

Agentes acidulantes y reguladores de pH: Revisión narrativa en confitería y bebidas

Acidulants and pH Regulators: A Narrative Review in Confectionery and Beverages

*Belen Madai Flores Hernández^a, Jesús Guadalupe Pérez Flores^b,
Emmanuel Pérez Escalante^c, Laura García Curiel^d,
Rita Paz Samaniego^e, Juan Ramírez Godínez^f, Nayeli Vélez Rivera^g*

Abstract:

The food industry aims to develop products that are sensorially appealing, stable, and safe, promoting the use of acidulants and pH regulators with specific technofunctional properties. This study reviewed the main acidulant compounds used in foods, highlighting their origin, physicochemical characteristics, sensory effects, and technological applications, with emphasis on confectionery. Recent scientific information was integrated to classify them by chemical nature and production methods, both conventional and fermentative. The impact of organic acids on flavor, texture, and synergy with sweeteners and gelling agents was analyzed. Regulatory and sustainability aspects were also discussed. In conclusion, acidulants are key components for modulating organoleptic and technological properties, optimizing confectionery formulation and consumer acceptance.

Keywords:

Acidulants, confectionery, sensory, fermentation, regulators.

Resumen:

La industria alimentaria busca desarrollar productos sensorialmente atractivos, estables y seguros, lo que impulsa el uso de acidulantes y reguladores de pH con propiedades tecnofuncionales. Este estudio revisó los principales compuestos acidulantes empleados en alimentos, destacando su origen, características fisicoquímicas, efectos sensoriales y aplicaciones tecnológicas, con énfasis en la confitería. Se integró información científica reciente para clasificarlos según su naturaleza química y métodos de producción, tanto convencionales como fermentativos. Se analizó el impacto de ácidos orgánicos sobre sabor, textura y sinergia con edulcorantes y gelificantes. También se abordaron aspectos regulatorios y sostenibles. En conclusión, los acidulantes son componentes clave para modular propiedades organolépticas y tecnológicas, optimizando la formulación y aceptación de productos de confitería.

Palabras Clave:

Acidulantes, confitería, sensorialidad, fermentación, reguladores.

a, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0009-0002-9717-6776>, Email: fl361948@uaeh.edu.mx

b, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3469>, Email: jesus_perez@uaeh.edu.mx

c, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-4268-9753>, Email: emmanuel_perez@uaeh.edu.mx

d, Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-8961-2852>, Email: laura.garcia@uaeh.edu.mx

e, Universidad de Sonora, <https://orcid.org/0000-0001-5682-2570>, Email: rita.paz@unison.mx

f, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-7718-0546>, Email: juan_ramirez@uaeh.edu.mx

g, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-6890-2340>, Email: nayeli_velez@uaeh.edu.mx

Fecha de recepción: 04/11/2025, Fecha de aceptación: 30/11/2025, Fecha de publicación: 30/01/2026

DOI: <https://doi.org/10.29057/icea.v14iEspecial.16475>



Introducción

Los agentes acidulantes son compuestos, principalmente ácidos orgánicos débiles, que se incorporan a los alimentos y bebidas para modificar el perfil organoléptico, mejorar la experiencia sensorial, regular el pH y favorecer procesos tecnológicos como la gelificación, la conservación y la quelación de iones metálicos [1-6].

Desde la antigüedad, los ácidos orgánicos han estado presentes en la alimentación humana; el ácido láctico, derivado de la fermentación de la leche, y el ácido acético, procedente del vinagre, son ejemplos representativos que aún conservan relevancia tanto en la gastronomía como en la industria moderna [7,8].

Actualmente, los acidulantes se obtienen mediante procesos de fermentación o por síntesis química, y la elección del método incide directamente en la disponibilidad, el costo y la pureza del producto final [9].

En la industria alimentaria, los principales acidulantes son los ácidos acético, cítrico, málico, tartárico, láctico y fumárico [10,11]. La diversidad de métodos de producción responde a criterios tecnológicos, económicos y ambientales; cada técnica repercute de manera distinta en la funcionalidad, sostenibilidad y viabilidad industrial del compuesto, dependiendo de factores como la naturaleza de la materia prima, el tipo de producto alimenticio y los costos de operación y purificación [9,12].

La acidez ejerce una influencia decisiva en las características sensoriales y fisicoquímicas de los alimentos. Contribuye a realzar el sabor y la percepción de frescura en productos como encurtidos, bebidas y confitería, especialmente en caramelos y gomitas [13].

Además, el pH afecta la estabilidad del color, ya que las antocianinas son sensibles a los cambios de acidez y modifican su tonalidad en función del entorno [14]. Niveles bajos de pH, obtenidos mediante la adición de ácido cítrico, reducen el pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas, preservando su calidad visual [15,16]. También influyen en la textura: la gelificación proteica en productos lácteos varía según el pH, modificando la consistencia de yogures y quesos [17,18].

Durante la elaboración de productos de confitería, los acidulantes regulan la cristalización del azúcar, contribuyen a la extracción de pectinas y pigmentos, y mejoran la percepción de sabor [19-21]. Entre ellos, el ácido cítrico se distingue por su eficacia, al proporcionar una acidez más equilibrada y agradable en comparación con otros como el fosfórico, láctico o tartárico [4,10]. Sin embargo, un control inadecuado del pH puede provocar alteraciones nutricionales y sensoriales que disminuyen la aceptación del producto [22].

En términos estructurales, los ácidos se dividen en orgánicos e inorgánicos. Los primeros, como el ácido cítrico y el ácido láctico, se originan de forma natural, frecuentemente a partir de procesos fermentativos; el ácido cítrico abunda en frutas cítricas, mientras que el ácido láctico se genera por la acción de bacterias ácido-lácticas durante la fermentación de carbohidratos [10,11,23-25]. Los ácidos inorgánicos, como el fosfórico y el clorhídrico, poseen una acidez más intensa y se emplean con menor frecuencia en alimentos debido a limitaciones de seguridad y compatibilidad sensorial [26,27].

Con base en lo anterior, el objetivo de esta contribución es ofrecer una visión integral sobre los agentes acidulantes y reguladores de pH empleados en la industria alimentaria, considerando sus procesos de producción, propiedades fisicoquímicas, aplicaciones prácticas y su influencia en la textura, la conservación y el perfil sensorial de los alimentos. De esta manera, se busca proporcionar una base sólida de conocimiento sobre sus aplicaciones industriales, útil para estudiantes de ciencias de los alimentos, tecnólogos, desarrolladores de productos y otros profesionales interesados en el tema.

Procesos de producción de los agentes acidulantes y de los reguladores de pH en la industria

Proceso de producción de los acidulantes

Los acidulantes, al igual que otros aditivos alimentarios, pueden obtenerse de fuentes naturales, por fermentación o mediante síntesis química. Ejemplos representativos incluyen el ácido tartárico de origen natural, los ácidos cítrico, láctico y fumárico producidos por fermentación, y los ácidos málico y fosfórico obtenidos por rutas sintéticas. Su clasificación en orgánicos o inorgánicos depende de su estructura química y del proceso de obtención [9]. Los métodos de producción determinan la pureza, funcionalidad, costo y disponibilidad del

compuesto, así como su desempeño sensorial dentro de los alimentos. En la práctica industrial, se priorizan los procesos con mayor rendimiento y menor costo operativo [12].

Tradicionalmente, la producción de acidulantes ha dependido de la fermentación microbiana [9]. El ácido cítrico, por ejemplo, se genera mediante la fermentación de azúcares por *Aspergillus niger*, seguida de una etapa de purificación que incluye precipitación con sales cárnicas y cristalización, obteniendo un producto de alta pureza apto para uso alimentario [28,29]. Actualmente, este proceso se ha optimizado mediante fermentación en estado sólido y el uso de sustratos alternativos como el bagazo de caña de azúcar, lo que incrementa la eficiencia y reduce los costos de producción, además de fomentar el aprovechamiento de residuos agroindustriales [30].

De forma análoga, el ácido láctico se produce por fermentación con bacterias del género *Lactobacillus*, seguido de etapas de purificación mediante filtración por membranas y cromatografía de intercambio iónico para obtener un producto de grado alimenticio [31,32]. El ácido málico, en cambio, puede obtenerse por síntesis química o mediante bioprocessos con *Aspergillus oryzae*; la vía biotecnológica se considera más sostenible y puede incluir etapas de cristalización o extracción reactiva para su purificación [33–35].

El ácido tartárico se recupera de subproductos vinícolas como el mosto o el vino, a través de etapas controladas de precipitación y cristalización que aseguran su pureza [36,37]. En el caso del ácido fumárico, la industria suele emplear la isomerización del ácido maleico derivado del petróleo, seguido de cristalización para alcanzar el grado alimenticio requerido [31,38].

Las innovaciones recientes han impulsado tecnologías que integran la acidificación controlada con otros métodos de conservación. La llamada “tecnología de barreras” combina una acidificación suave con tratamiento térmico, logrando productos más estables y de mejor calidad. Un ejemplo es el uso de glucono-delta-lactona (GdL) en la elaboración de pan que reduce en grasa, donde mejora la textura y extiende la vida útil [39,40]. En panadería, los sistemas acidulantes multicomponentes, mezclas de ácidos orgánicos y enzimas, se emplean para retardar el envejecimiento del pan y conservar su aroma y frescura [41].

El tipo y la concentración del acidulante también inciden en las propiedades sensoriales. La aplicación de ácido cítrico, por ejemplo, mejora la recuperación de componentes lácteos durante la elaboración de quesos procesados [42] y reduce el pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas, manteniendo su color y textura durante el almacenamiento [15,16].

Los procesos de obtención de acidulantes abarcan estrategias que van desde la fermentación microbiana y la extracción natural hasta la síntesis química y la aplicación de tecnologías combinadas. Cada enfoque difiere en términos de rendimiento, pureza, sostenibilidad y viabilidad industrial, y su elección depende de factores como la materia prima disponible, el tipo de alimento al que se destina y los costos de producción y purificación.

En la Tabla 1 se presenta una comparación entre los principales métodos de producción de acidulantes utilizados en la industria.

Tabla 1. Comparación de métodos de producción de acidulantes utilizados en la industria alimentaria

Método de producción	Ventajas	Desventajas	Ref
Fermentación microbiana tradicional (ej. <i>Aspergillus niger</i> para ácido cítrico)	Alta pureza del producto final; proceso ampliamente establecido; adecuado para producción a gran escala.	Velocidad de producción relativamente lenta; requiere condiciones ambientales estrictas; costos elevados si no se optimiza.	[9,28]
Fermentación en estado sólido (ej. producción de ácido cítrico en bagazo de caña)	Aprovechamiento de residuos agroindustriales; reducción significativa de costos; proceso más sostenible.	Control de parámetros más complejo; mayor variabilidad entre lotes.	[30]
Síntesis química (ej. ácido málico a partir de anhídrido maleico)	Alta eficiencia y rendimiento; control total de condiciones de reacción; excelente escalabilidad industrial.	Generación de mezclas racémicas; dependencia de insumos petroquímicos.	[34]
Fermentación biotecnológica moderna (ej. ácido málico con <i>Aspergillus oryzae</i>)	Mayor sostenibilidad; rendimientos mejorados; menor impacto ambiental.	Requiere procesos avanzados de purificación; altos costos iniciales de investigación y desarrollo.	[29,35]
Extracción natural (ej. ácido tartárico de residuos vinícolas)	Uso de recursos renovables; baja huella ambiental; costo reducido cuando se aprovechan subproductos.	Pureza dependiente de la materia prima; limitado a regiones con producción vinícola.	[36,37]
Isomerización química (ej. ácido)	Proceso rápido y eficiente; reacción controlable bajo condiciones industriales.	Derivado de fuentes petroquímicas; puede	[31,38]

fumárico a partir de ácido maleico)	requerir purificación adicional.
Tecnología de barreras (ej. uso de GdL en paneeer)	Mejora sensorial y prolongación de la vida útil; acidificación suave y controlada; compatible con procesos de mínima intervención.
Uso de acidulantes multicomponentes	Previene deterioros específicos, como el envejecimiento del pan; mejora el aroma, la textura y la frescura.

Proceso de producción de los reguladores de pH

Los reguladores de pH empleados en alimentos se obtienen mediante rutas industriales que aseguran su pureza y estabilidad, permitiendo su uso en diversas aplicaciones tecnológicas. Entre los más comunes se encuentran el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y el bitartrato de potasio o cremor tártaro, ampliamente utilizados en panadería, confitería y productos fermentados.

El bicarbonato de sodio se produce principalmente por el proceso Solvay, que utiliza cloruro de sodio, amoníaco y dióxido de carbono. Durante el proceso, la reacción de estos componentes en una solución de salmuera amoniacal genera la precipitación del bicarbonato, el cual se separa, cristaliza y seca para eliminar impurezas y ajustar su contenido de humedad [43–46]. Su adición en alimentos regula el pH y contribuye a mejorar la textura, el volumen y la porosidad de los productos [47,48].

El cremor tártaro se recupera de los subproductos de la vinificación, donde el bitartrato de potasio precipita naturalmente durante la fermentación alcohólica. El material cristalino obtenido se purifica mediante recristalización y lavado, asegurando su calidad y eliminación de compuestos indeseables [49–51]. En la industria alimentaria, actúa como regulador de pH y estabilizante, favoreciendo la textura y la consistencia de productos como merengues, masas batidas y caramelos.

Innovaciones y mejoras en los procesos de producción

Los desarrollos recientes en fermentación y biotecnología han promovido el uso de residuos orgánicos como sustrato y han mejorado la eficiencia energética en

la producción de compuestos de interés. La digestión anaerobia de residuos húmedos permite la obtención de ácidos grasos volátiles (VFAs), los cuales pueden emplearse como insumo en la producción de biocombustibles, particularmente combustible de aviación, con costos influenciados por la composición del residuo y la eficiencia de separación [52]. La fermentación asistida con magnetita ha incrementado los rendimientos de etanol al estimular bacterias productoras bajo condiciones anaerobias [11].

La fermentación oscura aplicada a residuos sólidos y líquidos genera ácidos orgánicos y alcoholes útiles para distintas aplicaciones [53]. La co-fermentación de residuos alimentarios, como técnica complementaria, mejora la velocidad de conversión hacia VFAs [54].

En paralelo, se han adoptado enfoques de producción más limpia, como el uso de subproductos agrícolas fermentados para la elaboración de alimento animal, lo que mejora la eficiencia de aprovechamiento de residuos vegetales como la col china, el salvado de trigo y el salvado de arroz [55]. La conversión biológica de desechos mediante larvas de *Hermetia illucens*, reforzada con fermentación fúngica ex situ, ha reducido la masa de residuos y facilitado la recuperación de nutrientes [56,57].

Algunas estrategias recientes incluyen la síntesis de productos biodegradables a partir de enzimas obtenidas de residuos vegetales. Este tipo de ecoenzimas se ha utilizado en la formulación de detergentes, evidenciando su potencial en aplicaciones ambientales [58].

La implementación de nuevas estrategias biotecnológicas ha mejorado la eficiencia de los procesos de fermentación orientados al aprovechamiento de residuos orgánicos. Estos enfoques permiten transformar subproductos agroindustriales en compuestos de valor añadido mediante métodos que reducen el impacto ambiental y optimizan el uso de recursos. La Tabla 2, incluyendo el tipo de residuo utilizado, el producto obtenido, la técnica aplicada y su respectiva referencia.

Tabla 2. Comparación de innovaciones en procesos de fermentación y valorización de residuos orgánicos

Innovación o tecnología	Ventajas	Desventajas	Ref
Uso de ácidos grasos volátiles (VFAs) derivados de residuos	Aprovechamiento de residuos húmedos; potencial para producción de biocombustibles sostenibles.	Requiere optimización del pretratamiento y de la separación; costos variables según la materia prima.	[52]
Estimulación de bacterias con magnetita	Mejora la producción de etanol; incrementa la eficiencia de la fermentación anaerobia.	Necesidad de mantener condiciones estrictamente controladas; costos asociados al uso de magnetita.	[11]
Fermentación oscura	Conversión eficiente de residuos sólidos y líquidos en metabolitos de interés.	Limitaciones por acumulación de compuestos tóxicos; requerimientos de pH.	[53]
Co-fermentación de residuos alimentarios	Incremento rápido en la producción de VFAs; mejora de la biodegradabilidad.	Dificultad para mantener estabilidad microbiana; riesgo de inhibición por sobrecarga de nutrientes.	[54]
Producción de alimento animal a partir de residuos agrícolas	Reducción de residuos vegetales; generación de subproductos útiles.	Requiere control sanitario riguroso y validación de inocuidad.	[59]
Bioconversión con <i>Hermetia illucens</i> más fermentación fúngica	Reducción de masa residual; recuperación eficiente de nutrientes.	Necesidad de infraestructura especializada.	[56–57]
Aplicación de ecoenzimas derivadas de residuos vegetales	Aprovechamiento de desechos orgánicos para obtener productos biodegradables.	Falta de estandarización en producción; variabilidad en pureza y eficiencia.	[58]

Regulaciones y seguridad alimentaria

El uso de acidulantes en alimentos está regulado por marcos normativos internacionales y nacionales que establecen límites de uso y criterios de inocuidad. Organismos como el Comité Conjunto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) evalúan periódicamente la seguridad de estos compuestos, definiendo parámetros como la Ingesta Diaria Aceptable (IDA) a partir del nivel sin efecto adverso observable (NOAEL). Para ello, se aplican protocolos toxicológicos que

incluyen ensayos agudos, subcrónicos, crónicos, carcinogénicos, mutagénicos y metabólicos en animales expuestos a diversas dosis [60,61].

La IDA puede clasificarse como “no especificada”, cuando la toxicidad del compuesto es baja, o como “no asignada”, cuando su uso está condicionado a circunstancias específicas. A partir de estas evaluaciones, el Codex Alimentarius establece los niveles máximos permitidos en alimentos, lo que sirve de referencia para las legislaciones nacionales, incluido México, donde la COFEPRIS regula su uso a través de las Normas Oficiales Mexicanas [60].

Además de los requisitos regulatorios, se realiza una evaluación detallada de la interacción de los acidulantes con el organismo humano. Algunos estudios señalan que, aunque compuestos como el ácido cítrico están clasificados como GRAS por la FDA y aprobados en la Unión Europea como E330, el consumo en exceso puede generar molestias gastrointestinales o modificar la absorción de minerales como hierro y zinc, dependiendo de la matriz alimentaria [62–64]. También se ha documentado su capacidad para reducir patógenos como *Salmonella* en alimentos, reforzando su utilidad como agentes antimicrobianos [65].

La evaluación integral que realizan las agencias regulatorias contempla tanto la función tecnológica como los posibles efectos adversos de los acidulantes, lo que permite establecer límites de exposición seguros y garantizar su uso en condiciones controladas [61,66].

Control de calidad en la producción de acidulantes

Los aditivos alimentarios deberán ser de calidad alimentaria apropiada y satisfacer en todo momento las especificaciones de identidad y pureza determinadas por el CODEX. Por lo que respecta a la inocuidad, la calidad alimentaria se logra ajustando los aditivos a sus especificaciones en conjunto (y no simplemente mediante criterios individuales) y mediante su producción, almacenamiento, transporte y manipulación en conjunto con las BPF [67].

La calidad para los procesos de producción de acidulantes se suelen basar en la pureza (porcentaje de ingredientes activos y contaminantes presentes), se deben incluir límites para metales pesados, sulfatos y otras impurezas que no se alineen con las especificaciones de grado alimenticio. Los análisis de pureza y calidad tienden a inclinarse por técnicas como HPLC (High-Performance

Liquid Chromatography) [16,42]. Métodos como la espectroscopía de UV-vis pueden usarse de igual manera para asesoras la calidad y pureza [16,40].

Principales acidulantes y reguladores de pH en la industria alimentaria

Los acidulantes y reguladores de pH empleados en alimentos combinan disponibilidad, costo, pureza y desempeño tecnológico. A continuación se sintetizan sus características químicas básicas, su presencia natural cuando aplica y, sobre todo, las rutas de producción a escala industrial, dado que estas condicionan pureza, subproductos y huella de proceso en aplicaciones alimentarias.

Ácido acético

El ácido acético (CH_3COOH ; $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) se encuentra en solución como ion acetato. A escala industrial predomina la síntesis por carbonilación de metanol en fase líquida con CO, catalizada por complejos de rodio y promotores yodados (proceso Monsanto), que opera típicamente a 150–200 °C y 30–50 bar y alcanza ≈95 % de selectividad, con subproductos como ácido fórmico y formaldehído; el sistema requiere agua controlada generada in situ por reacción de metanol con HI y usa acetato de metilo como disolvente/captador [8]. La variante con catalizador de iridio (proceso Cativa) mejora la velocidad global y reduce el consumo de agua y la formación de subproductos, con ventajas económicas del ciclo catalítico [8]. En menor medida, existen rutas fermentativas donde microorganismos convierten carbohidratos en ácidos orgánicos, incluido el acético [68].

Ácido cítrico

El ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$; ácido 2-hidroxipropano-1,2,3-tricarboxílico) es un α -hidroxiácido poliprótico presente en cítricos y frutos rojos [69]. La producción industrial se basa en fermentación con *Aspergillus niger* a partir de azúcares (fermentación sumergida o de superficie), seguida de precipitación como citrato de calcio, reacidificación con H_2SO_4 , decoloración/pulido (carbón activado o resinas de intercambio iónico) y cristalización-secado para obtener el producto anhídrido o monohidratado; los rendimientos pueden alcanzar hasta ≈85 % bajo condiciones optimizadas. Se exploran sustratos alternativos y el uso de levaduras, aunque su escalamiento aún presenta variabilidad en rendimientos y costos [69–71].

Ácido málico

El ácido málico ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$; 2-hidroxi-butanodioico) es un C4-dicarboxílico ampliamente distribuido en frutas como manzana, plátano, lichi y ciruela [72]. Industrialmente, se obtiene, de forma mayoritaria, por rutas químicas a partir de anhídrido maleico de origen fósil: hidratación a ácido maleico, isomerización a ácido fumárico y posterior hidratación a ácido málico, en general a 160–220 °C y 3–6 h, con etapas de cristalización y extracción para alcanzar purezas alimentarias [72]. Las alternativas enzimáticas y fermentativas con recursos renovables avanzan en investigación, pero aún no igualan la competitividad del proceso químico en gran escala [72].

Ácido tartárico

El ácido L-tartárico ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$; L-2,3-dihidroxibutanodioico) se concentra de manera natural en uvas y subproductos vínicos (lías), donde precipita principalmente como bitartrato potásico y tartrato cálcico [55,73]. La recuperación industrial parte de la solubilización ácida de las sales tartrato, precipitación selectiva como tartrato cálcico, reacidificación y cristalizaciones sucesivas, lo que permite valorizar residuos enológicos con un proceso ambientalmente favorable y rendimientos adecuados frente a vías fermentativas o enzimáticas menos extendidas [74,75].

Ácido láctico

El ácido láctico ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$; ácido 2-hidroxipropiónico) se identificó originalmente en leche agria. Aunque existe síntesis química, la vía dominante es biotecnológica mediante fermentaciones homofermentativas con bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp.*), en modo discontinuo o continuo, debido a su menor costo y a la posibilidad de emplear materias primas económicas y renovables. La recuperación típicamente combina precipitación, destilación, membranas y ultrafiltración; técnicas como cromatografía y cristalización se reservan para etapas de refinado y estandarización del grado alimentario [68,76].

Ácido fumárico

El ácido fumárico ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$; (E)-2-butanodioico) es el isómero trans del ácido maleico y se considera un químico plataforma derivable de azúcares, con múltiples aplicaciones industriales [77]. La producción comercial procede mayoritariamente de la isomerización catalítica del ácido maleico con sistemas basados en ácidos minerales, compuestos peroxídicos con bromuros/bromatos o agentes azufrados (p. ej., tiourea), seguida de cristalización para purificación.

Existen rutas fermentativas, pero su penetración industrial es menor frente al proceso de isomerización [78,79].

Cremor tártaro (bitartarato de potasio)

El cremor tártaro o bitartrato de potasio ($KC_4H_5O_6$; 188.17 g/mol) es un subproducto ácido y cristalino de la vinificación que se acumula en lías junto con levaduras y sólidos finos [73]. La recuperación se realiza por cristalización por enfriamiento en agua, con lavado y secado para purificación, y molienda para su acondicionamiento. A escala reducida, los cristalizadores discontinuos minimizan incrustaciones y sedimentación, resultando más robustos que opciones continuas en este tipo de corrientes [80,81].

Bicarbonato de sodio

La fabricación del bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$; 84.01 g/mol) se integra al proceso Solvay: preparación de salmuera ($NaCl$), calcinación de caliza para obtener CO_2 y CaO , absorción de amoníaco en la salmuera y carbonatación con el CO_2 para precipitar $NaHCO_3$, con coproducto NH_4Cl en la torre de carbonatación; la “leche de cal” ($Ca(OH)_2$) se emplea para recuperar NH_3 en la etapa de destilación. El producto se purifica por cristalización. Alternativamente, puede provenir de mineral de trona mediante rutas térmico-hidrometalúrgicas [82–84].

Propiedades fisicoquímicas de los agentes acidulantes

Los acidulantes y reguladores de pH poseen rasgos que determinan su desempeño en matriz: disociación ácida (pH/pKa y capacidad tampón), solubilidad y cinética de disolución, higroscopicidad, volatilidad (cuando aplica) e interacciones con minerales y macromoléculas. En confitería, estos atributos inciden en inversión de sacarosa, gelificación (gelatina/pectina), estabilidad de color y perfil temporal de la acidez percibida (Tabla 3). Dado que suelen incorporarse en solución, conviene comparar el pH de referencia en disoluciones al 1% y el estado físico comercial; la solubilidad en agua es clave por el contenido acuoso habitual de los alimentos y por su efecto en tiempos de proceso [85].

En la Tabla 3, el “pH de referencia” orienta comparaciones rápidas, por lo que se deben ajustar con los datos analíticos y temperatura/°Brix del proceso. La solubilidad condiciona la funcionalidad y los tiempos de disolución; el ácido cítrico, además, favorece la solubilidad de minerales con impacto en

biodisponibilidad y estabilidad sensorial frente a notas metálicas por su quelación [86]. Con relación a la higroscopicidad, el ácido cítrico y el ácido láctico muestran tendencia a absorber humedad, lo que puede modificar textura y vida útil en matrices como panificación y quesos; el diseño debe contemplar empaque y actividad de agua del sistema [87]. Finalmente, en relación con la astringencia, ciertos ácidos contribuyen a astringencia y sequedad oral, deseables en vinos o jugos específicos; su modulación depende de concentración, pH y matriz [88].

Tabla 3. Matriz fisicoquímica orientada a formulación (1% p/p en agua, 20–25 °C; categorías cualitativas)

Compuesto	pH de referencia*	Capacidad tampón	Solubilidad en agua	Higroscopicidad	Volatilidad / Olor	Interacciones tecnológicas típicas	Referencia
Ácido acético	~2.3–2.6	Media (cerca del pKa)	Alta	Baja	Alta (olor a vinagre)	Ajuste fino del pH en jarabes; contribución sensorial punzante	[8]
Ácido cítrico	~2.2–2.5	Alta (poliácido)	Alta	Media–Alta	Nula	Quelación de metales; control de inversión de azúcares; soporte a pectinas	[20,73]
Ácido málico	~2.2–2.6	Media–Alta	Alta	Media	Nula	Realejo frutal “redondo”; modulación del impacto ácido	[89]
Ácido tartárico	~2.0–2.4	Media	Media–Baja	Baja	Nula	Notas “vinosas”; estabilización de espumas con clara	[73]
Ácido láctico	~2.3–2.6	Media	Alta (líquido)	Media–Alta	Nula	Redondeo de acidez en matrices lácteas y cremosas	[68]
Ácido fumárico	~2.0–2.3	Alta en rango bajo	Baja (disolución lenta)	Baja	Nula	Golpe ácido intenso y persistente; liberación lenta	[77]
Cremor tártaro ($KHC_4H_5O_6$)	~3–4 (solubilidad limitada)	Baja–Media	Baja	Baja	Nula	Estabilización de espumas; agente leudante junto con bicarbonato	[73,81]
Bicarbonato de sodio	~8–8.5	— (base débil)	Alta	Baja	Nula	Regulador de pH y agente gasificante al reaccionar con ácidos	[82–83]

Perfiles de sabor de los ácidos

Los perfiles de sabor influyen en la aceptación y diferenciación del producto. El láctico aporta notas suaves y cremosas típicas de matrices lácteas; el acético domina en encurtidos; el cítrico entrega brillo y “frescura” en perfiles frutales [90,91]. Además del nivel de acidez, la estabilidad del ácido y su interacción con grasas y proteínas determinan la generación de volátiles durante procesos térmicos; en fritura, la oxidación lipídica puede originar notas fuera de perfil si

no se controla el sistema ácido-base y el entorno de proceso [92]. En cuanto al mecanismo, la percepción del agrio en humanos se explica por la activación de canales de protones OTOP1 frente al influjo de H^+ , con la participación de canales iónicos sensibles a ácido (ASICs) y la inhibición de canales de K^+ ; estos procesos, en conjunto, modulan la intensidad y la temporalidad del agrio que aportan ácidos frecuentes en alimentos como cítrico, málico, láctico, acético y fumárico [93-97].

La elección del ácido debe alinearse con el “mapa temporal” buscado: impacto inicial (fumárico), brillo corto (cítrico), cuerpo/persistencia (málico) y redondeo cremoso (láctico), con ajustes por sinergias y por la capacidad tampón del sistema [93,98].

El análisis sensorial comparativo de los acidulantes evidencia diferencias en impacto inicial, calidad dominante y duración del estímulo ácido que orientan el diseño de perfiles equilibrados de acidez y dulzor en bebidas y confitería (Tabla 4) [4,89].

En la Tabla 4a, construida sobre soluciones modelo a $pH \approx 3$, se aprecia que el fumárico ofrece un golpe intenso y persistente adecuado para productos “sour” de larga duración, mientras que el cítrico aporta un brillo breve y refrescante compatible con matrices frutales y efervescentes [20,77]. El málico añade “cuerpo” y una acidez redonda que prolonga notas afrutadas, y el láctico suaviza el conjunto confiriendo una sensación cremosa útil en matrices lácteas o rellenos [4,89]. La elección debe considerar sinergias con edulcorantes de alta intensidad y agentes de textura, así como la capacidad tampón del sistema, por su efecto en la liberación del sabor y en la relación acidez-dulzor [73,99].

La Tabla 4b detalla efectos dinámicos sobre sabor y aroma en condiciones estandarizadas ($pH 3.0$; 1.0 % p/v), mostrando que los ácidos de alta volatilidad, como el acético, generan respuesta inmediata y penetrante, mientras que polihidroxilados como málico y láctico prolongan la acidez y suavizan el perfil global [4,91]. Esta comparación permite trazar un “mapa temporal” aplicable a formulación: inicio (fumárico), brillo corto (cítrico), cuerpo/persistencia (málico) y redondeo (láctico), con ajustes por sinergias y por la fuerza tampón de la matriz durante el proceso, incluida la estabilidad térmica y la posible generación de volátiles, condicionan la expresión sensorial final; en fritura, por ejemplo, el

entorno ácido-base y la oxidación lipídica pueden derivar en notas fuera de perfil si no se controlan las condiciones de proceso [90,92]. Finalmente, el entendimiento reciente de los mecanismos de percepción del agrio, participación de OTOP1, ASICs e inhibición de canales de K^+ , ayuda a explicar por qué la misma acidez nominal produce temporalidades distintas según el ácido y la matriz, reforzando la utilidad del enfoque por mapa temporal para seleccionar combinaciones y niveles [94-97].

Tabla 4a. Mapa sensorial y perfil temporal de los principales acidulantes alimentarios

Ácido	Impacto inicial	Cualidad principal	Arrastre / Duración	Sinergias útiles	Riesgos / Consideraciones	Ref.
Acético	Alto, punzante	Ácido-vinagre	Media-Larga	Perfiles salados y encurtidos Cítricos; frutos rojos; quelación que reduce notas metálicas	Alta volatilidad; domina si se excede	[91]
Cítrico	Medio-alto, nítido	Brillante, “refrescante”	Corta-Media	Manzana; sandía; sinergia con HIS*	Puede “lavar” el dulzor si se sobredosisifica	[20]
Málico	Medio, redondo	Frutal maduro y suave	Media-Larga	Uva; frutos morados	Puede aplanar perfiles cítricos si se excede	[89-99]
Tartárico	Medio, seco	Agrio “vinoso”	Corta	Matrices lácteas y cremosas; genera “acidez redonda”	Astringencia si se excede	[73]
Láctico	Medio, suave	Lechoso / cremoso	Larga	Caramelos “sour” de larga duración	Suaviza perfiles excesivamente cítricos	[4]
Fumárico	Muy alto	Seco, penetrante	Larga		Disolución lenta; posible sensación granulada	[77]

Nota: *HIS = High-Intensity Sweeteners (edulcorantes de alta intensidad)

Tabla 4b. Efecto de los acidulantes sobre el sabor y el aroma

(pH 3.0; 1.0 % p/v)

Ácido	Sensación de acidez	Descripción (perfil temporal)	Modificación del sabor	Temporalidad	Ref.
Acético	Muy intensa	Pungente, tipo vinagre	Muy alta	Larga	[91]
Cítrico	Moderada	Limpio, refrescante, brillante	Muy baja	Corta	[93–98]
Fosfórico	Baja	Bajo impacto	Muy baja	Corta	[99]
Fumárico	Intensa	Limpio, seco, penetrante, persistente	Moderada	Larga	[77]
Láctico	Intensa	Suave, persistente, lácteo	Baja	Larga	[4]
Málico	Moderada	Maduro, suave, afrutado	Muy alta	Larga	[89]
Tartárico	Moderada	Brusco, seco	Muy baja	Corta	[73]

Aplicaciones en la industria de alimentos

En la práctica, los acidulantes se seleccionan por su capacidad de ajustar y amortiguar variaciones del pH durante el proceso, mientras aportan efectos útiles en color, textura y estabilidad aromática; estos roles ya se discutieron en las secciones de propiedades y perfiles, por lo que aquí se prioriza su uso estratégico para perfilar sabor en matrices reales [4,100].

En bebidas, el “mapa temporal” guía la mezcla: el ácido cítrico aporta brillo breve y compatibilidad con sabores frutales; el málico añade cuerpo y persistencia; el fosfórico define perfiles tipo cola; en bebidas alcohólicas y bebidas gasificadas con alcohol frutales “hard seltzers”, el málico contribuye a una acidez redondeada y estable [1,101]. La combinación cítrico–málico es habitual para equilibrar acidez–dulzor y sostener notas de cítricos o pepita, mientras el ácido láctico suaviza formulaciones cremosas y el ácido tartárico ancla perfiles uva/vinosos cuando procede [73,89].

En confitería, el ajuste de pH condiciona gelificación, pegajosidad y cristalización, pero el valor diferencial está en dirigir el perfil sensorial: en gomitas sabor limón optimizadas con diseño simplex-lattice, el málico intensificó la acidez y su duración, el cítrico aportó limpieza y “frescura”, y el láctico moduló el impacto total, con mayor aceptación de la mezcla frente a ácidos aislados [102]. En goma de mascar funcional con extractos de té verde y jengibre, el

cítrico equilibró notas bioactivas y mejoró la aceptación en una matriz sensorialmente compleja [21]. Esta evidencia coincide con análisis técnicos que vinculan rasgos fisicoquímicos con resultados sensoriales y orientan el uso de sistemas ácido–buffer y quelación para minimizar notas metálicas [4,93]. En caramelos y gomitas, la tríada cítrico–málico–láctico suele funcionar, manteniendo el málico en proporciones moderadas para evitar un impacto excesivo y controlando la cinética de disolución cuando se recurre a fumárico para un golpe ácido prolongado [77,89].

Aspectos tecnológicos transversales (conservación por fracción no disociada; efectos reológicos sobre pectinas, gelatina y conversión de azúcares) se asumen como conocidos por el lector y se remiten a las secciones previas; en términos prácticos, su control evita pérdidas de masticabilidad en gomitas o defectos de textura durante cocción y templado [103–105]. En síntesis, perfilar el sabor con combinaciones dirigidas, inicio: fumárico; brillo corto: cítrico; cuerpo/persistencia: málico; redondeo: láctico, y compatibilizarlas con edulcorantes y agentes de textura permite cumplir objetivos sensoriales sin comprometer la estabilidad del sistema [4,89,98]. La Tabla 5 traduce el “mapa temporal” en decisiones operativas: qué ácido elegir, en qué rango y en qué momento añadirlo según matriz y proceso.

Tabla 5. Funciones y ejemplos de aplicación con lectura tecnológica

Compuesto	Funciones tecnológicas prioritarias	Ejemplos y apuntes de proceso	Ref.
Cítrico	Acidulante; tampón poliácido; agente quelante	Bebidas, gomitas y jaleas; controla la inversión de azúcares; estabiliza color; útil en presencia de iones metálicos	[20,73]
Málico	Modulador de impacto; aporta “cuerpo” y persistencia	Bebidas y caramelos frutales; sinergia con ácido cítrico; mejora la aceptabilidad en combinaciones	[4,89]
Tartárico	Perfil agrio seco; estabilizador de espumas	Productos sabor uva; batidos y merengues; coadyuvante junto con cremor tártaro	[73]
Láctico	Redondeo ácido; sensación cremosa; conservación suave	Toffees, rellenos lácteos y matrices cremosas	[4]
Fumárico	Alta intensidad y larga duración; liberación lenta	Caramelos “sour”; requiere premezcla y prehidratación para mejorar la disolución	[77]
Cremor tártaro	Regulador y estabilizante; pareja	Espumas estables; galletería; confitería batida	[81]

Bicarbonato de sodio	tecnológica del bicarbonato Regulador de pH; agente gasificante en presencia de ácidos	Panificación y bases horneadas; aumento de volumen y porosidad	[82–83]
----------------------	---	--	---------

Proceso y formulación de alimentos adicionados con acidulantes

Criterios de formulación en confitería y bebidas

En confitería y bebidas, la elección y dosificación del acidulante se define por la matriz, el perfil sensorial objetivo (impacto inicial, brillo, cuerpo y arrastre) y las condiciones de proceso (pH meta, °Brix, temperatura, orden de adición). El punto de partida es seleccionar el estado físico adecuado: líquidos para líneas líquidas y jarabes; sólidos para mezclas en polvo (bebidas instantáneas, bases para caramelos), vigilando la disolución y la cinética de liberación [20]. En matrices frutales, combinaciones cítrico–málico suelen equilibrar acidez–dulzor y sostener notas frutales; en matrices cremosas, el láctico “redondea” picos de acidez; cuando se busca un “sour” prolongado en caramelos, el fumárico requiere premezcla o prehidratación para evitar granulado y asegurar liberación homogénea [4,89].

El orden de adición es crítico: en confitería blanda (gomitas, jaleas), dosificar ácidos en etapas tardías o vía premezclas para no comprometer redes gelificadas y masticabilidad; el exceso de acidez puede debilitar gelatina y desbalancear hidrocoloides, por lo que el pH debe ajustarse junto con sólidos solubles y temperatura de cocción [103,104]. En bebidas, la quelación del cítrico ayuda a controlar notas metálicas y estabilizar color, mientras que la inversión de sacarosa (acelerada por acidez y calor) afecta viscosidad, pegajosidad y cristalización en jarabes y caramelos; los sistemas tampón moderan estas variaciones [20,73].

La compatibilidad con edulcorantes condiciona la selección: el aspartamo gana solubilidad a pH bajo pero es térmicamente lábil; la sucralosa mantiene potencia dulce en amplio rango de pH/temperatura; los glicósidos de esteviol requieren gestionar estabilidad y posibles notas residuales en medios ácidos. En color y aroma, el pH controla estados de pigmentos (p. ej., antocianinas) y la liberación aromática; en bebidas ácidas, manejar pH y antioxidantes evita decoloraciones o pérdida de brillo [106–110].

Para reducir iteraciones y alcanzar un perfil sensorial reproducible, conviene usar diseños de mezclas y superficies de respuesta que exploren proporciones de ácidos y su interacción con edulcorantes/aromas, integrando variables de proceso (pH, °Brix, temperatura, tiempo de cocción/enfriado) en el mismo experimento [111]. Este enfoque estadístico, combinado con prácticas de planta (premix, secuencia y ventana de pH), acelera la convergencia hacia formulaciones estables que traduzcan el “mapa temporal” de la acidez en producto terminado [4,89].

Aunque el desempeño sensorial-tecnológico guía la formulación, la disponibilidad y el origen de los acidulantes condicionan costos y selección: por ejemplo, el cítrico de producción microbiana requiere sustratos cuyo precio y huella pueden variar; integrar subproductos agroindustriales como sustratos alternativos es una vía reportada para contener costos y mejorar el perfil ambiental, sin alterar los criterios de calidad exigidos por bebidas y confitería [9,112].

Conclusiones y perspectivas

A lo largo del presente trabajo se proporcionó una visión integral de los agentes acidulantes y reguladores de pH utilizados en la industria alimentaria, con énfasis particular en sus aplicaciones dentro del sector de la confitería. Se describieron sus rutas de producción, además de sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales, las cuales determinan su funcionalidad en diversas matrices alimentarias. Los resultados analizados muestran que los acidulantes orgánicos como los ácidos cítrico, málico, tartárico, láctico y fumárico presentan ventajas diferenciales que permiten modular el sabor, la textura y la estabilidad en productos como caramelos, gomitas y galletas. En especial, el ácido cítrico destacó por su alta solubilidad, su perfil ácido refrescante y su marcada sinergia con otros compuestos. Por su parte, el ácido málico aportó una acidez persistente y capacidad para realzar perfiles frutales, mientras que el ácido láctico contribuyó al desarrollo de notas suaves y redondeadas en matrices complejas. Más allá de su efecto sensorial, se confirmó su utilidad como agentes conservadores, quelantes, reguladores de gelificación y moduladores de la cristalización del azúcar.

Las aplicaciones tecnológicas revisadas estuvieron respaldadas por estudios experimentales recientes que demostraron el impacto sensorial y funcional de combinaciones específicas de acidulantes, como en formulaciones optimizadas de gomitas sabor limón. Asimismo, se abordaron consideraciones regulatorias y de inocuidad, destacando que su empleo debe cumplir criterios toxicológicos y de calidad establecidos por normativas internacionales.

Las tendencias actuales en la producción de acidulantes apuntan hacia el aprovechamiento de residuos agroindustriales mediante procesos de fermentación avanzada y bioconversión sostenible. Estos enfoques reducen la huella ambiental y permiten obtener ingredientes funcionales con propiedades ajustadas a las demandas sensoriales de nuevos desarrollos. En este contexto, futuras investigaciones pueden orientarse al diseño de matrices de confitería funcional mediante combinaciones sinérgicas de acidulantes con compuestos bioactivos, evaluando su impacto sensorial, tecnológico y la aceptación del consumidor. Además, el uso de herramientas de inteligencia artificial y metodologías de diseño experimental representa una oportunidad para optimizar perfiles de sabor y acidez adaptados a diferentes preferencias culturales y condiciones fisiológicas del consumidor.

Referencias

- [1] Abu-Reidah IM. Carbonated beverages. In: Galanakis CM, editor. Trends in non-alcoholic beverages. Academic Press; 2020. p. 1–36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816938-4.00001-X>
- [2] Barboza GR, Almeida JMD, Silva NCC. Use of natural substrates as an alternative for the prevention of microbial contamination in the food industry. *Food Sci Technol*. 2022;42:e05720. <https://doi.org/10.1590/fst.05720>
- [3] Pourfarzad A, Habibi-Najafi MB. Optimization of a liquid improver for Barbari bread: staling kinetics and relationship of texture with dough rheology and image characteristics. *J Texture Stud*. 2012;43:484–93. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00362.x>
- [4] Reddy K, Sivapriya TVS, Kumar UA, Ramalingam C. Optimization of food acidulant to enhance the organoleptic property in fruit jellies. *J Food Process Technol*. 2016;7. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000635>
- [5] Tamang JP, Cotter PD, Endo A, Han NS, Kort R, Liu SQ, et al. Fermented foods in a global age: East meets West. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2020;19:184–217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12520>
- [6] Zhang X, Zhou T, Zhang L, Fung KY, Ng KM. Food product design: a hybrid machine learning and mechanistic modeling approach. *Ind Eng Chem Res*. 2019;58:16743–52. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b02462>
- [7] Da Conceicao ER, Johanningsmeier SD, McFeeters RF. The chemistry and physiology of sour taste: a review. *J Food Sci*. 2007;72. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00282.x>
- [8] Deshmukh G, Manyar H. Production pathways of acetic acid and its versatile applications in the food industry. In: Deshmukh G, Manyar H, editors. *Biotechnology and application of biomass*. IntechOpen; 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92289>
- [9] Abd-Alsaheb RA, Mohammed MM, Abdullah JK, Abbas AH. Citric acid production: raw material, microbial production, fermentation strategy and global market – critical review. *Al-Khwarizmi Eng J*. 2023;19:1–14. <https://doi.org/10.22153/kej.2023.12.002>
- [10] Murtaza MA, Rehman SU, Anjum FM, Huma N, Tarar OM, Mueen-Ud-Din G. Organic acid contents of buffalo milk Cheddar cheese as influenced by accelerated ripening and sodium salt. *J Food Biochem*. 2012;36:99–106. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2010.00517.x>
- [11] Yang F, Chen L, Liu Y, Li J, Wang L, Chen J. Identification of microorganisms producing lactic acid during solid-state fermentation of Maotai flavour liquor. *J Inst Brew*. 2019;125:171–7. <https://doi.org/10.1002/jib.537>
- [12] Silva LM da, Paula KCSE de, Fausta KY. Aditivos alimentares. Campos dos Goytacazes: Essentia Editora IFFluminense; 2021.
- [13] Hassaan MS, Soltan MA, Jarmolowicz S, Abdo HS. Combined effects of dietary malic acid and *Bacillus subtilis* on growth, gut microbiota and blood parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac Nutr*. 2018;24:83–93. <https://doi.org/10.1111/anu.12536>
- [14] Atasoy M, Álvarez Ordóñez A, Cenian A, Djukić-Vuković A, Lund PA, Ozogul F, et al. Exploitation of microbial activities at low pH to enhance planetary health. *FEMS Microbiol Rev*. 2024;48:fuad062. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad062>
- [15] Calder BL, Kash EA, Davis-Dentici K, Bushway AA. Comparison of sodium acid sulfate to citric acid to inhibit browning of fresh-cut potatoes. *J Food Sci*. 2011;76. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02082.x>
- [16] Mosneaguta R, Alvarez V, Barringer SA. Effect of antibrowning agents on inhibition of potato browning, volatile organic compound profile, and microbial inhibition. *J Food Sci*. 2012;77. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02957.x>
- [17] Reineke K, Mathys A, Knorr D. Shift of pH value during thermal treatments in buffer solutions and selected foods. *Int J Food Prop*. 2011;14:870–81. <https://doi.org/10.1080/10942910903456978>
- [18] Suganthi S, Mohanapriya S, Raj V, Kanaga S, Dhandapani R, Vignesh S, et al. Tunable physicochemical and bactericidal activity of multicarboxylic-acids-crosslinked polyvinyl alcohol membrane for food packaging applications. *ChemistrySelect*. 2018;3:11167–76. <https://doi.org/10.1002/slct.201801851>

- [19] González-Otamendi MDJ, Pérez-Flores JG, Contreras-López E, Soto-Vega K, García-Curiel L, Pérez-Escalante E, et al. Uso de polioles en la industria de la confitería. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip.* 2024;8:499–528. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11259
- [20] Kraftchemical. Acidulants. 2020. Available from: <https://www.kraftchemical.com/wp-content/uploads/2020/05/AcidulantsCitric-Malic-Fumaric-etc.pdf> (accessed 2 Aug 2024).
- [21] San Agustín Fragoso BY, García-Curiel L, Pérez-Flores JG, Contreras-López E, Pérez-Escalante E, Portillo-Torres LA, et al. Gomitas: revisión de sus ingredientes, proceso de elaboración, estabilidad, vida útil y tendencias del mercado. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip.* 2024;8:7512–43. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14164
- [22] Franceschini B, Previdi MP, Schianchi I. Food spoilage by Bacilli: combined effects of pH, aw and storage temperature on spore germination and growth in cultural broth added with solutes and organic acids. *J Adv Microbiol.* 2020;20:49–55. <https://doi.org/10.9734/jamb/2020/v20i330227>
- [23] Camesasca L, De Mattos JA, Vila E, Cebreiros F, Lareo C. Lactic acid production by *Carnobacterium* sp. isolated from a maritime Antarctic lake using eucalyptus enzymatic hydrolysate. *Biotechnol Rep.* 2021;31:e00643. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00643>
- [24] Cubas-Cano E, González-Fernández C, Ballesteros M, Tomás-Pejo E. Biotechnological advances in lactic acid production by lactic acid bacteria: lignocellulose as novel substrate. *Biofuels Bioprod Biorefining.* 2018;12:290–303. <https://doi.org/10.1002/bbb.1852>
- [25] Goto S, Motomura A, Kawahara A, Shiratsuchi H, Tanaka K, Matsusaki H. Cloning and heterologous expression of lactate dehydrogenase genes from acid-tolerant *Lactobacillus acetotolerans* HT. *Food Sci Technol Res.* 2018;24:861–8. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.861>
- [26] Gardini F, Özogul Y, Suzzi G, Tabanelli G, Özogul F. Technological factors affecting biogenic amine content in foods: a review. *Front Microbiol.* 2016;7:1218. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01218>
- [27] Silano V, Barat Baviera JM, Bolognesi C, Brüschweiler BJ, Chesson A, Cocconcelli PS, et al. Evaluation of the safety and efficacy of the organic acids lactic and acetic acids to reduce microbiological surface contamination on pork carcasses and pork cuts. *EFSA J.* 2018;16:e05482. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5482>
- [28] Börekçi BS, Kaban G, Kaya M. Citric acid production of yeasts: an overview. *EuroBiotech J.* 2021;5:79–91. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2021-0012>
- [29] Schmitt V, Derenbach L, Ochsenreither K. Enhanced L-malic acid production by *Aspergillus oryzae* DSM 1863 using repeated-batch cultivation. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022;9:760500. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.760500>
- [30] El-Hadary AM, Hauka FIA, Selim MAE. Citric acid production by *Aspergillus flavus* using sugarcane bagasse via solid-state fermentation. *J Agric Chem Biotechnol.* 2022;13:123–8.
- [31] Fernández-Vázquez D, Rozès N, Canals JM, Bordons A, Reguant C, Zamora F. New enzymatic method for estimating fumaric acid in wines. *OENO One.* 2021;55:273–81. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4825>
- [32] Hong SK, Lee HJ, Park HJ, Hong YA, Rhee IK, Lee WH, et al. Degradation of malic acid in wine by immobilized *Issatchenkia orientalis* cells with oriental oak charcoal and alginate. *Lett Appl Microbiol.* 2010;50:522–9. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02833.x>
- [33] Inyang V, Lokhat D. Reactive extraction of malic acid using trioctylamine in 1-decanol: equilibrium studies by response surface methodology using Box–Behnken optimization technique. *Sci Rep.* 2020;10:2400. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59273-z>
- [34] West T. Microbial production of malic acid from biofuel-related coproducts and biomass. *Fermentation.* 2017;3:14. <https://doi.org/10.3390/fermentation3020014>
- [35] Zou X, Zhou Y, Yang S. Production of poly malic acid and malic acid by *Aureobasidium pullulans* fermentation and acid hydrolysis. *Biotechnol Bioeng.* 2013;110:2105–13. <https://doi.org/10.1002/bit.24876>
- [36] Leibar U, Pascual I, Morales F, Aizpurua A, Unamunzaga O. Grape yield and quality responses to simulated year 2100 expected climatic conditions under different soil textures. *J Sci Food Agric.* 2017;97:2633–40. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8086>
- [37] Scutarașu EC, Teliban IV, Zamfir CI, Luchian CE, Colibaba LC, Niculaea M, et al. Effect of different winemaking conditions on organic acid compounds of white wines. *Foods.* 2021;10:2569. <https://doi.org/10.3390/foods10112569>
- [38] Wasewar KL, Shende D, Keshav A. Reactive extraction of itaconic acid using quaternary amine Aliquat 336 in ethyl acetate, toluene, hexane and kerosene. *Ind Eng Chem Res.* 2011;50:1003–11. <https://doi.org/10.1021/ie1011883>
- [39] Chaudhary M, Pinto S, Paul P, Yashvantha R. Shelf-life studies of reduced-fat paneer prepared using GDL as an acidulant. *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* 2019;8:1918–33. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.230>
- [40] Chaudhary M, Pinto S, Dharaiya C, Paul P. Preparation of low-fat paneer using glucono delta-lactone as an acidulant. *Indian J Dairy Sci.* 2021;74:30–8. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2021.v74i01.004>
- [41] Sylchuk T, Bilyk O, Kovbasa V, Zuiko V. Investigation of the effect of multicomponent acidulants on the preservation of freshness and aroma of rye-wheat bread. *East-Eur J Enterp Technol.* 2017;5:4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110154>
- [42] Seth K, Bajwa U. Effect of acidulants on the recovery of milk constituents and quality of Mozzarella processed cheese. *J Food Sci Technol.* 2015;52:1561–9. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1176-7>
- [43] Alvindia DG, Kobayashi T, Natsuaki KT, Tanda S. Inhibitory influence of inorganic salts on banana postharvest pathogens and preliminary application to control crown rot. *J Gen Plant Pathol.* 2004;70:61–5. <https://doi.org/10.1007/s10327-003-0084-5>
- [44] Nilmini RK, Kodituwakklu TD, Abeywickrama K, Kuruppu M. In vitro and in vivo application of eco-friendly treatments to control postharvest stem-end rot of naturally infected avocado (cv. Pollock). *J Agric Sci (Sri Lanka).* 2021;16:283–99. <https://doi.org/10.4038/jas.v16i2.9335>

- [45] Steinhauer G. Cleaner production in the Solvay process: general strategies and recent developments. *J Clean Prod.* 2008;16:833–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.04.005>
- [46] Sudibyo S, Suharto S, Rarasati SAA, Wulandari YR, Shintawati S, Rohman FS. Optimization of sodium bicarbonate production from ammonium hydroxide using a froth flotation column. *Chem Eng Technol.* 2022;45:1952–9. <https://doi.org/10.1002/ceat.202200060>
- [47] Jawandha SK, Gill PPS, Verma A, Kaur N. Physico-chemical and enzymatic changes in peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) fruit in response to sodium salts during low temperature storage. *J Appl Nat Sci.* 2016;8:2116–9. <https://doi.org/10.31018/jans.v8i4.1100>
- [48] Lee HJ, Li S, Gu K, Ryu D. Reduction of ochratoxin A during the preparation of porridge with sodium bicarbonate and fructose. *Toxins.* 2021;13:224. <https://doi.org/10.3390/toxins13030224>
- [49] Kherici S, Benouali D, Benyettou M, Ghidossi R, Lacampagne S, Mietton-Peuchot M. Study of potassium hydrogen tartrate unseeded batch crystallization for tracking optimum cooling mode. *Orient J Chem.* 2015;31:249–55. <https://doi.org/10.13005/ojc/310127>
- [50] Rusyniak DE, Durant PJ, Mowry JB, Johnson JA, Sanftleben JA, Smith JM. Life-threatening hyperkalemia from cream of tartar ingestion. *J Med Toxicol.* 2013;9:79–81. <https://doi.org/10.1007/s13181-012-0255-x>
- [51] Wegenast CA, Meadows ID, Anderson RE, Southard T, González Barrientos CR, Wismer TA. Acute kidney injury in dogs following ingestion of cream of tartar and tamarinds and the connection to tartaric acid as the proposed toxic principle in grapes and raisins. *J Vet Emerg Crit Care.* 2022;32:812–6. <https://doi.org/10.1111/vec.13234>
- [52] Huq NA, Hafestine GR, Huo X, Nguyen H, Tifft SM, Conklin DR, et al. Toward net-zero sustainable aviation fuel with wet waste-derived volatile fatty acids. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2021;118:e2023008118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023008118>
- [53] Hovorukha V, Havryliuk O, Gladka G, Tashyrev O, Kalinichenko A, Sporek M, et al. Hydrogen dark fermentation for degradation of solid and liquid food waste. *Energies.* 2021;14:1831. <https://doi.org/10.3390/en14071831>
- [54] Li R, Cui J, Li X, Li X. Phosphorus removal and recovery from wastewater using Fe-dosing bioreactor and cofermentation: investigation by X-ray absorption near-edge structure spectroscopy. *Environ Sci Technol.* 2018;52:14119–28. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03355>
- [55] Li M, Su J, Yang H, Feng L, Wang M, Xu G, et al. Grape tartaric acid: chemistry, function, metabolism, and regulation. *Horticulturae.* 2023;9:1173. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111173>
- [56] Fitriana AR, Akbar AF, Bagastyo AY. Effect of fermentation process on increasing biodegradable organic waste reduction with Black Soldier Fly larva bioconversion method. *Sustainere J Environ Sustain.* 2023;7:81–90. <https://doi.org/10.22515/sustainerejes.v7i1.336>
- [57] Wong CY, Kiatkittipong K, Kiatkittipong W, Ntwampe SKO, Lam MK, Goh PS, et al. Black Soldier Fly larval valorization benefitting from ex-situ fungal fermentation in reducing coconut endosperm waste. *Processes.* 2021;9:275. <https://doi.org/10.3390/pr9020275>
- [58] Sulfa DM, Susanto H, Hasanah SM. Exploration of Moringa leaves' antibacterial in biodegradable detergent production through application of eco-enzyme synthesis. *E3S Web Conf.* 2024;481:06003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448106003>
- [59] Li J, Wang C, Zhang S, Xing J, Song C, Meng Q, et al. Anaerobic fermentation featuring wheat bran and rice bran realizes the clean transformation of Chinese cabbage waste into livestock feed. *Front Microbiol.* 2023;14:1108047. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1108047>
- [60] Chávez RAM, Rangel JJV. Aditivos alimentarios: aspectos de regulación y seguridad. *Milen Cienc Arte.* 2019;14:15–6. <https://doi.org/10.35830/mcya.vi14.31>
- [61] Xu B. Safety and management of food additives in the United States. *Adv Mater Res.* 2013;781–784:1328–31. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.781-784.1328>
- [62] Chattopadhyay K, Xavier KAM, Ngasotter S, Karmakar S, Balange A, Nayak BB. Chitosan gel prepared with citric acid as the food acidulant: effect of the chitosan concentration and gel pH on physicochemical and functional properties of fish protein emulsion sausages. *ACS Omega.* 2023;8:7829–37. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07538>
- [63] Gautam S, Platel K, Srinivasan K. Influence of combinations of promoter and inhibitor on the bioaccessibility of iron and zinc from food grains. *Int J Food Sci Nutr.* 2011;62:826–34. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.584861>
- [64] Parrott N, Stillhart C, Lindenberg M, Wagner B, Kowalski K, Guerini E, et al. Physiologically based absorption modelling to explore the impact of food and gastric pH changes on the pharmacokinetics of entrectinib. *AAPS J.* 2020;22:78. <https://doi.org/10.1208/s12248-020-00463-y>
- [65] Dhakal J, Aldrich CG. Application of acidulants to control *Salmonella* spp. in rendered animal fats and oils with different levels of unsaturation. *Animals.* 2023;13:1304. <https://doi.org/10.3390/ani13081304>
- [66] Pressman P, Clemens R, Hayes W, Reddy C. Food additive safety: a review of toxicologic and regulatory issues. *Toxicol Res Appl.* 2017;1:2397847317723572. <https://doi.org/10.1177/2397847317723572>
- [67] Codex Alimentarius. Norma general para los aditivos alimentarios. Codex Stan 192-1995. 1995. Available from: https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf (accessed 31 Jul 2024).
- [68] Punia Bangar S, Suri S, Trif M, Ozogul F. Organic acids production from lactic acid bacteria: a preservation approach. *Food Biosci.* 2022;46:101615. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615>
- [69] Ksiazek E. Citric acid: properties, microbial production, and applications in industries. *Molecules.* 2024;29:22. <https://doi.org/10.3390/molecules29010022>
- [70] Balderrama-Martínez K, Mendoza-Montaño L, Ramírez-Vargas DA, Hernández-Pérez AD, Padilla-Viveros A. Producción de ácido cítrico en cultivo sumergido con *Aspergillus niger*. *Rev Mex Ing Quím.* 2007;6:55.
- [71] Rosas MB, Terán DF. Obtención de ácido cítrico a partir de melaza o cachaza, mediante fermentación utilizando cepa de *Aspergillus niger* ATCC 16888. Ibarra: Universidad Técnica del Norte; 2015.

- [72] Kövilein A, Kubisch C, Cai L, Ochsenreither K. Malic acid production from renewables: a review. *J Chem Technol Biotechnol*. 2020;95:513–26. <https://doi.org/10.1002/jctb.6269>
- [73] Younes M, Aquilina G, Castle L, Engel K, Fowler P, Frutos Fernandez MJ, et al. Re-evaluation of L(+)-tartaric acid (E 334), sodium tartrates (E 335), potassium tartrates (E 336), potassium sodium tartrate (E 337) and calcium tartrate (E 354) as food additives. *EFSA J*. 2020;18:e06030. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6030>
- [74] Bustos G, Velázquez G, Rangel E, Compeán E, Campos J. Aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios II. Ciudad Victoria: Plaza y Valdés; 2008.
- [75] Trejo MA, Pascual S, Vargas MG. Capítulo 8. Propuesta tecnológica para aprovechamiento de subproductos de la industria vitivinícola. In: Bustos G, editor. Aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios II. 2022. p. 587.
- [76] Carrasco SP. Implementación de un proceso biotecnológico para la obtención de ácido láctico a partir de suero de leche. Ibarra: Universidad Técnica del Norte; 2023.
- [77] Roa Engel CA, Straathof AJJ, Zijlmans TW, van Gulik WM, van der Wielen LAM. Fumaric acid production by fermentation. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2008;78:379–89. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1341-x>
- [78] Novillo D. Evaluación de la producción de ácido fumárico mediante fermentación sumergida de bagazo de caña (*Saccharum officinarum L.*) utilizando *Rhizopus* sp. como biocatalizador. Quito: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador; 2020.
- [79] Ugarte R, Salgado G, Martínez R, Navarrete J. Estudio teórico de la isomerización del ácido maleico en ácido fumárico: un enfoque basado en el concepto de superficie de energía potencial. *Quím Nova*. 2010;33:750–4. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300048>
- [80] Kherici S, Benouali D, Benyettou M. Recovery of cream of tartar from winemaking solid waste by cooling crystallization process. *J Chem Eng Process Technol*. 2013;5:1–15. <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000180>
- [81] Kontogiannopoulos KN, Patsios SI, Karabelas AJ. Tartaric acid recovery from winery lees using cation exchange resin: optimization by response surface methodology. *Sep Purif Technol*. 2016;165:32–41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.03.040>
- [82] Calvo M. El mineral de los 14 000 usos. La utilización de la sal a lo largo de la historia. *Rev Soc Esp Para Def Patrim Geológico Min*. 2017;5:24.
- [83] Gómez-Sánchez NEO. Confitería: de lo artesanal a la tecnología. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes; 2011.
- [84] Herrera AM. Captura de CO₂ y producción de bicarbonato de sodio. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2020.
- [85] Abd-Elhakim YM, Anwar A, Hashem MM, Moustafa GG, Abo-El-Sooud K. Sodium acetate, sodium acid pyrophosphate and citric acid impacts on isolated peripheral lymphocyte viability, proliferation and DNA damage. *J Biochem Mol Toxicol*. 2018;32:e22171. <https://doi.org/10.1002/jbt.22171>
- [86] Mawouma S, Ponka R, Mbofung CM. Acceptability and solubility of iron and zinc contents of modified *Moringa oleifera* sauces consumed in the Far-North region of Cameroon. *Food Sci Nutr*. 2017;5:344–8. <https://doi.org/10.1002/fsn.3.398>
- [87] Verma AK, Singh TP, Rajkumar V, Gururaj K, Singh M, Kushwah T. Physicochemical, colour, textural, rheological and sensory properties of goat milk Mozzarella cheeses as affected by acidulants. *Indian J Dairy Sci*. 2023;76:458–65. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2023.v76i05.006>
- [88] Hanum EAR, Yulistiani R, Sarofa U. Utilization of fruit extract as acidulant on physicochemical and sensory properties of cottage cheese with addition of calcium chloride. *Asian J Appl Res Community Dev Empower*. 2022;6:15–21. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v6i2.95>
- [89] Marques C, Sotiles AR, Farias FO, Oliveira G, Mitterer-Daltoé ML, Masson ML. Full physicochemical characterization of malic acid: emphasis in the potential as food ingredient and application in pectin gels. *Arab J Chem*. 2020;13:9118–29. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.10.036>
- [90] Talib N, Mohamad NE, Yeap SK, Hussin Y, Aziz MNM, Masarudin MJ, et al. Isolation and characterization of *Lactobacillus* spp. from kefir samples in Malaysia. *Molecules*. 2019;24:2606. <https://doi.org/10.3390/molecules24142606>
- [91] Zhao Y, Suyama T, Wu Z, Zhang W. Characterization of variations and correlations between flavor metabolites and microbial communities of industrial paocai brine during fermentation. *J Food Process Preserv*. 2022;46:e16859. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16859>
- [92] Wang R, Qiao L, Wang J, Wang J, Zhang N, Chen H, et al. Effect of different vegetable oils on the flavor of fried green onion (*Allium fistulosum* L.) oil. *Foods*. 2023;12:1442. <https://doi.org/10.3390/foods12071442>
- [93] Chávez-Reyes L, García-Curiel L, Pérez-Flores JG, Pérez-Escalante E, Contreras-López E, Portillo-Torres LA, et al. Optimization of sourness and flavor in orange-flavored gummy candies using a simplex-lattice mixture design implemented with R. *Av En Cienc E Ing*. 2025;17. <https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.3414>
- [94] Chidi BS, Bauer FF, Rossouw D. Organic acid metabolism and the impact of fermentation practices on wine acidity: a review. *S Afr J Enol Vitic*. 2018;39. <https://doi.org/10.21548/39-2-3172>
- [95] Rocha RAR, Cruz MADD, Silva LCF, Costa GXR, Amaral LR, Bertarini PLL, et al. Evaluation of Arabica coffee fermentation using machine learning. *Foods*. 2024;13:454. <https://doi.org/10.3390/foods13030454>
- [96] Xiang W, Xu Q, Zhang N, Rao Y, Zhu L, Zhang Q. *Mucor indicus* and *Rhizopus oryzae* co-culture to improve the flavor of Chinese turbid rice wine. *J Sci Food Agric*. 2019;99:5577–85. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9831>
- [97] Zhou Y, Chao Y, Huang C, Li X, Yi Z, Zhu Z, et al. Influence of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* individual and collaborative inoculation on flavor characteristics of rose fermented beverage. *Foods*. 2025;14:1868. <https://doi.org/10.3390/foods14111868>
- [98] Lee B-H, Huang C-H, Liu T-Y, Liou J-S, Hou C-Y, Hsu W-H. Microbial diversity of anaerobic-fermented coffee and potential for inhibiting ochratoxin-produced *Aspergillus niger*. *Foods*. 2023;12:2967. <https://doi.org/10.3390/foods12152967>

- [99] Hartel RW, Hartel A. Candy bites: the science of sweets. New York: Springer; 2014. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9383-9>
- [100] Marques C, Sotiles AR, Oliveira Farias F, Oliveira G, Mitterer-Daltoé ML, Masson ML. Full physicochemical characterization of malic acid: emphasis in the potential as food ingredient and application in pectin gels. *Arab J Chem.* 2020;13:9118–29. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.10.036>
- [101] Abu-Reidah IM. Trends in non-alcoholic beverages. Elsevier; 2020.
- [102] Cruz-Enriquez JA, García-Curiel L, Pérez-Flores JG, Contreras-López E, Pérez-Escalante E, Soto-Vega K, et al. Lemon-flavored gummy candies: sourness, flavor and overall acceptance optimization using lattice-simplex mixture design implemented with Python programming language. In: 5th International Electronic Conference on Foods. MDPI; 2025. p. 41. <https://doi.org/10.3390/blsf2024040041>
- [103] Andrés-Bello A, Barreto-Palacios V, García-Segovia P, Mir-Bel J, Martínez-Monzó J. Effect of pH on color and texture of food products. *Food Eng Rev.* 2013;5:158–70. <https://doi.org/10.1007/s12393-013-9067-2>
- [104] Lesmayati S, Qomariah R, Awanis, Anggreany S. Effect of gelatin and citric acid concentration on chemical and organoleptic properties of jelly citrus. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2022;1024:012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012025>
- [105] Ojeda JC, Vasquez VG. Aplicación de ácidos orgánicos en la reducción de microorganismos aerobios mesófilos y coliformes totales y fecales en canales de bovinos. 2009.
- [106] Gérard V, Ay E, Morlet-Savary F, Graff B, Galopin C, Ogren T, et al. Thermal and photochemical stability of anthocyanins from black carrot, grape juice and purple sweet potato in model beverages in the presence of ascorbic acid. *J Agric Food Chem.* 2019;67:5647–60. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01672>
- [107] Kopjar M, Jakšić K, Piližota V. Influence of sugars and chlorogenic acid addition on anthocyanin content, antioxidant activity and color of blackberry juice during storage. *J Food Process Preserv.* 2012;36:545–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00631.x>
- [108] Sipahli S, Mohanlall V, Mellem JJ. Stability and degradation kinetics of crude anthocyanin extracts from *Hibiscus sabdariffa*. *Food Sci Technol.* 2017;37:209–15. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.14216>
- [109] Song H-N, Ji S-A, Park H-R, Kim H-H, Hogstrand C. Impact of various factors on color stability of fresh blueberry juice during storage. *Prev Nutr Food Sci.* 2018;23:46–51. <https://doi.org/10.3746/pnf.2018.23.1.46>
- [110] Weerawatanakorn M, Wu J-C, Pan M-H, Ho C-T. Reactivity and stability of selected flavor compounds. *J Food Drug Anal.* 2015;23:176–90. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.02.001>
- [111] Loubes MA, Flores SK, Tolaba MP. Effect of formulation on rice noodle quality: selection of functional ingredients and optimization by mixture design. *LWT-Food Sci Technol.* 2016;69:280–6. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.055>
- [112] Mendoza SM, Van Heugten E. Effects of dietary lipid sources on performance and apparent total tract digestibility of lipids and energy when fed to nursery pigs. *J Anim Sci.* 2014;92:627–36. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6488>