of the same variety, but obtained from half carcasses of pigs of different breeds had such a variation of values from 6.25 % to 8.87 % in fatty pork and from 17.47 % to 19.59 % in lean pork.

The fat content determined by the chemical method exceeds the percentage of fat tissue separated from muscle tissue by preparation. Obviously, the fat extraction method let extracting fat from meat in the maximum volume (Sergeeva, 2024). Therefore, its content indicators obtained by the chemical method have higher values.

Comparative analysis of chemical variables

The degree of variability of the chemical composition indicators of lean, semi-fatty, fatty pork was evaluated by analyzing their comparative characteristics. The results of calculations of the standard deviation and the coefficient of variation of the indicators of water, fat, and protein of meat by grade are presented in Table 3.

Table 3

Comparative characteristics of the main indicators of the chemical composition of trimmed meat by grade

Parameter	Value of a parameter, % by weight			Standard deviation, σ	Coefficient of variation, $(\sigma/S_{\text{mean}})*100\%$, %
	S_{min}	S_{mean}	S_{max}		
Lean pork					
Water	63.48	69.48	77.78	1.62	2.33
Fat	3.47	10.96	20.13	1.18	10.76
Total protein	17.27	18.43	21.59	1.41	7.65
Semi-fatty pork					
Water	35.03	48.20	58.26	2.20	4.56
Fat	27.13	37.78	55.16	4.76	12.59
Total protein	9.70	12.98	18.15	1.30	10.01
Fatty pork					
Water	21.25	29.13	34.81	1.60	5.49
Fat	58.02	61.22	71.09	4.72	7.70
Total protein	6.00	7.90	11.37	1.11	14.05

The characteristic of the variation values of the feature in the aggregate, i.e. the standard deviation (σ) indicates a relatively large range of variation of the fat index in semi-fatty and fatty pork (4.76 and 4.72). The coefficients of variation of the fat index, in turn, show a significant spread of the values of this indicator (10.76 %, 12.59 %, 7.70 %). High values of the variation coefficients are also typical for the total protein index in semi-fatty and fatty pork (Bal-Prylypko *et al.*, 2022) Table 3.

Based on the analysis of the comparative characteristics of the main indicators of the chemical composition of trimmed meat by grade, we can make a general conclusion that the indicators of the chemical composition are characterized by variability, and the degree of its expression is maximal for fat and protein.

Variability or spread of fat and protein indicators causes the variability of the FTP of trimmed meat assigned to one grade. The

processes of water binding, fat binding, stability of the minced meat system depend on the FTP, i.e. processes that in turn determine the qualitative characteristics of the product, its yield (Munekata *et al.*, 2021). The said variability prevents from manufacturing meat products with uniform nutritional characteristics which is not feasible for the craft meat products of the desired uniqueness but being rather a problem

issue for the industrial manufacturers who are to indicate the content of ingredients as well as nutritional value at the labels.

Water and fat content analysis

On the other hand, the obtained results of determining the water and fat of trimmed meat by grade are presented in **Table 4**.

Table 4

Water and fat content in different types of meat

Pork grade	Content, % (by weight)		
	Water	Fat	
		Generalized	Normative
Lean	66.38 – 72.89	6.44 – 15.08	< 10 (FT)*
Semi-fatty	37.94 – 56.08	27.67 – 50.96	30 – 50 (FT)
Fatty	23.75 – 31.91	58.32 – 68.91	50 – 85 (FT)

Note. *) FT – fat tissue.

For a more objective assessment of the quality of desinewed meat, it is advisable to determine the fat content by chemical extraction, since when determining this indicator by dissection it is problematic to assess the actual ratio of muscle, fat and connective tissue in meat. In lean pork, the amount of fat determined by extraction exceeds the said amount determined by dissection. This is explained by the fact that dissection does not allow for the complete extraction of intermuscular fat, whereas it is separated by extraction. When determining the fat content in lean pork by extraction, the values of this indicator exceeded the values obtained by dissection by 4 % – 20 %. In semi-fatty and fatty pork, the amount of fat determined by extraction was less than the amount determined by dissection, since when separating fat from such meat, flesh lump is inevitably removed (Salavatulina, 2005).

Characteristics of trimmed meat by grade

The data presented in **Table 5** show that minimal and maximal values of water to protein ratio for three breeds of pork do not differ radically. Contrary to this, it happened with the ratios fat to protein as well as water to fat. For the ratio fat to protein S_{min} and S_{max} were correspondingly: 0.86 and 0.32 for the lean pork, 4.99 and 1.82 for semi-fatty pork, 11.02 and 6.57 for fatty pork. For the ratio water to fat S_{min} and S_{max} were correspondingly: 4.40 and 11.31 for the lean pork, 0.74 and 2.02 for semi-fatty pork, 0.34 and 0.54 for fatty pork. This confirms that the existing sorting schemes are unable to ensure the homogeneity of the chemical composition of meat raw materials in each processed batch of pigs, which leads to significant fluctuations in the chemical composition of the finished product (Nitsenko, 2019; Shalushkova & Gordynets, 2021).

Table 5

Quality characteristics of trimmed meat by grade

Parameter	Parameter values								
	Lean pork			Semi-fatty pork			Fatty pork		
	S _{min}	S _{int}	S _{max}	S _{min}	S _{int}	S _{max}	S _{min}	S _{int}	S _{max}
Water, % by weight	66.38	69.19	72.89	37.94	50.59	56.08	23.75	31.91	31.73
Fat, % by weight	15.08	11.36	6.44	50.96	34.73	27.67	68.91	58.43	58.32
Total protein, % by weight	17.47	18.25	19.59	10.20	13.60	15.15	6.25	8.58	8.87
Ratios:									
water to protein	3.79	3.79	3.72	3.71	3.71	3.70	3.80	3.71	3.57
fat to protein	0.86	0.62	0.32	4.99	2.55	1.82	11.02	6.81	6.57
water to fat	4.40	6.09	11.31	0.74	1.45	2.02	0.34	0.54	0.54
WHC, % to initial minced meat	58.90	62.70	65.80	36.95	52.80	53.0	–	–	–
Energy value, kcal	206	175	136	499	367	310	645	586	560

Note. (–) When pressing fatty pork, the wet spot obtained by the WHC determination method was not formed, inhibiting the calculation of the WHC value specific to fatty pork.

In meat systems, the behavior of protein as the main stabilizing component is always considered in relation to other components (water, fat). Therefore, there is a need to use additional quality characteristics of trimmed meat, as those evaluated in this study, which include considering: the water to protein, fat to protein, and water to fat ratios. The ratios presented in **Table 5** and discussed above show, that the amount of water is directly dependent on the amount of protein.

The chemical composition of trimmed meat is of great importance for ensuring the quality of sausages and the economy of sausage production (Wood, 2017). First of all, it is necessary to take into account the quantitative content of muscle salt-soluble proteins in minced meat: the more of them, the higher the emulsifying capacity and, accordingly, the higher the proportion of fat in the meat system (minced meat) can be. At the same time, the emulsifying capacity of protein is limited, therefore the must rational fat to

protein ratio in emulsion systems is (0.6 – 0.8):1 by weight. In domestic practice, the optimum protein to fat to water ratio is considered to be 1:0.8:(3 – 5) by weight (Meat industry, 2005).

When analyzing the sorting schemes in different countries, a general trend is the following: the assessment of meat grade is directly related to the location of certain parts of the carcasses from which the meat was separated during trimming and sorting (Keim & Franke, 2007).

The water to fat and fat to protein ratios differ significantly, which means that these characteristics more accurately reflect the FTP of trimmed meat. Thus, the fat to protein ratio also increases with an increase in the fat content of trimmed meat and is maximum in fatty pork (6.81) and minimum in lean pork (0.62). The water to fat ratio, on the contrary, decreases with an increase in the fat content of trimmed

meat and has minimum values in fatty pork (0.54) and maximum – in lean pork (6.09). The issue of fat-protein ratio in pork and factors influencing the said index is discussed in Bondi & Rechcigl (2018) and Noblet *et al.* (2022), but the information given there is not presented in a way that allows to compare it with data obtained in the course of our research.

Analyzing the ratio values it is possible to indicate that the content of protein and fat in the meat is of decisive importance for the FTP of trimmed meat. The property of meat proteins to absorb added water is defined as water absorption capacity (water absorption) (Toldrá & Reig, 2014). The presence of hydrophilic and hydrophobic groups in protein molecules determines the orientation of polar groups to water and non-polar groups to fat, resulting in the formation of an interfacial adsorption layer. Therefore, to assess the ratio of meat proteins to water and fat, it is advisable to consider the characteristics of water and fat absorption. According to the results of studies of the WHC of minced meat from lean, semi-fatty, fatty pork, presented in **Table 5**, it is clear that with an increase in protein and water in the meat system, its WHC increases and acquires a maximum value in lean pork with a minimum fat content.

With an increase in the fat content from 27.67 % to 50.96 % by weight in semi-fatty pork, the WHC significantly decreased – from 53.00 % to 36.95 %, respectively. It can be explained by a decrease in the water content in the meat system. In this case, water molecules are spent on ensuring the hydrophobic interaction of proteins and fats, since proteins are more likely to have emulsifying functions. Protein and water form a matrix that surrounds the fat (Sini *et al.*, 2008). It is for this reason that in the process of determining the WHC of minced fatty pork, WHC had negligible values, close to zero. Since the wet spot obtained according to

the WHC determination method did not form when pressing fatty pork, it was not possible to calculate a specific WHC value in this case, see **Table 5**.

The results obtained are consistent with the opinion of other authors such as Sychevskyi *et al.* (2021), Tayeva *et al.* (2023) and Palamarchuk *et al.* (2024). Thus, it had been established that simultaneous growth and optimal values of water-binding and fat-retaining capacity of minced meat are observed with a total protein and fat content of 11.7 % and 33.7 % by weight, respectively. Optimal fat to protein ratio of 2.0: 2.5 by weight was observed in minced meat with a fat content of 27.67 % – 34.73 % by weight and a total protein content of 15.15 – 13.60 % by weight, i.e. with values close to those indicated in Salavatulina (2005).

Conclusions

Analysis of the obtained results allowed establishing that with an increase in the fat to protein ratio, the WHC of minced meat systems decreases. This means that during the preparation of minced meat, along with water binding, proteins take part in fat binding, and these processes have opposite directions under certain conditions.

Simultaneous growth of water absorption, fat absorption and optimal WHC values were observed in semi-fatty pork. Moreover, the WHC value, having reached 53 % by weight, with a fat content of 27.67 % and protein of 15.15 % by weight, remained practically at the same level with an increase in the fat content to 34.73 % by weight. That is, from the standpoint of assessing the FTP of semi-fatty pork with a fat content of 28 % to 35 % by weight according to the studied characteristics, it has a sufficiently high technological potential, namely, the ability to form stable minced systems.

Based on the obtained results, it can be recommending the fat to protein ratio as a criterion for assessing the compatibility of ingredients in a minced meat system. In this case, using the example of studying the FTP of trimmed meat, this ratio should be in the range from 2.0 % to 2.5 % by weight, which guarantees a sufficiently high ability of minced meat to bind and retain water and fat.

Acknowledgements

We express our gratitude to the staff of the Department of Meat Products Technology of the Institute of Food Resources of NAAS for their active participation in the research, as well as to the management and staff of the private enterprise Kolos (Chernivtsi region, Ukraine) for the experimental materials provided.

References

- Bal-Prylypko, L., Yancheva, M., Paska, M., Ryabovol, M., Nikolaenko, M., Israeli, V., ... & Nazarenko, M. (2022). The study of the intensification of technological parameters of the sausage production process. *Slovak Journal of Food Sciences*, 16. <https://doi.org/10.5219/1712>
- Basonov, O. A., & Sudakova, A. V. (2022). Chemical composition and nutritional value of different genotypes of sturgeon in industrial production. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2 (58), 178–184. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-178-184>
- Bekhit, A. E. D. A. (Ed.). (2017). *Advances in meat processing technology*. CRC Press.
- Bondi, A., & Rechcigl, M. (2018). Nutrition and animal productivity. In *Handbook of agricultural productivity* (pp. 195–212). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351072861>
- de Araújo, P. D., Araújo, W. M. C., Patarata, L., & Fraqueza, M. J. (2022). Understanding the main factors that influence consumer quality perception and attitude towards meat and processed meat products. *Meat Science*, 193, 108952. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108952>
- Chen, C., Zhu, J., Ren, H., Deng, Y., Zhang, X., Liu, Y., ... & Peng, Y. (2021). Growth performance, carcass characteristics, meat quality and chemical composition of the shaziling pig and its crossbreeds. *Livestock Science*, 244, 104342. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104342>
- Gagaoua, M., Duffy, G., Alvarez, C., Burgess, C. M., Hamill, R., Crofton, E., Botinestean, C., Ferragina, A., Cafferky, J., Mullen, A. M., & Troy, D. (2022). Current research and emerging tools to improve fresh red meat quality. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 61(1), 145–167. <https://doi.org/10.15212/ijafr-2020-0141>
- Grau, R., & Hamm, R. (1957). Über das Wasserbindungsvermögen des Säugetiermuskels. II. Mitteilung. Über die Bestimmung der Wasserbindung des Muskels. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 105, 446–460. <https://doi.org/10.1007/BF01126901>
- Kara, R., Acaröz, U., Gürler, Z., & Soylu, A. (2021). Bazı et ürünlerinin fizikokimyasal özelliklerinin araştırılması. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi*, (2), 5–12. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1743733>
- Keim, H., & Franke, R. (2007). *Fachwissen Fleischtechnologie* (Vol. 2). Deutscher Fachverlag, 481 p.
- Kipper, M. M., Marcoux, M., Andretta, I., & Pomar, C. (2019). Assessing the accuracy of measurements obtained by dual-energy X-ray absorptiometry on pig carcasses and primal cuts. *Meat Science*, 148, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.005>
- Kopylova, K., & Verbytskyi, S. (2015). Effect of ante-mortem factors and slaughter methods on commercial quality of pork. *Animal Breeding and Genetics*, 49, 100–106. http://digest.iabg.org.ua/images/digest/49/Animal_breeding_and_genetics_49.pdf
- Kryzhova, Y., Slobodenyuk, N., & Moskalenko, I. (2023). Application of modern technologies to improve the quality of sausage products. *Scientific Journal 'Animal Science & Food Technologies'*, 14(1). <https://doi.org/10.31548/animal.1.2023.49>
- Latoch, A., Wójciak, K. M., Popek, S., Rohn, S., & Halagarda, M. (2021). Technological properties and selected safety aspects of different cuts of organic and conventional pork. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(12), 6192–6203. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15217>
- Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022). Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. *Animal*, 16, 100402. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100402>
- Masoumi, M., Marcoux, M., Maignel, L., & Pomar, C. (2021). Weight prediction of pork cuts and tissue composition using spectral graph wavelet. *Journal of Food Engineering*, 299, 110501. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110501>
- Matarneh, S. K., Silva, S. L., & Gerrard, D. E. (2021). New insights in muscle biology that alter meat quality. *Annual review of animal biosciences*,

- 9(1), 355–377. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083902>
- Meat industry. Manufacturing of meat products. Terms and definitions of concepts. National Standard of Ukraine DSTU 4424:2005. (2005). – [In force from 2006–01–01]. – Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy, 28 p.
- Meat and meat products. Determination of total fat content. DSTU ISO 1443:2005. (2007a). – [In force from 2006–04–01]. – Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy, 8 p.
- Meat and meat products. Determination of water content (Reference method). DSTU ISO 1442:2005. (2007b). – [In force from 2006–04–01]. – Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy, 8 p.
- Meat and meat products. Determination of nitrogen content (Reference method). DSTU ISO 937:2005. (2007c). – [In force from 2006–04–01]. – Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy, 10 p.
- Munekata, P. E., Pateiro, M., Franco, D., & Lorenzo, J. M. (Eds.). (2021). *Pork: Meat Quality and Processed Meat Products*. CRC Press.
- Nitsenko, V. S. (2019). Problems and directions of optimization of pork production costs. *Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture*, Issue 202 "Economic Sciences", 198–209.
- Noblet, J., Labussière, E., Renaudeau, D., & van Milgen, J. (2022). Energy and energy metabolism in swine. *Sustainable swine nutrition*, 65–101. <https://doi.org/10.1002/9781119583998.ch3>
- Novgorodska, N., & Verbytskyi, S. (2022). Theoretical basics and technological characteristics of pork with typical syndromes. *Știința Agricolă*, (2), 60–65. <https://doi.org/10.55505/sa.2022.2.07>
- Over, C., Prottengeier, B., Magner, R., Zang, S., Schultheiß, U., & Bergschmidt, A. (2023). Tierkörperbeseitigung Rind und Schwein: Erhebungsleitfaden Nationales Tierwohl-Monitoring. Konsortium des Projektes Nationales Tierwohl-Monitoring (NaTiMon), 29 p. <https://doi.org/10.3220/MX1681994424000>
- Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Vasylyv, V., Stefan, E., Priss, O., Babych, I., ... & Pushanko, N. (2024). Modelling the centrifugal mixing process of minced meat to optimise the production of chopped meat semi-finished products. *Potravinarstvo*, 18. <https://doi.org/10.5219/1959>
- Petranović, Z., Cvrtila, Ž., & Mikuš, T. (2021). Utjecaj uzgoja na kvalitetu mesa svinja. *MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu*, 23(2.), 155–160. <https://doi.org/10.3127/m.23.2.1>
- Razmaitė, V., Juška, R., Leikus, R., & Jatkauskienė, V. (2021). Pork quality of two Lithuanian breeds: Effects of breed, gender and feeding regimen. *Animals*, 11(4), 1103. <https://doi.org/10.3390/ani11041103>
- Salavatulina, R. V. (2005). *Rational use of raw materials in sausage production*. GIORD, 236 p.
- Sergeeva, A. S. (2024). Current issues in determining fat content in food products and food raw materials (review). *Measurement Standards. Reference Materials*. 20(1), 59–84. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-1-59-84>
- Senčić, Đ., & Samac, D. (2024). Kvaliteta organskoga svinjskog mesa. *MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu*, 26(1.), 68–73. <https://hrca.hr/314591>
- Shalushkova, L. P., & Gordynets, S. A. (2021). Rational schemes of meat cutting for retail trade. *Actual issues of processing of meat and dairy raw materials*, (2), 90–98.
- Sini, T. K., Santhosh, S., Joseph, A. C., & Ravisankar, C. N. (2008). Changes in the characteristics of rohu fish (*Labeo rohita*) sausage during storage at different temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32(3), 429–442. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00188.x>
- Sokolenko, V. V., Vinnikova, L. G., Samilyk, M. M., & Bolgova, N. V. (2021). Regulation of qualitative indicators of fatty tissue before slaughter. *Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 26, 78–85. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-26-11>
- Sychevskiy, M., Voitsekhivska, L., Kopylova, K., Verbytskyi, S., & Okhrimenko, Y. (2021). Criterial features of the structural characteristics of fine-textured poultry meat. *Food Science & Technology*, (2073–8684), 15(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v15i1.1965>
- Tayeva, A., Kozhakhliyeva, M., Jetpisbayeva, B., Tlevlessova, D., Samadun, A., & Valiyev, A. (2023). Development of technology of boiled sausage from non-traditional raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122(11). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277494>
- Technological instructions for deboning and desinewing meat. (1998). Kyiv: National Association of Meat and Meat Products Producers of Ukraine "Ukrmyaso", 21 p.
- Teixeira, A., & Rodrigues, S. (2021). Consumer perceptions towards healthier meat products. *Current opinion in food science*, 38, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.004>
- Toldrá, F. (2006). *Meat: chemistry and biochemistry*. Handbook of Food Science, Technology and Engineering, Y. Hui, Ed., CRC Press, Taylor &

Francis Group, Boca Raton, FL, USA.

Toldrá, F., & Reig, M. (2014). The biochemistry of meat and fat. *Handbook of fermented meat and poultry*, 47-54. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118522653>

Wood, J. D. Chapter 20 – Meat Composition and Nutritional Value. In *Lawrie's Meat Science (Eighth Edition)* (ed. Toldra, F.), 635-659 (Woodhead Publishing, 2017). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00020-0>.