



Harina de cáscara de cítricos como ingrediente para la industria cárnica*

Citrus peel flour as an ingredient for the meat industry

Jorge Ruperto Velásquez-Rivera¹, Raúl Díaz-Torres²

- * Recepción: 11 de marzo, 2024. Aceptación: 13 de mayo, 2024. Este trabajo formó parte del proyecto “Obtención de harina de albedo de toronja como fuente de fibra para jamón de pato”, financiado por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- ² Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. jorge.velasquez02@cu.ucsg.edu.ec (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-3500-8403>).
- ³ Universidad de la Habana, La Habana, Cuba; Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. rauldiaztor@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0001-9023-4481>).

Resumen

Introducción. Las frutas cítricas en especial las naranjas (*Citrus sinensis*) y mandarinas (*Citrus reticulata*) se encuentran entre las más consumidas a nivel mundial, pero su procesamiento industrial genera una enorme cantidad de subproductos, que constituyen una fuente importante de valiosas sustancias bioactivas. Entre los subproductos más abundantes están las cáscaras, que poseen gran cantidad de compuestos con actividad antioxidante, antimicrobiana y fibra. **Objetivo.** Describir los posibles beneficios del uso de la cáscara de cítricos como fuente de compuestos bioactivos y sus aplicaciones como ingrediente en el desarrollo de carnes y productos cárnicos más saludables. **Desarrollo.** En esta recopilación se analizaron las principales características de las cáscaras de las frutas cítricas enfatizando en su composición química, propiedades físicas y valor como fuente de compuestos bioactivos, así como los efectos señalados en la literatura científica, sobre su empleo como ingrediente en productos cárnicos. Para ello, se discuten los cambios que se introducen en las características químicas, sensoriales, texturales, de color y durabilidad de los productos cárnicos. Se ha reportado que estos cambios se deben a la presencia de compuestos bioactivos, con características antioxidantes y antimicrobianas como componentes aromatizantes, polifenoles-flavonoides, aceites esenciales, pigmentos, hidratos de carbono y fibras dietéticas, los cuales pueden ser más o menos benéficos, según el origen, la concentración empleada y forma de adición. **Conclusión.** La industrialización de los cítricos produce gran cantidad de subproductos ricos en compuestos bioactivos, con propiedades antioxidantes y antimicrobianas, que constituyen una alternativa viable para desarrollar productos cárnicos más saludables y sostenibles, con propiedades sensoriales adecuadas y mayor vida útil, pero en cada caso deben considerarse las características propias del subproducto y de la matriz alimentaria donde se desea emplear.

Palabras clave: capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, cambios químicos, durabilidad, evaluación sensorial.



Abstract

Introduction. Citrus fruits, particularly orange (*Citrus sinensis*) and mandarins (*Citrus reticulata*), are among the most widely consumed globally. However, their industrial processing generates a significant amount of byproducts, which are important source of valuable bioactive substances. Among the most abundant byproducts are peels, which contain high levels of compounds with antioxidant and antimicrobial activity, as well as fiber. **Objective.** To describe the potential benefits of using of citrus peels as a source of bioactive compounds and their applications as ingredients in developing healthier meat. **Development.** This review analyzed the main characteristics of citrus fruit peels, emphasizing their chemical composition, physical properties, and value as a source of a bioactive compounds. The effects reported in scientific literature regarding their use as ingredients in meat products were also examined. The discussions focuses on changes introduced in the chemical, sensory, textural, color, and durability characteristics of meat products. These changes have been attributed to the presence of bioactive compounds with antioxidant and antimicrobial properties, including aromatic components, polyphenols-flavonoids, essential oils, pigments, carbohydrates, and dietary fibers. The benefits of these compounds vary depending on their origin, concentration, and method of incorporation. **Conclusion.** The industrialization of citrus fruits generates large quantities of byproducts rich in bioactive compounds with antioxidant and antimicrobial properties. These byproducts present a viable alternative for developing healthier and more sustainable meat products with suitable sensory properties and extended shelf life. However the specific characteristics of the byproduct and the food matrix where it is intended to be used must be considered in each case.

Keywords: antioxidant capacity, phenolic compounds, chemical changes, durability, sensory evaluation.

Introducción

Las frutas cítricas (género *Citrus* L., familia *Rutaceae*.) atraen a los consumidores debido a sus prometedoras características para la salud y sus atributos sensoriales, como el color, dulzor, amargor y astringencia, que aumentan su valor comercial (Wedamulla et al., 2022). Estas frutas se cultivan en zonas tropicales y subtropicales debido a sus suelos y clima favorables, y constituyen uno de los cultivos más importantes y consumidos a nivel mundial, debido entre otros factores, a sus cualidades de conservación, que facilitan su transporte a lugares lejanos (Nieto et al., 2021). Entre las especies más cultivadas se encuentran *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus reticulata* (mandarina), *Citrus tangerine* (mandarina), *Citrus aurantifolia* (lima), *Citrus limon* (limón), *Citrus limetta* (lima dulce), *Citrus paradisi* (toronja) y *Citrus grandis* Osbeck (pomelo o “shaddock”) (Nieto et al., 2021; Panwar et al., 2021; Tocmo et al., 2020).

Las naranjas, mandarinas, limas, limones y toronjas representan, en ese orden, los cultivos cítricos más importantes por su producción mundial. Su destino es tanto el consumo en fresco como la industria, que utiliza el 33 % de la cosecha para producir jugos (Mir Khan et al., 2021). Este proceso genera una gran cantidad de residuos que, sin el tratamiento y eliminación adecuados, podrían ocasionar graves problemas ambientales (Arslan et al., 2021; Nieto et al., 2021). Sin embargo, estos residuos representan una rica fuente de compuestos valiosos con aplicaciones industriales futuras (Angulo-López et al., 2022), lo que ha motivado su estudio en la industria cárnica. Entre los compuestos presentes en estos residuos se encuentran flavonoides como hesperidina, tangeretina, nobiletina, naringina, narirutina, neohesperidina y limonoides, a los cuales se les atribuyen propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Saini et al., 2022), así como fibra dietaria (Arslan et al., 2021).

Los cítricos se comercializaban y consumían principalmente como fruta fresca hasta que, a principios del siglo XX, comenzó el procesamiento industrial de jugos en algunos estados de Estados Unidos, como California y Florida (Ben Hsouna et al., 2023). En la actualidad, alrededor de un tercio de la producción total de cítricos se transforma en jugos, mermeladas y jaleas (Melini et al., 2020), lo que genera gran cantidad de residuos. Este término incluye materiales generados sin intención en la producción, pero que no se consideran desechos propiamente dichos (Šelo et al., 2021). Entre estos residuos, las semillas y cáscaras representan el 50 % del peso total de la fruta, y constituyen una fuente potencial de compuestos polifenólicos como ácidos fenólicos y flavonoides, ya que la cáscara contiene una mayor cantidad de polifenoles que la pulpa comestible (Bhardwaj et al., 2022). También son fuentes de otros componentes de alto valor económico y biológico, como fibra dietética, carotenoides, aceites esenciales, azúcares, ácido ascórbico y niveles importantes de algunos oligosacáridos (Nieto et al., 2021). Por su composición, tienen además potencial industrial en la producción de combustibles (bio-diesel) y productos químicos de aplicación industrial, como la pectina (Jeong et al., 2021).

Desaprovechar los residuos generados durante del procesamiento de las frutas cítricas no solo es riesgoso para el ambiente, sino también poco económico (Sharma et al., 2017). Si las cáscaras no se reutilizan, se convierten en desechos que pueden ser una fuente potencial de contaminación ambiental (Ben Hsouna et al., 2023). Por ejemplo, los desechos derivados del procesamiento de toronja representan a nivel mundial aproximadamente 525 000 toneladas al año, y debido a sus características (pH 3 a 4, alto contenido de agua y material orgánico), son fermentables y, por lo tanto, peligrosos para el ambiente (Zarate-Vilet et al., 2022).

En 2019, la producción mundial de frutas cítricas, incluidas naranjas (*Citrus sinensis*), mandarinas (*Citrus reticulata*), limones (*Citrus limon*), limas (*Citrus limetta*) y toronjas (*Citrus paradisi*), alcanzó los 143,7 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization [FAO], 2021). Esto implicó gran cantidad de residuos, en su mayoría de cáscaras y semillas. Las cáscaras son ricas en compuestos fenólicos, como flavonoides e hidroxicinamatos (Bhardwaj et al., 2022; Melini et al., 2020), mientras que las semillas contienen ácidos grasos (Al Juhaimi et al., 2018). Los aceites extraídos de las semillas contienen ocho tipos de ácidos grasos, incluidos tres principales: linoleico (C18: 2cis ω 6), oleico (C18:1) y palmítico (C16:0). Estos aceites, en general, tienen un contenido de entre 65,61 % y 78,73 % de ácidos grasos insaturados y son ricos en ω 6 (C18: 2cis ω 6) y ω 3 (C18: 3 ω 3), aunque la proporción varía entre especies (Slama et al., 2020).

El objetivo de esta revisión es describir los posibles beneficios del uso de la cáscara de cítricos como fuente de compuestos bioactivos y sus aplicaciones como ingrediente en el desarrollo de carnes y productos cárnicos más saludables.

Propiedades de la cáscara

Los cítricos están compuestos por la cáscara (flavedo y albedo), la pulpa y las semillas. El flavedo o cáscara exterior, es de color amarillo/naranja en muchas especies y representa alrededor el 10 % del peso total de la fruta, mientras que el albedo, la capa interior blanca y esponjosa de la cáscara, constituye alrededor del 17 % de ese peso. La pulpa, por su parte, representa alrededor del 71 % y las semillas del 2 % (Zhang et al., 2023). Estos valores varían de una a otra especie (Cuadro 1), al igual que su composición química (Cuadro 2).

Se ha reportado que la obtención de jugos cítricos genera gran cantidad de coproductos, que representan entre el 50 % y el 70 % del peso de la fruta (p/p), dependiendo de la tecnología adoptada y del cultivar. De estos coproductos, entre el 60 % y el 65 % del peso corresponde a la cáscara (flavedo y albedo), entre el 30 % y el 35 % a tejidos internos, y hasta un 10 % a semillas (Nieto et al., 2021).

El albedo es un tejido blanco y esponjoso derivado de la celulosa que, como fuente potencial de fibra dietética, proporciona valor nutricional y posee una relevancia tecnológica (Srithongkerd et al., 2018). Es rico en sustancias pectínicas, presenta un grosor variable según las variedades y contiene compuestos bioactivos como vitaminas

Cuadro 1. Principales constituyentes de los desechos de diferentes variedades de frutas cítricas (adaptado de Zema et al., 2018).

Table 1. Main constituents of waste from different citrus fruit varieties (adapted from Zema et al., 2018).

Variedad de cítricos	Desechos (% del peso fresco)	Cáscara (%)*	Membranas segmentadas y sacos de jugo (%)*	Semillas (%)*	Otros (%)*
Naranja	55,5	65,4	31,8	22,0	0,6
Tangerina	69,2	75,5	22,6	0,0	1,9
Mandarina	64,3	58,2	32,6	9,2	0,0
Toronja	62,2	65,1	33,3	1,6	0,0
Limón	62,1	69,6	25,0	5,3	0,1

* sobre el peso de materia seca. / * based on dry weighth.

Cuadro 2. Composición química (peso en base seca) del albedo de tres cultivares cítricos (adaptado de Bilgiçli et al., 2014).

Table 2. Chemical composition (dry weight basis) of the albedo from three citrus cultivars (adapted from Bilgiçli et al., 2014).

	Ceniza	Proteína	Lípidos	Fenoles	Actividad antioxidante	pH	
	(g kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)	(mmol kg ⁻¹)		
Limón	31,1 a	30,7 b	2,6 b	7110,4 b	1333,86 a	4,92 c	
Naranja	24,9 b	26,2 c	2,7 b	6352,2 c	739,25 c	4,65 d	
Toronja	31,9 a	30,5 b	2,9 b	8440,7 a	909,92 b	5,01 b	
Minerales (mg kg ⁻¹)							
	Ca	Cu	Fe	K	Mg	P	Zn
Limón	6122,1 b	75,1 a	239,7 a	7981,4 a	712,3 a	512,3 b	59,8 a
Naranja	7156,4 a	6,5 bc	238,0 a	6962,1 c	532,6 b	398,2 c	15,1 b
Toronja	3384,7 c	5,6 c	125,2 b	7412,3 b	513,1 b	396,4 c	7,6 c

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre cultivares. / Different letters in the same column (cultivar) lead to significant differences at $p \leq 0.05$.

El contenido total de fenoles se expresa como miligramos equivalentes de ácido gálico por kilogramo de materia seca. La actividad antioxidante se expresa como milimoles equivalente de Trolox por kilogramo de materia seca. / Total phenolic content is expressed as milligrams of gallic acid equivalents per kilogram of dry weight. Antioxidant activity is expressed as millimoles of Trolox equivalents per kilogram of dry weight.

y polifenoles. Su composición depende de la especie, cultivar y las condiciones de cosecha (Nieto et al., 2021; Panwar et al., 2021).

La cáscara de los cítricos contiene diversos compuestos naturales, sobre todo compuestos fenólicos y carotenoides (Šafranko et al., 2023). Entre sus principales componentes se encuentran los ácidos fenólicos (sobre todo cafeico, p-cumárico, ferúlico y sinápico), flavanonas (las más abundantes naringina y hesperidina) y flavonas polimetoxiladas (en particular, nobiletina y tangeretina) (Singh et al., 2020). Estos compuestos actúan como antioxidantes, protegiendo las células contra el daño de los radicales libres, y contribuyen a la reducción del riesgo de numerosas enfermedades crónicas. Por ello, las cáscaras de cítricos pueden usarse como fuentes de compuestos funcionales y conservantes para desarrollar nuevos productos alimenticios seguros y funcionales que promuevan la salud (Singh et al., 2020).

El porcentaje de cáscara en relación con la fruta entera varía entre cultivares. Por ejemplo, la cáscara de toronja representa entre el 25 % y el 35 %, la del limón entre el 12 % y el 13 % y la del pomelo entre el 36 % y el 40 % (Wedamulla et al., 2022). Estas diferencias están relacionadas con el grosor variable del albedo, que también depende de los grupos de cultivares: para las naranjas (*C. sinensis*) es de 5 a 10 mm, para toronjas (*C. paradisi*) supera los 10 mm, para limones (*C. limon*) es de 5 mm y para mandarinas (*C. unshui* y *C. reticulata*) es inferior a 3 mm (Cronjé et al., 2017).

Cuando se compararon cinco cultivares – un híbrido de pomelo y mandarina “Aliza” (*Citrus maxima*, cv. Red Chandler × *Citrus reticulata*, cv. Ora), naranja dulce “Newhall”, toronja roja ‘Star Ruby’, pomelo “Goliath” y mandarina “Nova” – se observó que el grosor de la cáscara varía significativamente entre ellos (Cuadro 3) (Pardo et al., 2023).

Cuadro 3. Variación del grosor de la cáscara y sus componentes en cinco cultivares cítricos (adaptado de Pardo et al., 2023).

Table 3. Variation in peel thickness and its components in five citrus cultivars (adapted from Pardo et al., 2023).

Grosor (mm)	Cultivar				
	“Aliza”	Toronja	Pomelo	Naranja	Mandarina
Albedo	3,72 c	5,44 b	16,57 a	5,30 b	2,55 c
Flavedo	0,89 bc	1,78 ab	2,43 a	1,10 bc	0,85 c
Cáscara	4,61 c	7,22 b	19 a	6,40 b	3,40 d

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre cultivares. / Different letters in the same row (cultivar) lead to significant differences at $p \leq 0.05$.

La cáscara de cítricos es rica en compuestos fenólicos flavonoides. En un estudio realizado con siete frutas cítricas – naranja amarga (*Citrus aurantium*), toronja (*Citrus paradisi*), limón (*Citrus limonum*), lima (*Citrus aurantifolia*), naranja (*Citrus sinensis*), mandarina satsuma (*Citrus unshiu*) y yuzu (*Citrus junos*) – se encontró variación entre cultivares (Lee et al., 2022). Aunque todos los ácidos fenólicos estaban presentes, su proporción variaba con el mayor contenido lo encontraron en naranja amarga, yuzu y mandarina satsuma (0,39; 0,33 y 0,21 mg/g, respectivamente). Estos autores también observaron que los glucósidos flavonoides representaban del 0,55 % al 3,41 % en las cáscaras de cítricos sin tratar, con niveles superiores al 3 % en toronjas y mandarinas satsuma. Existe un alto contenido de ácidos fenólicos y glucósidos flavonoides en naranja amarga, pomelo y mandarina satsuma, mientras que los niveles más bajos se encuentran en la lima y el limón.

La mayor porción de los residuos de la industria cítrica la constituye proviene de la cáscara. Incluso dentro de la misma especie, el cultivar y otros factores conducen a resultados diferentes. Una investigación con cuatro cultivares de naranjas rojas (*Citrus sinensis* L. Osbeck) mostró variaciones en el grosor de la cáscara: el “Tarocco” ($5,01 \pm 0,34$ mm) fue considerado el más grueso, seguido por “Moro” ($4,52 \pm 0,11$ mm), “Sanguinello” ($3,42 \pm 0,09$ mm) y “Sanguine” ($2,93 \pm 0,08$ mm) (Multari et al., 2021). Otros estudios realizados con mandarinas demostraron que la corteza puede variar significativamente (de 1,13 a 2,74 mm), dependiendo del cultivar estudiado, así como de las condiciones de crecimiento (Kaur et al., 2022) y la época de recolección (Manzoor et al., 2022).

La industria cítrica genera gran cantidad de subproductos, ya que, a diferencia de otras frutas, la parte comestible de los cítricos es pequeña en comparación con la parte no comestible (Kaur et al., 2023). Alrededor del 33 % de los cítricos se procesan para obtener jugo, con una composición aproximada es de 45 % de jugo, 26 % de pulpa, 27 % de cáscara y 2 % de semillas (Leporini et al., 2021). Esto genera hasta 16 millones de toneladas de residuos subutilizados por año, solo en la Unión Europea (Correddu et al., 2020). Durante este proceso, los residuos

de cáscara constituyen el desecho principal, representando entre el 30 % y el 34 % del peso inicial de la fruta (Rafiq et al., 2018). Las cáscaras contienen una gran cantidad de componentes bioactivos, como polifenoles-flavonoides (flavonas polimetoxiladas: hesperidina, naringina, nobiletina, tangeretina), aceites esenciales (D-limoneno), pigmentos (carotenoides), carbohidratos (pectina, celulosa, hemicelulosa) y fibras dietéticas, así como compuestos aromatizantes y pigmentos (Russo et al., 2021).

Debido a su composición, se atribuyen a las cáscaras de los cítricos efectos antioxidantes, antiinflamatorios, actividad citotóxica y antibacteriana (Russo et al., 2021). La actividad antioxidante del flavedo y albedo de la toronja, naranja, limón y lima, puede explicarse por la presencia de flavonoides, ácido ascórbico, azúcares reductores y carotenoides (Yadav et al., 2022). Sin embargo, el contenido de cada compuesto y, por ende, su biofuncionalidad, dependen de factores como la especie, variedad, técnicas de cultivo, estado de madurez, etc. (Dong et al., 2019). Una investigación con diecinueve genotipos de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) mostró que la composición fenólica se relaciona con la capacidad antioxidante en diferentes tejidos de estos cítricos, excepto en la cáscara. Los diferentes valores del coeficiente de correlación podrían explicarse por las diferentes matrices de muestra y antecedentes genéticos (Zhang et al., 2018).

El contenido de flavonoides y polifenoles totales varía entre especies (Vitalini et al., 2021). Una investigación con tres variedades de naranja dulce (Navel, Cara Cara y Kirkwood) encontró diferencias entre los valores de carotenoides, vitamina C, tocoferoles, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante entre los subproductos de la obtención de jugos (Zacarías-García et al., 2023). Otro estudio sobre la capacidad antioxidante y el perfil de flavonoides en veintisiete cultivares cítricos en China mostró que la mayor capacidad antioxidante se encuentra en la cáscara, seguida por la pulpa y el jugo, aunque los valores encontrados son dependientes del método analítico empleado y el tipo de flavonoide, que varía según el cultivar (Chen et al., 2020).

En un estudio similar, se evaluó el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, vitamina C y actividad antioxidante de tres frutas cítricas (limón, naranja y toronja) y se encontró alta correlación entre los metabolitos en las cáscaras y la fruta entera. El contenido fenólico total tuvo la mayor correlación con la actividad antioxidante, sobre todo en las cáscaras, y podría ser uno de los principales contribuyentes a las capacidades antioxidantes de estos residuos. Los valores de compuestos fenólicos en las cáscaras fueron mayores que en pulpas y podrían servir como recursos económicos y disponibles de compuestos bioactivos (antioxidantes naturales) para la industria (Sir Elkhatim et al., 2018). Estos resultados indican la posibilidad de utilizar las cáscaras de diversas frutas cítricas en la industria cárnica (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022). No obstante, debido a razones organolépticas (sabor amargo, cambios de textura), se debe limitar el porcentaje añadido de harinas de este origen (Zarate-Vilet et al., 2022). Por ejemplo, el albedo de toronja es rico en pectina y fibra dietética y aporta otras sustancias valiosas para mantener una dieta sana y equilibrada (Nieto et al., 2021), pero su empleo está limitado por la presencia de otros componentes como flavonoides o limonoides (Zarate-Vilet et al., 2022).

Es necesario investigar la seguridad de introducir las harinas de cáscara de frutas cítricas en la cadena alimentaria. Aunque su uso genera alimentos con valor agregado, representan un riesgo potencial (Wedamulla et al., 2022). Existen reportes (Ani & Abel, 2018) sobre presencia de sustancias antinutrientes en extractos obtenidos de *Citrus maxima*, con una mayor proporción que en el jugo, e incluso sobre la toxicidad de extractos del flavedo de variedades de pomelo (Tran et al., 2021), aunque no se indica un peligro real para la salud debido al consumo de sus harinas. Por el contrario, se recomienda su consumo debido al contenido de flavonoides bioactivos (flavonas polimetoxiladas y altas cantidades de xantofilas bioactivas naturales, entre otros), que ayuden a reducir el riesgo de varios padecimientos (ALaqeel, 2023).

Empleo en la industria cárnica

La industria alimentaria suele emplear aditivos sintéticos como antioxidantes (butilhidroxitolueno – BHT – y el butilhidroxianisol – BHA) o antimicrobianos (nitrito de sodio y derivados del ácido benzoico o del ácido sórbico) para mejorar o mantener la calidad y prolongar la vida útil de los productos. Sin embargo, algunos de estos compuestos se han asociado con reacciones alérgicas, carcinogénesis y el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas (Andrade et al., 2022). Por esta razón, se buscan aditivos naturales de bajo costo que mejoren los beneficios para la salud y la durabilidad (Abdel-Naeem et al., 2022). Los derivados de origen vegetal, como los subproductos de la industrialización de las frutas, se utilizan para obtener productos cárnicos más saludables y de mayor vida útil. El uso de fibras dietéticas y antioxidantes es el próximo paso. En especial, la incorporación de fibra es demandada tanto por sus ventajas tecnológicas como por sus beneficios para la salud humana (Kausar et al., 2019). Los subproductos del procesamiento de alimentos son una fuente importante de fibra dietética. El Cuadro 4 muestra el contenido de fibra de la cáscara de algunas frutas industrializadas, lo cual es crucial para la elaboración de alimentos funcionales y saludables.

Cuadro 4. Variación del contenido de fibra dietética (g/100 g) \pm desviación estándar en la cáscara de algunas frutas cítricas, según el cultivar (adaptado de Czech et al., 2021).

Table 4. Variation in dietary fiber content (g/100 g) \pm standar deviation in the peel of selected citrus fruits, by cultivar (adapted from Czech et al., 2021).

Fruta cítrica (cultivar)							
Naranja (Navelina)	Pomelo (Honey)	Mandarina (Clementina)	Limón (Interdonato)	Key lime (Tahiti)	(Star Ruby)	Toronja (Sweetie)	(Duncan)
63,77 \pm 0,591a	61,85 \pm 0,957bc	62,53 \pm 0,477b	64,64 \pm 0,591a	63,89 \pm 0,394a	61,22 \pm 0,926c	61,07 \pm 0,621c	60,05 \pm 0,975d

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre cultivares / Different letters in the same row (cultivar) lead to significant differences at $p \leq 0,05$.

El enriquecimiento de productos cárnicos con cáscaras de frutas y verduras produce diversos efectos sobre sus características, incluyendo cambios químicos, sensoriales, texturales, de color o en la durabilidad (Bhardwaj et al., 2022), que se abordaran en más detalle más adelante. Los resultados pueden variar según el tipo de producto cárnico al que se añaden y la forma de adición (Santos et al., 2022). El propósito no es solo lograr las funciones deseadas, como restaurar o aumentar el rendimiento y los valores nutritivos, sino también mejorar los atributos sensoriales influyendo en sus propiedades fisicoquímicas y extender la vida útil del producto inhibiendo la oxidación y el crecimiento microbiano durante el almacenamiento (Das et al., 2020).

Entre las reacciones de deterioro más comunes en los productos cárnicos de mayor interés a nivel industrial se encuentran las reacciones de oxidación (rancidez) y los cambios sensoriales asociados (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022). Para controlarlas, es necesario analizar las condiciones de almacenamiento y realizar estudios de vida útil que aborden desde la seguridad alimentaria hasta la estabilidad de los micronutrientes y compuestos bioactivos (Santos et al., 2022). Para aumentar la vida útil de los productos cárnicos, se han utilizado diversos compuestos antioxidantes (como el BHT y el BHA), antimicrobianos (aceites esenciales de diverso origen), tecnologías de procesamiento emergentes (pulsos de luz, ultrasonido, por ejemplo), desarrollos de empaque y aditivos (películas biodegradables y envases activos), con gran interés en la aplicación de compuestos naturales

(incluidas las cáscaras de cítricos), así como procesos que involucran pocas operaciones unitarias y mínimo o nulo procesamiento térmico como el empleo de altas presiones (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022).

Los subproductos ricos en fibra pueden ser incorporados a los productos alimenticios como agentes de carga económicos y no calóricos que han sido empleados para reemplazar parcialmente la harina, la grasa o el azúcar, y aumentar tanto la capacidad de retención de agua (CRA) como de aceite, mejorando la emulsión y la estabilidad oxidativa (Bhardwaj et al., 2022). Pese al beneficio, la presencia de limonoides, poncirina, hesperidina y flavonas polimetoxiladas puede causar daño sensorial al conferir un sabor amargo si se utiliza en grandes cantidades (Teixeira & Novello, 2020). El término “fibra cítrica” es amplio y su origen y forma de obtención influyen sobre los resultados (Zhang et al., 2023). En un estudio de tres fibras comerciales obtenidas de limón, se hallaron diferencias en cuanto a CRA; la fibra con mayor valor de CRA presentó mayor rendimiento culinario en carne de vacuno especiada, a la que se añadió previa disolución en la salmuera a inyectar (Zhang et al., 2023).

Cambios en las características químicas

En un estudio sobre hamburguesas de pollo, se analizó el efecto de la inclusión (o uso) de cuatro polvos de cáscara de frutas – limón, naranja, pomelo y plátano – (1 % de cada uno) sobre la estabilidad oxidativa, calidad higiénica, propiedades fisicoquímicas y sensoriales durante tres meses de almacenamiento, a -18 °C. Todos exhibieron actividades antioxidantes y antibacterianas mayores a la muestra control, así como disminución del pH debido a la presencia de compuestos fenólicos (Abdel-Naeem et al., 2022).

En una investigación, se añadió fibra cítrica (máximo 1 %) como sustituto del tripolifosfato de sodio, la cual no alteró significativamente la mayoría de las características físicas, químicas o sensoriales de la salchicha de Bolonia durante el almacenamiento refrigerado (Powell et al., 2019). En un experimento para la evaluación del efecto de la adición de fibra de limón (2 %, 4 % y 6 %) en hamburguesas de carne de res bajas en grasa, se encontró que la adición de fibra disminuye el contenido de ácidos grasos saturados y reduce el contenido de colesterol dependiendo de la concentración (Soncu et al., 2015). En otro estudio, se prepararon salchichas Frankfurt bajas en grasa con diferentes concentraciones de fibra cítrica (1 %, 2 % y 3 %), y reportaron que las muestras añadidas con fibra cítrica tenían menor contenido de ácidos grasos saturados y mejor capacidad de retención de agua (CRA) (Song et al., 2016). Otro artículo reportó que añadieron fibra cítrica (0 %, 1 %, 5 % y 10 %) en albóndigas bovinas y encontraron que las muestras que la contenían presentaban un contenido de ácidos grasos saturados más bajo y un contenido de fibra dietética más alto, comparado con la muestra control (Gedikoğlu & Clarke, 2019).

El pH disminuye al adicionar harina de albedo de limón en hamburguesas de pollo ultrabajas en grasa (Chappalwar et al., 2021) o harina de cáscara de naranja (Mahmoud et al., 2017) en hamburguesas bovinas, pero si se añade albedo de naranja molido o harina de albedo de naranja como sustituto de grasa (Silva et al., 2020) en hamburguesas bovinas, se reporta un ligero aumento (Baoumy & Abdelmaksoud, 2021). Al emplear hasta 10 % de harina de albedo de pomelo para elaborar un embutido de pollo, no existieron cambios de pH (Srithongkerd et al., 2018). Estas variaciones pueden asociarse a los ácidos orgánicos (ascórbico, cítrico y tartárico) presentes y dependen de la matriz empleada y las características de la harina (Skwarek & Karwowska, 2023).

Cambios sensoriales

En un estudio, se incorporó albedo de pomelo (*Citrus grandis*) deshidratado y desamargado como sustituto de grasa para elaborar un embutido de cerdo. La incorporación de hasta un 3 % no afectó las propiedades sensoriales evaluadas (aceptación general, aroma, sabor y ternura), pero al emplear 6 %, el resultado fue significativamente peor en todos esos parámetros (Soriano et al., 2015). En otra investigación, se utilizó harina de albedo de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. Pera-Rio) para sustituir grasa en hamburguesas bovinas (Silva et al., 2020). Estos

autores mostraron que las formulaciones donde se sustituyó grasa porcina por un 25 % y un 50 % de harina de albedo de naranja, fueron más aceptadas, con mayor intención de compra, indicio de que pueden funcionar como alternativas viables desde el punto de vista nutricional y sensorial.

En una investigación sobre la elaboración de una hamburguesa de carne bovina baja en grasa, se emplearon la cáscara y pulpa remanentes de la extracción del jugo de naranja, las cuales fueron hervidas por un minuto, deshidratadas y molidas para obtener harina, utilizada como sustituto de grasa en tres niveles (2,5 %, 5 % y 7,5 %). El nivel de sustitución más bajo condujo a una mejora de todos los parámetros sensoriales, que no se afectaron con el nivel intermedio. Sin embargo, al nivel más alto, la aceptación del producto disminuyó comparada con el control (Selim et al., 2019). En un resultado similar para hamburguesa de carne bovina, se reportó que el valor sensorial óptimo de adición, fue de 5 % (Mahmoud et al., 2017). En otra investigación, la harina de albedo de limón se utilizó para elaborar hamburguesas de pollo ultrabajas en grasa. Los mejores resultados del análisis sensorial se presentaron con la incorporación de hasta el 1 % de harina, pero con la incorporación del 2 % o 3 %, los panelistas reportaron mayor sabor amargo y otorgaron evaluaciones más bajas (Chappalwar et al., 2021).

Se ha comparado el efecto de harinas obtenidas a partir de corteza fresca de naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus aurantiifolia*) maduros aplicadas en dos concentraciones, sobre la calidad sensorial de carne de res picada. Cuando emplearon un 10 % de adición, observaron un efecto negativo sobre las características sensoriales (olor cítrico abundante y decoloración), pero no observaron cambios significativos en la puntuación sensorial cuando las harinas fueron empleadas al 5 % (Eldahrawy et al., 2022). Resultados similares fueron encontrados con el empleo de harina de albedo de naranja como reemplazo de grasa en mortadela de pollo (Belluco et al., 2022).

Cambios texturales

La textura es uno de los principales atributos sensoriales considerados por los consumidores al escoger un alimento, e influye en su aceptabilidad, sobre todo en el caso de los productos cárnicos (Haque et al., 2023). La textura ha sido evaluada por métodos mecánicos y sensoriales y se utiliza como un indicador del comportamiento durante la elaboración y almacenamiento de los productos cárnicos (Schreuders et al., 2021). Incorporar fibra dietética (entendida como cualquier componente químico derivado de células vegetales que las enzimas presentes en el intestino humano no pueden digerir, sea soluble o insoluble) a los productos cárnicos produce cambios texturales dependientes del tipo de fibra, pues algunas aumentan la dureza, mientras que otras pueden mejorar la suavidad. Una razón que explica los resultados contradictorios es la naturaleza de la fibra dietética, que se añade generalmente como cáscara, pulpa o salvado (Younis et al., 2022).

Otros factores a considerar son el porcentaje de fibra añadido (Howard et al., 2024). En un estudio reciente donde se emplearon seis tipos de fibras comerciales de origen vegetal (Citri-FI 100, Fiber Star y Herbacel AQ Plus; fibras obtenidas de manzana Herbacel AQ; guisante Griffith Lab; bambú Griffith Lab y caña de azúcar Griffith Lab), se mostró que la capacidad de una fibra específica para mejorar la textura y rendimiento de un producto cárnico depende de su interacción con la proteína de la matriz cárnica formada. Esto confirma que la adición de fibra puede ser beneficiosa o no para la textura, dependiendo de las propiedades de la fibra (Barbut, 2023).

Cuando se incorporan vegetales a un embutido elaborado a partir de carne molida de pollo, se afecta su textura, formando una matriz de estructura menos densa, más suave y de mayor masticabilidad, debido al incremento en contenido de humedad y la disminución de los porcentajes de grasa y proteína. Por ende, la incorporación de harina de cáscara de frutas cítricas, a productos cárnicos, puede afectar sus características texturales (Ahmad et al., 2020). Sin embargo, se ha sugerido que, cuando se incluye fibra cítrica en productos cárnicos, tiene el potencial de mejorar la calidad general del producto y alargar su vida útil (Haque et al., 2023). Estudios recientes indican que la fibra de origen cítrico puede ser empleada en bajas concentraciones, como sustituto del tripolifosfato de sodio para marinar carne de res o pollo (Howard et al., 2024).

Una investigación realizada con la incorporación de albedo desamargado y deshidratado de naranja agria (*Citrus aurantium* L.) para la formulación de un embutido fermentado (*sucuk*), mostró que se incrementaron los valores de dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad, al aumentar la concentración de albedo (Sarıçoban & Unal, 2022). En otra investigación se encontró que los valores de dureza se incrementaron al aumentar la concentración de albedo de una variedad de pomelo (*shaddock*), sin afectar la elasticidad, con muy poca variación en la cohesividad y sin una tendencia clara para la masticabilidad (Shan et al., 2015). En otra investigación, se estudió el efecto de dos tipos comerciales de fibra cítrica sobre las características de un jamón tipo York y se encontró que, con la adición de ambas, la dureza disminuye, pero no en igual proporción, y que la dureza con o sin adición de fibra depende del tiempo de almacenamiento (Cardona-Hincapié et al., 2020).

En el desarrollo de hamburguesas de pollo ultra bajas en grasa, los parámetros texturales medidos (dureza, fracturabilidad, elasticidad, cohesión, gomosidad y masticabilidad) disminuyeron significativamente al incorporar polvo de albedo de limón, debido a la dilución del sistema de proteínas de la carne, y la propiedad de unión de agua y grasa del albedo que proporciona textura suave al producto (Chappalwar et al., 2021). Para salchichas bologna de cerdo, al incrementar el porcentaje de fibra cítrica añadida, la dureza aumentó, con tendencia al aumento de elasticidad (Powell et al., 2021). En contraste, al sustituir (4 %, 8 % y 8,4 %) de la grasa de una mortadela con harina de albedo de naranja, los productos mostraron menos firmeza, masticabilidad, cohesión y elasticidad comparados con el control (Belluco et al., 2022). Todo indica que el efecto de adición de estas harinas depende del producto al cual se añade y en menor medida de la fuente y su tratamiento.

Cambios de color

La aceptabilidad y el deseo de comprar un producto alimenticio, así como su calidad, se reflejan en su estética (textura y color), en especial para los productos cárnicos (Haque et al., 2023). Ambos atributos resultan importantes para los consumidores y se pueden medir de forma instrumental o sensorial (Tomasevic et al., 2021). Entre los factores que inciden en su evaluación, se encuentra la adición de sustancias con poder antioxidante, como las presentes en las cáscaras de cítricos (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022).

En una investigación donde se adicionaron 1 % y 2 % de cáscara de limón o naranja en polvo a hamburguesas bovinas, se encontró un efecto significativo sobre los valores de los parámetros de color para todas las muestras formuladas (Ibrahim et al., 2018). Los valores de luminosidad (L^*) aumentaron durante el almacenamiento, con un efecto inverso para los valores de las componentes rojo (a^*) y amarillo (b^*). En ambas concentraciones, los valores superficiales de a^* y b^* aumentaron, relacionado a la incorporación de pigmentos presentes del albedo (Ibrahim et al., 2018).

Al incorporar varios niveles de harina de cáscara de naranja (2,5 %, 5 %, 7,5 % y 10 %) en hamburguesas de carne bovina, se encontró un incremento significativo de L^* y b^* mientras que a^* disminuyó significativamente. Esto se explica porque, mientras disminuye la concentración de mioglobina debido al efecto de adición de la harina, la capacidad antioxidante de esta disminuye la transformación en oximioglobina. El aumento del valor de b^* se atribuyó a la presencia de compuestos carotenoides en la harina (Mahmoud et al., 2017).

Se ha encontrado que reducir el porcentaje de grasa con la adición de harina de albedo de naranja no influye en la luminosidad de hamburguesas bovinas, pero su incremento contribuyó significativamente ($p < 0,05$) a un menor valor del parámetro a^* para todas las formulaciones, con mayor valor del parámetro b^* para los tratamientos con 75 % y 100 % de sustitución, comparado al control (Silva et al., 2020). Resultados similares se encontraron en salchichas que contienen albedo de pomelo (Shan et al., 2015). En otra investigación, se encontraron resultados similares al reemplazar grasa por harina de albedo de naranja, pero se reportó que L^* aumentó, al igual que lo encontrado al sustituir grasa por fibra de limón en hamburguesas a partir de carne bovina (Soncu et al., 2015), aunque estos también reportaron incremento del valor b^* (Belluco et al., 2022).

Se ha reportado incremento del valor L^* con la incorporación de polvo de albedo de limón en hamburguesas de pollo ultrabajas en grasa, sin afectar los valores a^* y b^* (Chappalwar et al., 2021). En otra investigación sobre hamburguesas con carne de pollo, añadieron harina de cáscara de limón, naranja, toronja o plátano al 1 %, y se pudo evidenciar que L^* disminuyó significativamente comparado con el control ($p < 0,05$) en todas las muestras a tiempo cero y durante el almacenamiento ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 3 meses). Además, el tratamiento con harina de cáscara de limón, naranja o toronja indujo aumentos significativos ($p < 0,05$) en los valores a^* y b^* , comparados con el control. Durante el almacenamiento el valor L^* aumentó significativamente, y disminuyeron a^* y b^* ; en mayor medida en la muestra control (Abdel-Naeem et al., 2022).

Cuando se añadió fibra cítrica a carne molida cruda, los valores de L^* , a^* y b^* disminuyeron (Gedikoğlu & Clarke, 2019). En cambio, en una investigación donde se sustituyó 4,8 % y 8,4 % de grasa en una mortadela con harina de albedo de naranja, los parámetros L^* y b^* aumentaron y a^* se redujo con la adición del sustituto de grasa en las formulaciones (Belluco et al., 2022). Por tanto, los efectos sobre el color dependen del tipo de fibra, la concentración y la matriz alimentaria empleada.

Cambios en la durabilidad

La carne y los productos cárnicos son perecederos debido a su compleja composición y alto contenido de agua, lo que promueve el crecimiento y acción de microorganismos asociados a su descomposición y provoca modificaciones sensoriales y nutricionales causadas por la oxidación de lípidos y proteínas, entre otros factores (Haque et al., 2023). Una de las estrategias a utilizar para preparar productos cárnicos más saludables es la aplicación, como ingredientes, de extractos o harinas de cítricos, ricas en compuestos bioactivos (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022). Muchos estudios revelan que la adición de antioxidantes naturales en productos cárnicos mejoró las propiedades antioxidantes y la estabilidad del color, redujo la oxidación de lípidos y mejoró la vida útil de los productos (Kausar et al., 2019).

Las harinas de cítricos pueden aplicarse como ingrediente de formulación o para reemplazar cualquier componente indeseado y aumentar la vida útil (Nieto et al., 2021). En hamburguesas elaboradas al sustituir grasa con harina de subproductos de extracción del jugo de naranja, se halló que en los tres niveles de sustitución (2,5 %, 5 % y 7,5 %) se redujo la pérdida por cocción, el porcentaje de encogimiento y aumentó la vida útil respecto al control. Aunque en todos los productos aumentó el valor peróxido durante el almacenamiento (3 meses, $-18 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), la mayor afectación ocurrió en el control y la menor en la muestra con mayor porcentaje de sustitución (Selim et al., 2019), un resultado similar se obtuvo en mortadela (Belluco et al., 2022).

El efecto de la adición de harina de cáscara de cítricos (limón y naranja) en dos concentraciones (5 % y 10 %), sobre la durabilidad de carne molida cruda refrigerada ($4 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), fue evaluado en otro estudio (Eldahrawy et al., 2022). Los resultados mostraron mayor vida útil para las muestras que incluyeron harinas, respecto al control, y las tratadas con harina de limón mostraron calidad superior a las tratadas con harina de naranja debido a su mayor contenido de polifenoles totales. Estos autores observaron que, aunque a mayor concentración de harina se obtuvo mayor reducción microbiana, con la concentración del 5 % se obtuvo una reducción bacteriana significativa y mejores parámetros químicos sin cambios sensoriales significativos, por más tiempo.

La incorporación de harinas de cáscara de naranja o limón en hamburguesas con carne bovina mostró que durante el almacenamiento a $4 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, la vida útil podía extenderse hasta 15 días, en contraste con los 7 u 8 días del control. Esto fue atribuido al efecto antioxidante y antimicrobiano de las harinas añadidas (Ibrahim et al., 2018). En otro estudio sobre elaboración de hamburguesas con carne bovina con albedo de naranja molido, encontraron que la vida útil aumentó significativamente al disminuir el crecimiento microbiano y la oxidación de ácidos grasos. Pese a que todas las muestras almacenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, mostraron aumento del número total de microorganismos, el aumento fue menor cuando se adicionó albedo. También encontraron valores significativamente menores (respecto

al control) de oxidación lipídica al emplear albedo, con un efecto positivo sobre la calidad y vida útil de los productos (Baioumy & Abdelmaksoud, 2021).

Para comparar el efecto de varias harinas de origen vegetal, se añadió harina de cáscara de plátano, limón, naranja o toronja al 1 % para elaborar hamburguesas con carne de pollo. En los cuatro casos, se encontró mayor aceptabilidad que en el control durante el almacenamiento (3 meses; -18 °C). Los resultados revelaron que los recuentos en placa de microorganismos aeróbicos, psicrotróficos, *S. aureus* y *Enterobacteriaceae* fueron significativamente más bajos en las hamburguesas tratadas con harina de cáscara de fruta en comparación al control durante el tiempo estudiado. Este efecto fue más pronunciado con las harinas de cáscara de frutas cítricas (limón y naranja, seguido de toronja), que con la de plátano (Abdel-Naeem et al., 2022). En un estudio sobre la durabilidad de carne molida, también se halló mayor estabilidad del color con el empleo de harina de cáscara de limón que al utilizar harina de cáscara de naranja, aunque ambas fueron superiores al control (Eldahrawy et al., 2022).

El tipo de fibra también es importante. Se estudió el efecto de cuatro fibras dietéticas de diferente origen (naranja, trigo, zanahoria y bambú), incorporadas al 2 %, sobre el comportamiento durante 60 días a 4 °C, de embutidos cocidos emulsionados. Los resultados mostraron que todas las fibras podían dificultar el crecimiento de bacterias de descomposición, mientras que la mayoría de los parámetros sensoriales de los productos tratados no se vieron afectados significativamente. Entre las fibras empleadas, la de naranja fue más eficiente para extender la vida útil del producto a la vez que provocó la menor afectación sensorial (Aminzare et al., 2022).

También se estudió el efecto de utilizar la cáscara de mosambi o lima dulce (*Citrus limetta*) en la elaboración de salchichas y hamburguesas a partir de carne de búfalo, para potenciar sus propiedades funcionales y fisicoquímicas y elevar el contenido de fibra. Se evaluaron aspectos fisicoquímicos, culinarios, sensoriales y la estabilidad en el almacenamiento. Para ello, la carne magra se reemplazó con harina obtenida de la cáscara, a concentraciones de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 8 %. Esta adición mejoró el contenido de fibra, en ambos productos, junto con el contenido de grasa y humedad. Hasta una concentración de harina del 6 % el producto mostró buena aceptación general, pero disminuyó al aumentar el porcentaje de sustitución. Los resultados químicos y microbiológicos mostraron mejora de la vida útil de ambos productos (Younis et al., 2021).

Conclusiones

Los subproductos cítricos representan una alternativa viable para el desarrollo de productos cárnicos más saludables y sostenibles, con propiedades sensoriales similares a las de los productos tradicionales y una mayor vida útil. Sin embargo, en cada caso deben considerarse las características específicas del subproducto y de la matriz alimentaria donde se pretende emplear.

Para ello, la concentración añadida debe ser la mínima necesaria para generar los efectos beneficiosos y evitar cambios organolépticos no deseados. En ese sentido el aprovechamiento de los subproductos cítricos como fuente de compuestos bioactivos y su uso como ingrediente en diversas formulaciones dentro de la industria alimentaria se ha convertido en un campo prometedor. No obstante, este proceso requiere de una investigación interdisciplinaria que involucre áreas como la química de los alimentos, la tecnología alimentaria, la biotecnología, la biología molecular o la toxicología.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por el apoyo brindado.

Referencias

- Abdel-Naeem, H. H., Elshebrawy, H. A., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Paşcalău, R., & Sallam, K. I. (2022). Antioxidant and antibacterial effect of fruit peel powders in chicken patties. *Foods*, *11*(3), Article 301. <https://doi.org/10.3390/foods11030301>
- Ahmad, S., Jafarzadeh, S., Ariffin, F., & Abidin, S. Z. (2020). Evaluation of physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of chicken sausage incorporated with different vegetables. *Italian Journal of Food Science*, *32*(1), 75–90. <https://doi.org/10.14674/IJFS-1574>
- Al Juhaimi, F., Özcan, M. M., Uslu, N., & Ghafoor, K. (2018). The effect of drying temperatures on antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acid composition and tocopherol contents in citrus seed and oils. *Journal of Food Science and Technology*, *55*, 190–197. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2895-y>
- ALaqael, N. K. (2023). Antioxidants from different citrus peels provide protection against cancer. *Brazilian Journal of Biology*, *84*, Article e271619. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.271619>
- Aminzare, M., Hashemi, M., Afshari, A., Noori, S. M. A., & Rezaeigolestani, M. (2022). Comparative evaluation of the effects of different dietary fibers as natural additives on the shelf life of cooked sausages. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical*, *17*(3), Article e121624. <https://doi.org/10.5812/jjnpp-121624>
- Andrade, M. A., Barbosa, C. H., Shah, M. A., Ahmad, N., Vilarinho, F., Khwaldia, K., Sanches Silva, A., & Ramos, F. (2022). Citrus by-products: Valuable source of bioactive compounds for food applications. *Antioxidants*, *12*(1), Article 38. <https://doi.org/10.3390/antiox12010038>
- Angulo-López, J. E., Flores-Gallegos, A. C., Ascacio-Valdes, J. A., Contreras Esquivel, J. C., Torres-León, C., Ruelas-Chácon, X., & Aguilar, C. N. (2022). Antioxidant dietary fiber sourced from agroindustrial byproducts and its applications. *Foods*, *12*(1), Article 159. <https://doi.org/10.3390/foods12010159>
- Ani, P. N., & Abel, H. C. (2018). Nutrient, phytochemical, and antinutrient composition of *Citrus maxima* fruit juice and peel extract. *Food Science & Nutrition*, *6*(3), 653–658. <https://doi.org/10.1002/fsn3.604>
- Arslan, H. Ş., Sariçoban, C., & Yerlikaya, S. (2021). Use of fruits and vegetables in meat and meat products in terms of dietary fiber. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, *10*(1), 160–167. <https://earsiv.kmu.edu.tr/xmlui/handle/11492/5249>
- Baioumy, A. A., & Abedelmaksoud, T. G. (2021). Quality properties and storage stability of beef burger as influenced by addition of orange peels (albedo). *Theory and Practice of Meat Processing*, *6*(1), 33–38. <https://doi.org/10.21323/2414-438X2021-6-1-33-38>
- Barbut, S. (2023). Research note: Effects of fiber source on the physicochemical properties of lean poultry meat products. *Poultry Science*, *102*(5), Article 102423. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102423>
- Belluco, C. Z., Mendonça, F. J., Zago, I. C. C., Di Santis, G. W., Marchi, D. F., & Soares, A. L. (2022). Application of orange albedo fat replacer in chicken mortadella. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(9), 3659–3668. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05382-8>
- Ben Hsouna, A., Sadaka, C., Generalić Mekinić, I., Garzoli, S., Švarc-Gajić, J., Rodrigues, F., Morais, S., Moreira, M. M., Ferreira, E., Spigno, G., Brezo-Borjan, T., Ben Akacha, B., Ben Saad, R., Delerue-Matos, C., & Mnif, W. (2023).

- The chemical variability, nutraceutical value, and food-industry and cosmetic applications of citrus plants: A critical Review. *Antioxidants*, 12(2), Article 481. <https://doi.org/10.3390/antiox12020481>
- Bhardwaj, K., Najda, A., Sharma, R., Nurzyńska-Wierdak, R., Dhanjal, D. S., Sharma, R., Manickam, S., Kabra, A., Kuča, K., & Bhardwaj, P. (2022). Fruit and vegetable peel-enriched functional foods: potential avenues and health perspectives. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, Article 8543881. <https://doi.org/10.1155/2022/8543881>
- Bilgiçli, N., Aktaş, K., & Levent, H. (2014). Utilization of citrus albedo in Tarhana production. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(2), 162–170. <https://www.vup.sk/en/index.php?mainID=2&navID=34&version=2&volume=53&article=1922>
- Calderón-Oliver, M., & López-Hernández, L. H. (2022). Food vegetable and fruit waste used in meat products. *Food Reviews International*, 38(4), 628–654. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1740732>
- Cardona-Hincapié, J. A., Restrepo-Molina, D. A., & López-Vargas, J. H. (2020). Effect of a total substitution of vegetable protein and phosphates on shrinkage by cooking and purging in chopped york ham. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(3), 9333–9340. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.80131>
- Chappalwar, A. M., Pathak, V., Goswami, M., Verma, A. K., & Rajkumar, V. (2021). Efficacy of lemon albedo as fat replacer for development of ultra-low-fat chicken patties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), Article e15587. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15587>
- Chen, Q., Wang, D., Tan, C., Hu, Y., Sundararajan, B., & Zhou, Z. (2020). Profiling of flavonoid and antioxidant activity of fruit tissues from 27 Chinese local citrus cultivars. *Plants*, 9(2), Article 196. <https://doi.org/10.3390/plants9020196>
- Correddu, F., Lunesu, M. F., Buffa, G., Atzori, A. S., Nudda, A., Battacone, G., & Pulina, G. (2020). Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animals*, 10(1), Article 131. <https://doi.org/10.3390/ani10010131>
- Cronjé, P. J., Zacarías, L., & Alférez, F. (2017). Susceptibility to postharvest peel pitting in Citrus fruits as related to albedo thickness, water loss and phospholipase activity. *Postharvest Biology and Technology*, 123, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.012>
- Czech, A., Malik, A., Sosnowska, B., & Domaradzki, P. (2021). Bioactive substances, heavy metals, and antioxidant activity in whole fruit, peel, and pulp of citrus fruits. *International Journal of Food Science*, 2021, Article I6662259. <https://doi.org/10.1155/2021/6662259>
- Das, A. K., Nanda, P. K., Madane, P., Biswas, S., Das, A., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 323–336. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.010>
- Dong, X., Hu, Y., Li, Y., & Zhou, Z. (2019). The maturity degree, phenolic compounds and antioxidant activity of Eureka lemon [*Citrus limon* (L.) Burm. f.]: A negative correlation between total phenolic content, antioxidant capacity and soluble solid content. *Scientia Horticulturae*, 243, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.036>
- Eldahrawy, M., Salem, A. M., & Nabil, M. (2022). The efficiency of citrus peel powders in improvement of meat quality during chilled storage. *Benha Veterinary Medical Journal*, 42(2), 208–213. <https://doi.org/10.21608/BVMJ.2022.144967.1535>
- Food and Agriculture Organization. (2021). *Citrus fruit fresh and processed statistical* (Statistical Bulletin 2020). <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>

- Gedikoğlu, A., & Clarke, A. D. (2019). Quality attributes of citrus fiber added ground beef and consumer acceptance of citrus fiber added Turkish meatballs. *Food and health*, 5(4), 205–214. <https://doi.org/10.3153/FH19022>
- Haque, A., Ahmad, S., Azad, Z. R. A. A., Adnan, M., & Ashraf, S. A. (2023). Incorporating dietary fiber from fruit and vegetable waste in meat products: a systematic approach for sustainable meat processing and improving the functional, nutritional and health attributes. *PeerJ*, 11, Article e14977. <https://doi.org/10.7717/peerj.14977>
- Howard, K. R., Runyan, C. L., Poe, A. B., Cassens, A. M., & Kinman, L. A. (2024). Evaluation of citrus fiber as a natural alternative to sodium tripolyphosphate in marinated boneless broiler chicken breast and inside beef skirt (transversus abdominis). *Animal Bioscience*, 37(1), 116–122. <https://doi.org/10.5713/ab.22.0145>
- Ibrahim, H. M., Hassan, I. M., & Hamed, A. A. (2018). Application of lemon and orange peels in meat products: Quality and safety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), 2703–2723. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.309>
- Jeong, D., Park, H., Jang, B. K., Ju, Y., Shin, M. H., Oh, E. J., Lee, E. J., & Kim, S. R. (2021). Recent advances in the biological valorization of citrus peel waste into fuels and chemicals. *Bioresource Technology*, 323, Article 124603. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124603>
- Kaur, H., Sidhu, G. S., Sarao, N. K., Singh, R., & Singh, G. (2022). Assessment of genetic diversity of mandarin cultivars grown in major citrus regions of world using morphological and microsatellite markers. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 63, 425–437. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00404-4>
- Kaur, S., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2023). Citrus processing by-products: An overlooked repository of bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(1), 67–86. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1943647>
- Kausar, T., Hanan, E., Ayob, O., Praween, B., & Azad, Z. R. A. A. (2019). A review on functional ingredients in red meat products. *Bioinformation*, 15(5), 358–363. <https://doi.org/10.6026/97320630015358>
- Lee, G. J., Lee, S. Y., Kang, N. G., & Jin, M. H. (2022). A multi-faceted comparison of phytochemicals in seven citrus peels and improvement of chemical composition and antioxidant activity by steaming. *LWT*, 160, Article 113297. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113297>
- Leporini, M., Tundis, R., Sicari, V., & Loizzo, M. R. (2021). Citrus species: Modern functional food and nutraceutical-based product ingredient. *Italian Journal of Food Science*, 33(2), 63–107. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33i2.2009>
- Mahmoud, M. H., Abou-Arab, A. A., & Abu-Salem, F. M. (2017). Quality characteristics of beef burger as influenced by different levels of orange peel powder. *American Journal of Food Technology*, 12, 262–270. <https://doi.org/10.3923/ajft.2017.262.270>
- Manzoor, A., Ahmad, S., & Yousuf, B. (2022). Effect of bioactive-rich mango peel extract on physicochemical, antioxidant and functional characteristics of chicken sausage. *Applied Food Research*, 2(2), Article 100183. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100183>
- Melini, V., Melini, F., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2020). Functional ingredients from agri-food waste: Effect of inclusion thereof on phenolic compound content and bioaccessibility in bakery products. *Antioxidants*, 9(12), Article 1216. <https://doi.org/10.3390/antiox9121216>
- Mir Khan, U., Sameen, A., Muhammad Aadil, R., Shahid, M., Sezen, S., Zarrabi, A., Ozdemir, B., Sevindik, S., Nur Kaplan, D., Selamoglu, Z., Ydyrys, A., Anitha, T., Kumar, M., Sharifi-Rad, J., & Butnariu, M. (2021). Citrus genus and its waste

- utilization: a review on health-promoting activities and industrial application. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, Article 2488804. <https://doi.org/10.1155/2021/2488804>
- Multari, S., Licciardello, C., Caruso, M., Anesi, A., & Martens, S. (2021). Flavedo and albedo of five citrus fruits from Southern Italy: physicochemical characteristics and enzyme-assisted extraction of phenolic compounds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1754–1762. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00787-5>
- Nieto, G., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Peñalver, R., Ros, G., & Viuda-Martos, M. (2021). Valorization of citrus co-products: Recovery of bioactive compounds and application in meat and meat products. *Plants*, 10(6), Article 1069. <https://doi.org/10.3390/plants10061069>.
- Panwar, D., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). Recent trends on the valorization strategies for the management of citrus by-products. *Food Reviews International*, 37(1), 91–120. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1695834>
- Pardo, H., Owoyemi, A., Goldenberg, L., Yaniv, Y., Benjamin, O., Doron-Faigenboim, A., Porat, R., & Carmi, N. (2023). Quality and flavor of ‘Aliza’ fruit: A unique pomelox mandarin hybrid. *Horticulturae*, 9(4), Article 420. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040420>
- Powell, M. J., Sebranek, J. G., Prusa, K. J., & Tarté, R. (2019). Evaluation of citrus fiber as a natural replacer of sodium phosphate in alternatively-cured all-pork Bologna sausage. *Meat Science*, 157, Article 107883. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107883>
- Powell, M. J., Sebranek, J. G., Prusa, K. J., & Tarté, R. (2021). Effect of citrus fiber addition on quality attributes of fully cooked deli-style turkey breast. *Meat and Muscle Biology*, 5(1), Article 35. <https://doi.org/10.22175/mmb.12283>
- Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Nayik, G. A. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>
- Russo, C., Maugeri, A., Lombardo, G. E., Musumeci, L., Barreca, D., Rapisarda, A., Cirmi, S., & Navarra, M. (2021). The second life of citrus fruit waste: A valuable source of bioactive compounds. *Molecules*, 26(19), Article 5991. <https://doi.org/10.3390/molecules26195991>
- Šafranko, S., Šubarić, D., Jerković, I., & Jokić, S. (2023). Citrus by-products as a valuable source of biologically active compounds with promising pharmaceutical, biological and biomedical potential. *Pharmaceuticals*, 16(8), Article 1081. <https://doi.org/10.3390/ph16081081>
- Saini, R. K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K. G. M., & Keum, Y. S. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11(2), Article 239. <https://doi.org/10.3390/antiox11020239>
- Santos, D., da Silva, J. A. L., & Pintado, M. (2022). Fruit and vegetable by-products’ flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. *LWT*, 154, 112707. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112707>
- Sarıçoban, C., & Unal, K. (2022). Influence of pre-treated bitter orange albedo on the physicochemical, textural and sensory properties of fermented sausages (sucuk). *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1478–1486. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05158-6>
- Schreuders, F. K., Schlangen, M., Kyriakopoulou, K., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2021). Texture methods for evaluating meat and meat analogue structures: A review. *Food Control*, 127, Article 108103. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108103>

- Selim, A. A. H., Ismaael, O. H., & Abdel Bary, M. (2019). Influence of incorporation of orange juice by-product on the quality properties of sponge cake and low-fat beef burger. *Journal of Food Science & Technology*, 4(7), 860–887. <https://doi.org/10.25177/JFST.4.7.RA.564>
- Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Koceva Komlenić, D., & Bucić-Kojić, A. (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), Article 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>
- Shan, B., Li, X., Pan, T., Zheng, L., Zhang, H., Guo, H., Jiang, L., Zhen, S., & Ren, F. (2015). Effect of shaddock albedo addition on the properties of frankfurters. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 4572–4578. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1467-7>
- Sharma, K., Mahato, N., Cho, M. H., & Lee, Y. R. (2017). Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmentally friendly approaches. *Nutrition*, 34, 29–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2016.09.006>
- Silva, L. B. F., Miranda, C. N., Santos, M. D., Pereira, P. A. P., Cunha, L. R. D., Vieira, S. M., & Gandra, K. M. B. (2020). Orange albedo flour as a fat replacer in beef burgers: adding value to citrus industry by-products. *Research, Society and Development*, 9(10), Article e1599108298. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8298>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, Article 109114. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>
- Sir Elkhatim, K. A., Elagib, R. A., & Hassan, A. B. (2018). Content of phenolic compounds and vitamin C and antioxidant activity in wasted parts of Sudanese citrus fruits. *Food Science & Nutrition*, 6(5), 1214–1219. <https://doi.org/10.1002/fsn3.660>
- Skwarek, P., & Karwowska, M. (2023). Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients—a chance to improve the nutritional value. *LWT*, Article 115442. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115442>
- Slama, A., Hammami, R., Cherif, A., M'hamed, H. C., & Boukhchina, S. (2020). Valorisation of oils extracted from four Tunisian citrus species seeds. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 97(3), 47–54. https://www.innovhub-ssi.it/kdocs/1995399/2020_vol_973_-_art_06_slama.pdf
- Soncu, E. D., Kolsarıcı, N., Cicek, N., Öztürk, G. S., & Arıcı, Y. K. (2015). The comparative effect of carrot and lemon fiber as a fat replacer on physico-chemical, textural, and organoleptic quality of low-fat beef hamburger. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(3), 370–381. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.3.370>
- Song, J., Pan, T., Wu, J., & Ren, F. (2016). The improvement effect and mechanism of citrus fiber on the water-binding ability of low-fat frankfurters. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 4197–4204. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2407-5>
- Soriano, A. B. P., Dale, A. G., Cruz, C. G. M. D., Indiongco, P. C. K., Manucom, J. L. M., Masangcay, J. N. M., Mañago, J. A. R., & Narvaez, M. B. (2015). Dehydration of pomelo (*Citrus grandis*) albedo and its utilization as a source of dietary fiber in philippine pork sausage. *Agriculture and Natural Resources*, 49(4), 606–614. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243700/166335>
- Srithongkerd, M., Watcharakhun, J., & Morntanom, K. (2018). Influence of pomelo albedo on characteristics of chicken sausage emulsion systems. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, 11(2), 1–7.

- Teixeira, F., & Novello, D. (2020). Aspectos físico-químicos, nutricionais e sensoriais da adição de subprodutos de frutos do gênero *Citrus* em produtos de gelificação: uma revisão sistemática. *Research, Society and Development*, 9(3), Article e180932669. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2669>
- Tocmo, R., Pena-Fronteras, J., Calumba, K. F., Mendoza, M., & Johnson, J. J. (2020). Valorization of pomelo (*Citrus grandis* Osbeck) peel: A review of current utilization, phytochemistry, bioactivities, and mechanisms of action. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1969–2012. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12561>
- Tomasevic, I., Djekic, I., Font-i-Furnols, M., Terjung, N., & Lorenzo, J. M. (2021). Recent advances in meat color research. *Current Opinion in Food Science*, 41, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.012>
- Tran, T. T., Nguyen, N. H. K., Tran, M. T., Nguyen, T. T., & Le, T. D. (2021). Acute toxicity and anti-hyperglycemic activities of pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peel extracts in the Mekong Delta of Vietnam. *Food Science and Technology*, 42, Article e91521. <https://doi.org/10.1590/fst.91521>
- Vitalini, S., Iriti, M., Vinciguerra, V., & Garzoli, S. (2021). A comparative study of the chemical composition by SPME-GC/MS and antiradical activity of less common citrus species. *Molecules*, 26(17), Article 5378. <https://doi.org/10.3390/molecules26175378>
- Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y. J., & Kim, E. K. (2022). Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. *Journal of Functional Foods*, 95, Article 105163. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105163>
- Yadav, V., Sarker, A., Yadav, A., Miftah, A. O., Bilal, M., & Iqbal, H. M. (2022). Integrated biorefinery approach to valorize citrus waste: A sustainable solution for resource recovery and environmental management. *Chemosphere*, 293, Article 133459. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133459>
- Younis, K., Ahmad, S., & Malik, M. A. (2021). Mosambi peel powder incorporation in meat products: Effect on physicochemical properties and shelf life stability. *Applied Food Research*, 1(2), Article 100015. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100015>
- Younis, K., Yousuf, O., Qadri, O. S., Jahan, K., Osama, K., & Islam, R. U. (2022). Incorporation of soluble dietary fiber in comminuted meat products: Special emphasis on changes in textural properties. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, Article 100288. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100288>
- Zacarías-García, J., Carlos, G., Gil, J. V., Navarro, J. L., Zacarías, L., & Rodrigo, M. J. (2023). Juices and by-Products of red-fleshed sweet oranges: Assessment of bioactive and nutritional compounds. *Foods*, 12(2), Article 400. <https://doi.org/10.3390/foods12020400>
- Zarate-Vilet, N., Gué, E., Delalonde, M., & Wisniewski, C. (2022). Valorization of grapefruit (*Citrus x paradisi*) processing wastes. In M. F. Ramadan, & M. A. Farag (Eds.), *Mediterranean fruits bio-wastes: chemistry, functionality and technological applications* (pp. 179–220). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84436-3_8
- Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., & Zimbone, S. M. (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review. *Waste management*, 80, 252–273. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.024>
- Zhang, H., Yang, Y. F., & Zhou, Z. Q. (2018). Phenolic and flavonoid contents of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit tissues and their antioxidant capacity as evaluated by DPPH and ABTS methods. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 256–263. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61664-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61664-2)
- Zhang, M., Wang, Z., Wu, J., Lu, J., Liu, D., Huang, Y., & Lv, G. (2023). Effects of adding citrus fiber with different chemical compositions and physicochemical properties on the cooking yield of spiced beef. *LWT*, 176, Article 114486. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114486>