

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

“VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA NARANJA Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA
SEGURIDAD Y CALIDAD ALIMENTARIA

ALUMNO/A: Sara Serrano García

TUTOR/A ACADÉMICO: Eva García Martínez

Curso Académico: 2020/2021

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2021

VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA NARANJA Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Alumna: Sara Serrano García

Tutora: Eva García Martínez

RESUMEN

Como consecuencia del procesado y la transformación de la naranja se generan millones de toneladas de residuos en todo el mundo. Esto representa un problema a nivel medioambiental y económico, por lo que surge la necesidad de encontrar nuevas formas de gestión de dichos residuos. Los compuestos derivados de la piel, la pulpa y las semillas de la naranja han demostrado un gran potencial para emplearse como aditivos en la industria alimentaria gracias a sus características funcionales, agregando valor a otros productos y disminuyendo la contaminación ambiental.

En este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica actualizada para estudiar la composición en compuestos bioactivos del subproducto generado en la industria de transformación de la naranja y su aplicación en la industria alimentaria. Se ha valorado su reintroducción en la cadena alimentaria humana, lo que mejoraría la eficiencia de este tipo de industrias fomentando una economía circular al convertir los residuos en recursos.

Los resultados del estudio muestran que los compuestos bioactivos presentes en los residuos de la naranja (vitamina C, flavonoides, carotenoides, ácidos orgánicos, fibra y aceites esenciales), gracias a sus propiedades tecnológicas y nutricionales, tienen la capacidad para ser empleados como aditivos alimentarios (antioxidantes, estabilizantes, emulsionantes y colorantes), sustitutos de grasas y prebióticos, así como ingrediente en la fabricación de biopelículas, piensos para animales y en la formulación de nuevos alimentos.

PALABRAS CLAVE: subproductos, vitamina C, aceites esenciales, d-limoneno, flavonoides, fibra, pectina, carotenoides.

RESUM

Com a conseqüència del processament i la transformació de la taronja es generen milions de tones de residus a tot el món. Açò representa un problema a nivell mediambiental i econòmic, per la qual cosa sorgix la necessitat de trobar noves formes de gestió d'aquests residus. Els compostos derivats de la pell, la polpa i les llavors de la taronja han demostrat un gran potencial per a emprar-se com a additius en la indústria alimentària gràcies a les seues característiques funcionals, agregant valor a altres productes i disminuint la contaminació ambiental.

En aquest treball s'ha realitzat una cerca bibliogràfica actualitzada per a estudiar la composició en compostos bioactius del subproducte generat en la indústria de transformació de la taronja i la seua aplicació en la indústria

alimentària. S'ha valorat la seua reintroducció en la cadena alimentària humana, la qual cosa milloraria l'eficiència d'aquest tipus d'indústries fomentant una economia circular en convertir els residus en recursos.

Els resultats de l'estudi mostren que els compostos bioactius presents en els residus de la taronja (vitamina C, flavonoides, carotens, àcids orgànics, fibra i olis essencials), gràcies a les seues propietats tecnològiques i nutricionals, tenen la capacitat per a ser emprats com a additius alimentaris (antioxidants, estabilitzants, emulsionants i colorants), substituïts de greixos i prebiòtics, així com a ingredient en la fabricació de biopel·lícules, pinsos per a animals i en la formulació de nous aliments.

PARAULES CLAU: subproductes, vitamina C, olis essencials, d-limoneno, flavonoides, fibra, pectina, carotens.

ABSTRACT

Because of the processing and transformation of oranges, millions of tons of waste are generated worldwide. This represents a problem at environmental and economic level, so the need arises to find new ways to manage these wastes. Compounds derived from orange peel, pulp and seeds have shown great potential to be used as additives in the food industry thanks to their functional characteristics, adding value to other products and reducing environmental pollution.

In this work, an updated bibliographic search has been carried out to study the composition in bioactive compounds of the by-product generated in the orange processing industry and its application in the food industry. Its reintroduction into the human food chain has been valued, which would improve the efficiency of this type of industries promoting a circular economy by converting waste into resources.

The results of the study show that the bioactive compounds present in orange residues (vitamin C, flavonoids, carotenoids, organic acids, fiber and essential oils), thanks to their technological and nutritional properties, have the capacity to be used as food additives (antioxidants, stabilizers, emulsifiers and colorants), fat substitutes and prebiotics, as well as an ingredient in the manufacture of biofilms, animal feed and in the formulation of new foods.

KEY WORDS: by-products, vitamin C, essential oils, d-limonene, flavonoids, fiber, pectin, carotenoids.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO	6
3. METODOLOGÍA	6
4. RESULTADOS	6
4.1. Sustancias de interés industrial presentes en el subproducto de la naranja.....	6
4.1.1. FIBRA.....	7
4.1.1.1. Pectinas.....	7
4.1.2. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	8
4.1.3. FLAVONOIDES.....	8
4.1.4. TERPENOS.....	9
4.1.4.1. Carotenoides.....	9
4.1.4.2. Aceites esenciales.....	9
4.1.5. ÁCIDOS ORGÁNICOS.....	10
4.2. Técnicas de extracción y cuantificación de los compuestos bioactivos del subproducto de la naranja.....	10
4.3. Usos y aplicaciones en la industria alimentaria.....	13
4.3.1. ADITIVOS ALIMENTARIOS.....	13
4.3.1.1. Espesantes y estabilizadores.....	13
4.3.1.2. Colorantes naturales.....	13
4.3.1.3. Antioxidantes.....	14
4.3.2. SUSTITUTOS DE LA GRASA.....	14
4.3.3. BIOPOLÍMEROS COMO MATERIAL DE ENVASADO DE ALIMENTOS.....	15
4.3.4. PREBIÓTICOS.....	17
4.3.5. NUEVAS MATRICES ALIMENTARIAS.....	17
4.3.6. ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	17
5. CONCLUSIÓN	18
6. REFERENCIAS	19

1. INTRODUCCIÓN

La naranja es el cítrico más cultivado a nivel mundial. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la producción de naranjas en 2019/2020 fue de aproximadamente 46 millones de toneladas en todo el mundo, de las cuales 17 millones de toneladas fueron destinadas a su procesado, obteniendo alrededor de 1,5 millones de toneladas de zumo de naranja (USDA, 2021).

La gran actividad productiva de cítricos y su transformación en zumos, concentrados y otros derivados, lleva consigo la generación de un gran volumen de residuos (Angulo *et al.*, 2018; Gavahian *et al.*, 2019). Concretamente la producción mundial de zumos de naranja podría generar entre 0,8 y 1 millón de toneladas de residuos al año (Castro *et al.*, 2020). Los residuos cítricos son aquellas partes anatómicas del fruto que, tras el proceso de extracción del jugo, son desechadas al no ser comestibles ni proporcionar ningún beneficio económico para la industria (Wong-Paz *et al.*, 2020). La piel, la pulpa y las semillas constituyen el principal subproducto del procesado de la naranja para la obtención de zumo, representando aproximadamente el 45-50% del peso fresco de la fruta (Baños *et al.*, 2020). Dichas estructuras contienen una serie de compuestos que se encuentran en pequeñas cantidades y que aportan un beneficio para la salud del cuerpo humano. La cáscara (flavedo y albedo) (Figura 1) es una fuente de compuestos bioactivos, como flavonoides, polifenoles, carotenoides, pectinas y aceites esenciales, todos ellos de gran interés en la industria alimentaria (Gonzabay, 2020; Londoño *et al.*, 2012; Ordóñez-Gómez *et al.*, 2018). De igual manera, la pulpa (endocarpio) contiene cantidades significativas de vitamina C, pectina, fibras y diferentes ácidos orgánicos, los cuales proporcionan el característico “sabor cítrico” al fruto (Olabinjo *et al.*, 2017). Por otro lado, las semillas son ricas en proteínas, limonoides y compuestos fenólicos (eriocitrina, hesperidina). Además, el aceite que se extrae de la semilla contiene ácidos grasos insaturados (ácido linolénico, palmítico, oleico y esteárico), por lo que es considerado un aceite saludable (Panwar *et al.*, 2021).

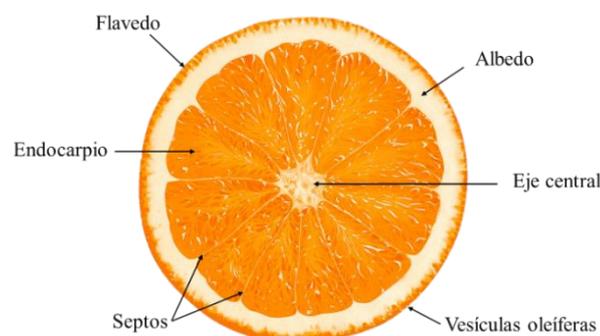


FIGURA 1. Estructura anatómica de la naranja.

A pesar de que estos subproductos son ricos en nutrientes y compuestos bioactivos, su alto contenido en agua los hace susceptibles al deterioro microbiológico, por lo que comúnmente son utilizados para alimentación animal o como fertilizantes (Castro *et al.*, 2020). Sin embargo, la tendencia actual del sector agroalimentario es encontrar nuevas estrategias sostenibles que permitan una adecuada gestión de dichos residuos, transformándolos en productos útiles, innovadores y de valor añadido que puedan reintroducirse en la cadena alimentaria humana, disminuyendo la problemática ambiental y generando beneficios económicos (Baños *et al.*, 2020).

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo bibliográfico es estudiar la caracterización de compuestos de interés industrial presentes en los subproductos de la naranja generados en la industria agroalimentaria. Además, se pretende contemplar también las principales técnicas empleadas para su extracción y cuantificación, y valorar la posible reintroducción de estas sustancias bioactivas en la cadena alimentaria.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la búsqueda bibliográfica de este trabajo se han consultado diferentes plataformas digitales: Science Direct, Google Scholar, Dialnet, SciELO y PubMed.

Con el fin de realizar una búsqueda acotada y lo más actualizada posible, los artículos referenciados datan de los últimos 10 años, entre 2011 y 2021, exceptuando los artículos que tratan de los conceptos básicos. Además, se han utilizado una serie de palabras clave como: subproductos cítricos, naranja, compuestos bioactivos, flavonoides, pectina, fibra, aceites esenciales y carotenoides.

4. RESULTADOS

4.1. Sustancias de interés industrial presentes en el subproducto de la naranja

Recientes investigaciones consideran los residuos de la industria de transformación de la naranja como una fuente sostenible y económica de sustancias bioactivas con una aplicación en la industria alimentaria al haber demostrado propiedades funcionales, tecnológicas y nutricionales, así como beneficios para la salud (Baños *et al.*, 2020). De esta manera, la caracterización de dichos subproductos es clave para determinar su potencial a la hora de implementar estos compuestos en la industria alimentaria (Angulo *et al.*, 2018). En la Tabla 1 se recogen los principales compuestos bioactivos

de la corteza de la naranja y la concentración en la que se encuentran según apuntan diferentes estudios.

TABLA 1. Principales compuestos bioactivos de la cáscara de la naranja por 100 g de materia seca.

Nutriente	Valor	Referencia
Fibra dietética total (g)	65,7 ± 0,9	Kaderides y Goula (2017)
Pectina (g)	17 ± 4	Espachs-Barroso <i>et al.</i> (2005)
Vitamina C (mg)	137 - 222	Ladaniya (2008)
Flavonoides totales (mg de quercetina equivalentes)	720	Ghasemi <i>et al.</i> (2009)
Carotenoides totales (mg)	1,85	Savic <i>et al.</i> (2021)

A continuación, se describen las sustancias de interés industrial más importantes del subproducto de la industria de transformación de la naranja.

4.1.1. FIBRA

Los residuos de la naranja son una fuente potencial de fibra dietética, tanto de tipo soluble como insoluble (Tabla 2), a la cual se le atribuyen efectos beneficiosos en la salud. La fibra soluble se caracteriza por disminuir los niveles de colesterol y de glucosa en sangre, y ayuda a la absorción intestinal del hierro, mientras que la fibra insoluble contribuye al correcto funcionamiento del tracto intestinal. Dentro de la fibra dietética soluble destaca el contenido en pectina. La fibra dietética de los cítricos es de mayor calidad que las de los cereales, pues la fibra cítrica presenta niveles más elevados de fibra dietética soluble (Arboleda, 2020; de Moraes *et al.*, 2013).

TABLA 2. Contenido en fibra del residuo de naranja (Kaderides y Goula, 2017).

Componente	g/100 g materia seca
Fibra dietética total	65,7 ± 0,9
Fibra dietética insoluble	48,9 ± 0,5
Fibra dietética soluble	16,8 ± 0,8

4.1.1.1. Pectinas

Las pectinas son un tipo de polisacáridos complejos que se encuentran presentes en las paredes celulares primarias de todos los vegetales. Estos compuestos se definen como heteropolisacáridos formados por unidades de ácido D-galacturónico unidos por enlaces α -(1-4), que a su vez presentan ramificaciones laterales de cadenas de azúcares neutros, como la ramnosa, arabinosa, xilosa y galactosa (Ramos-Alvarado *et al.*, 2020; Zegada, 2015).

Las propiedades funcionales de las pectinas dependen del grado de metilación y polimerización. En base al grado de metilación, las pectinas se clasifican en pectinas de bajo metoxilo (25 a 50%) y pectinas de alto metoxilo (50 a 80%). Las pectinas de alto metoxilo forman geles a pH ácido en presencia de altas concentraciones de azúcar, mientras que las pectinas de bajo metoxilo requieren la presencia de iones divalentes. La capacidad de gelificación de la pectina depende del grado de esterificación, el peso molecular, la temperatura y la concentración empleada, por lo que a mayor grado de esterificación la gelificación es más rápida (Dangi y Yadav, 2020).

4.1.2. ÁCIDO ASCÓRBICO

La vitamina C o ácido ascórbico es un compuesto hidrosoluble que se encuentra en algunos alimentos, como las frutas cítricas. El ser humano no es capaz de sintetizarla debido a la carencia de la enzima L-gulonolactona oxidasa, por lo que es esencial incorporar en la dieta alimentos que la contengan (Villagrán *et al.*, 2019). La naranja se caracteriza por tener altas concentraciones de vitamina C en su jugo, generalmente 40-70 mg de vitamina C/100 mL, sin embargo, la concentración es una quinta parte de la del flavedo y un tercio de la del albedo en peso fresco, lo que hace que la cáscara de la naranja sea la parte más rica en este compuesto (Tabla 3) (Ladaniya, 2008).

TABLA 3. Concentración de vitamina C (expresada como mg ácido ascórbico/100 g) en la naranja (Ladaniya, 2008).

Vitamina C (mg/100 g)	Naranja de Valencia		Naranja Navel	
	Piel	Zumo	Piel	Zumo
	137	44	222	59

Por su gran actividad antioxidante, el ácido ascórbico ha demostrado resultados en la prevención y tratamiento de ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y arteriosclerosis. Sin embargo, esta vitamina es sensible al calor y al oxígeno, por lo que durante el procesado y almacenamiento de los alimentos se reduce y destruye fácilmente (Coronado, 2019).

4.1.3. FLAVONOIDES

Los flavonoides son una clase de metabolitos secundarios vegetales que se encuentran principalmente en la corteza de la naranja y que tienen una función antioxidante y de pigmentación (Venkateswara *et al.*, 2017). Químicamente son compuestos de bajo peso molecular y se caracterizan por tener una estructura de 15 carbonos provenientes de dos anillos aromáticos (bencénicos) (A y B) enlazados por una cadena de tres átomos de carbono ciclada a través de un oxígeno (Figura 2) (Chong, 2011).

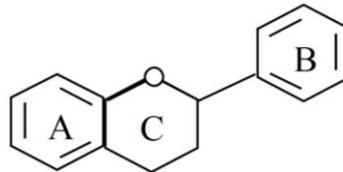


FIGURA 2. Estructura básica de un flavonoide (Ochoa, 2004).

En los frutos cítricos, la concentración más elevada de flavonoides se encuentra en la cáscara. Las flavanonas, flavonas y flavonoles son los principales flavonoides presentes en los cítricos, aunque estos últimos se encuentran en bajas concentraciones en comparación con las flavanonas, que son las responsables del característico sabor amargo de los cítricos. Los principales flavonoides presentes en la corteza de la naranja son: naringina hesperidina y neohesperidina (Tabla 4) (Tenorio, 2016).

TABLA 4. Contenido de flavonoides en la cáscara de naranja en extracto acuoso y metanólico (Tenorio, 2016).

Extracto	Flavonoides (mg/g)		
	Naringina	Hesperidina	Neohesperidina
Acuoso	81,17 ± 0,54	13,59 ± 0,21	4,90 ± 0,06
Metanólico	49,93 ± 0,32	10,71 ± 0,11	2,45 ± 0,04

4.1.4. TERPENOS

4.1.4.1. Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos orgánicos liposolubles de la familia de los terpenos que se encuentran de forma natural en frutas, verduras y hortalizas proporcionando los característicos colores amarillos, anaranjados o rojos de los vegetales (Coronado, 2019). Desde el punto de vista químico son terpenoides constituidos por ocho unidades de isopreno con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos. Algunos tipos de carotenoides tienen la capacidad de actuar como precursores de vitamina A, además de presentar actividad antioxidante. Debido a su estructura son compuestos sensibles al oxígeno, al calor y a la luz, lo que dificulta su uso en la industria alimentaria (Carranco *et al.*, 2011). En la cáscara de la naranja los carotenoides más abundantes son el α -caroteno, el β -caroteno, la luteína, la zeaxantina y la β -criptoxantina (Savic *et al.*, 2021).

4.1.4.2. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son sustancias aromáticas volátiles sintetizadas por las plantas y responsables de su aroma. Por su carácter hidrofóbico son compuestos insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y

aceites vegetales (Londoño *et al.*, 2012). En las naranjas estos compuestos se encuentran en las glándulas oleíferas de la cáscara, siendo el principal componente el d-limoneno (90-97% del peso total) (Corbino *et al.*, 2018), un monoterpeno monocíclico (Figura 3) que presenta propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas. Además, estos compuestos han despertado interés como antimicrobianos naturales al observarse un efecto sobre ciertos microorganismos prolongando la fase de latencia o inhibiendo completamente su desarrollo. Así pues, el aceite esencial de naranja ha demostrado tener actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*, dos patógenos asociados a enfermedades transmitidas por alimentos (do Evangelho *et al.*, 2019; Payán, 2014).

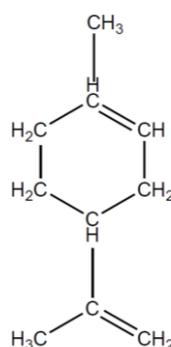


FIGURA 3. Estructura química del d-limoneno (Gutiérrez, 2019).

La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) reconoce estos compuestos como seguros, por lo que pueden emplearse en la industria alimentaria como aromatizantes de alimentos y bebidas, así como en la formulación de recubrimientos comestibles (Corbino *et al.*, 2018).

4.1.5. ÁCIDOS ORGÁNICOS

Dentro de los ácidos orgánicos de la naranja, el más significativo es el ácido cítrico, que representa más del 80% de la acidez total del fruto, y es considerado un buen antioxidante natural. El ácido málico es otro ácido presente en la naranja, el cual es empleado como aditivo alimentario. Estos ácidos se encuentran tanto en la pulpa como en la cáscara de la naranja, presentándose en esta última en una menor proporción (Robles, 2021).

4.2. Técnicas de extracción y cuantificación de los compuestos bioactivos del subproducto de la naranja

La obtención de sustancias de interés comercial a partir de residuos de la naranja implica, no solo el desarrollo de metodologías de extracción limpias y con alto rendimiento, sino también el desarrollo de procedimientos analíticos que permitan la valoración de las sustancias obtenidas. Las diferentes técnicas de extracción de los compuestos bioactivos varían en función de su

naturaleza. En la extracción convencional de algunos compuestos se emplean técnicas en las que es necesario un calentamiento a altas temperaturas o el empleo de grandes cantidades de disolventes durante tiempos prolongados, lo que representa un alto consumo de energía, contrario a la tendencia actual de utilizar métodos energéticamente eficientes en el sector industrial (Zegada, 2015). El empleo de tecnologías emergentes como asistentes del proceso de extracción han demostrado un mayor rendimiento en la extracción y una reducción del gasto energético en comparación con las técnicas convencionales (Toledo-Guillén *et al.*, 2010). En la Tabla 5 se muestra un resumen de las técnicas de extracción más comúnmente empleadas (tradicionales y emergentes) para cada uno de los compuestos bioactivos más relevantes de los residuos de la naranja.

TABLA 5. Técnicas de extracción de los compuestos bioactivos.

Compuesto	Técnica de extracción	Referencia
Pectinas	Hidrólisis ácida	Ramírez-Gavidia <i>et al.</i> (2020) Ramos-Alvarado <i>et al.</i> (2020)
	Hidrólisis ácida asistida por microondas	Zegada (2015)
	Extracción con CO ₂ supercrítico	Toledo-Guillén <i>et al.</i> (2010)
Flavonoides	Extracción asistida por ultrasonidos	Gonzabay (2020)
	Extracción asistida por microondas	Chen <i>et al.</i> (2017)
	Extracción por disolventes (etanol, metanol y agua caliente)	Chen <i>et al.</i> (2017) Chong (2011)
Carotenoides	Extracción asistida por ultrasonidos	Savic <i>et al.</i> (2021)
Aceites esenciales	Hidrodestilación	Londoño <i>et al.</i> (2012)
	Extracción con fluidos supercríticos	Pérez (2020)
	Prensado en frío	Gutiérrez (2019)
	Extracción por disolventes	Gutiérrez (2019)
Ácido ascórbico	Extracción por presión y centrifugación del jugo	Gutiérrez (2019)
	Extracción con ácido metafosfórico y en agitación magnética y en la oscuridad	Fang (2017)
Ácido cítrico	Fermentación con <i>Aspergillus niger</i>	Dhillon <i>et al.</i> (2013)

Para la determinación de los diferentes compuestos bioactivos, al igual que ocurre en las técnicas de extracción, la naturaleza de los compuestos juega un papel fundamental. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es ampliamente utilizada en la detección de flavonoides, carotenoides, vitamina C y los diferentes ácidos orgánicos, aunque existen otras técnicas, como la espectrofotometría, que pueden emplearse como método de detección de flavonoides y carotenoides. En la separación de flavonoides, vitamina C y

ácidos orgánicos mediante HPLC las columnas C18 son las más utilizadas, mientras que para la separación de carotenoides se emplean las columnas C30, las cuales permiten una mayor separación de los compuestos hidrofóbicos en comparación con las columnas C18 (García-Chacón, 2017). Por otro lado, los aceites esenciales, por su naturaleza volátil, requieren de técnicas como la cromatografía de gases, donde la fase móvil no interacciona con el analito, en las que puede acoplarse un espectrómetro de masas (Londoño *et al.*, 2012).

Para el análisis de la fibra dietética total, así como de la soluble e insoluble, el método enzimático-gravimétrico es el más comúnmente empleado. En este análisis se somete a la muestra a un tratamiento enzimático, generalmente con α -amilasa y amiloglucosidasa para la eliminación del almidón retenido en el residuo (Durán-Mendoza *et al.*, 2018). En la Tabla 6 se resumen algunas de las técnicas de análisis más utilizadas para la cuantificación de los diferentes compuestos bioactivos.

TABLA 6. Técnicas de análisis de los compuestos bioactivos.

Compuesto	Técnica de análisis	Referencia
Fibra	Método enzimático gravimétrico	Durán-Mendoza <i>et al.</i> (2018) Miranda (2017)
Flavonoides	Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase reversa (columna C18) acoplada a un detector UV-visible	Chong (2011) Chen <i>et al.</i> (2017) Miranda (2017)
	Espectrofotometría UV-visible	Gonzabay (2020)
Carotenoides	HPLC (columna C30)	García-Chacón (2017)
	Espectrofotometría UV-visible	Miranda (2017)
Aceites esenciales	Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas	Londoño <i>et al.</i> (2012) Barón <i>et al.</i> (2012)
	Cromatografía de Gases de Alta Resolución con detector de ionización de llama	Rueda <i>et al.</i> (2007)
Ácido ascórbico	HPLC (fase reversa, columna C18) con detección UV	Miranda (2017)
Ácidos orgánicos	HPLC (fase reversa, columna C18) con detección UV	Miranda (2017)

4.3. Usos y aplicaciones en la industria alimentaria

Debido a su alto contenido en compuestos bioactivos, los residuos cítricos han demostrado tener un alto potencial para ser utilizados en la industria alimentaria como fuente para la obtención de productos con propiedades tecnológicas y funcionales mejoradas (Panwar *et al.*, 2021). A continuación, se detallan algunos usos y aplicaciones de estos compuestos en la industria alimentaria.

4.3.1. ADITIVOS ALIMENTARIOS

El creciente interés de los consumidores por alimentos saludables ha llevado a la industria alimentaria al desarrollo de nuevas estrategias que permitan un enfoque innovador, eliminando aditivos sintéticos de los productos alimentarios y sustituyéndolos por aditivos naturales. En este sentido, los residuos cítricos han demostrado ser una fuente natural de antioxidantes, aromatizantes, colorantes y texturizantes, por lo que una de las aplicaciones más extendidas de los subproductos cítricos en la industria alimentaria es su utilización como aditivos alimentarios (Panwar *et al.*, 2021).

4.3.1.1. *Espesantes y estabilizadores*

Debido a sus características fisicoquímicas, la pectina es el ingrediente con una mayor aplicación en la fabricación de gelatinas, conservas, jaleas, helados, emulsiones, suspensiones y salsas, al comportarse como espesante, estabilizador, gelificante, texturizador y emulsionante (Lama, 2018; Ramírez-Gavidia *et al.*, 2020). Según Arioui *et al.* (2017), estos compuestos también tienen capacidad para emplearse como estabilizadores de productos lácteos acidificados como el yogur, pues su utilización ha demostrado una mejora significativa de la calidad reológica del producto, concretamente de la viscosidad, adhesividad y cohesión, previniendo a su vez la exudación del suero durante la conservación. Además de aumentar la funcionalidad del alimento al actuar la pectina como fibra dietética (Dangi y Yadav, 2020; Wong-Paz *et al.*, 2020).

4.3.1.2. *Colorantes naturales*

El empleo de colorantes sintéticos en alimentos y bebidas como técnica para mejorar su apariencia y ser más atractivos al consumidor es muy común en la industria alimentaria. Sin embargo, en los últimos años su seguridad ha sido cuestionada ante los posibles riesgos que tienen sobre la salud del consumidor, por lo que ha aumentado el interés por encontrar nuevos colorantes procedentes de fuentes naturales (García-Chacón, 2017).

Los residuos cítricos contienen elevadas cantidades de colorantes naturales en forma de carotenoides. No obstante, su baja estabilidad y el alto precio en su extracción en comparación con la producción de colorantes artificiales hace que se necesite una mayor investigación para reducir el costo

y aumentar su estabilidad. A pesar de ello, una de las aplicaciones de estos compuestos es la de mejorar las propiedades organolépticas de alimentos y bebidas al actuar como agentes enturbiantes (Panwar *et al.*, 2021). Además, el carácter lipófilo de los carotenoides favorece su aplicación como colorantes en emulsiones y medios oleosos, como margarinas y productos lácteos (García-Chacón, 2017).

4.3.1.3. Antioxidantes

La adición de antioxidantes como método para incrementar la vida útil de los alimentos es uno de los métodos más empleados para reducir la peroxidación lipídica que se produce en los alimentos grasos. Los flavonoides presentes en la cáscara de la naranja se caracterizan por tener una alta actividad antioxidante por su capacidad para eliminar radicales libres, inhibir la oxidación de lípidos y quelar los iones metálicos (Chen *et al.*, 2017), lo que los hace atractivos para su aplicación en la industria alimentaria. En procesos de glaseado de pescado en los que se aplica una fina capa de hielo para evitar la deshidratación del alimento, la adición de ácido ascórbico y flavonoides podría mejorar las propiedades del alimento durante el congelado. Concretamente, la aplicación de un extracto metanólico de flavonoides como método para mejorar la conservación, presentó mejores resultados en índice de acidez y en resultados sensoriales que las muestras glaseadas con ácido ascórbico, según Chancos y Abollaneda (2020).

Los aceites comerciales, como el aceite de soja, empleados en la elaboración de margarinas, aceites de mesa, mayonesa, etc., son susceptibles a las reacciones de oxidación debido a su elevada concentración de ácido linoléico y linolénico. Estas reacciones son responsables de producir una disminución de la calidad nutricional y organoléptica del producto, lo que comúnmente se previene con la adición de antioxidantes sintéticos. La industria aceitera podría sustituir dichos antioxidantes por antioxidantes naturales, como los flavonoides procedentes de la cáscara de la naranja, al haber obtenido resultados satisfactorios en diferentes estudios realizados en aceites vegetales, como el aceite vegetal de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), en el que la adición de extractos de flavonoides proporcionó una alta actividad antioxidante al mismo (Tenorio, 2016).

4.3.2. SUSTITUTOS DE LA GRASA

La dieta de la mayoría de los países desarrollados se caracteriza por un exceso de alimentos grasos y azucarados, con deficiencia en carbohidratos complejos y fibra dietética. En los últimos años, el creciente interés de los consumidores por su salud ha incrementado la demanda de productos más saludables, lo que ha llevado a la industria alimentaria a buscar nuevas alternativas en las formulaciones de sus productos (Ramírez-Camargo *et al.*, 2016). El bagazo de naranja, por su importante contenido en fibra, está siendo utilizado como ingrediente funcional en el desarrollo de nuevos productos alimenticios (productos cárnicos, lácteos y repostería). La adición de fibra



cítrica en carnes y embutidos ha demostrado tener un efecto positivo al disminuir significativamente los niveles de grasa del producto y, por tanto, reducir su contenido calórico. Además, la capacidad de adsorción de agua de la fibra tiene la capacidad de incrementar el rendimiento en el proceso de cocción. Sin embargo, para la formulación del producto es necesario tener en cuenta la concentración de fibra empleada, pues algunos estudios sobre consumidores muestran que grandes cantidades de fibra tienen un efecto negativo sobre la palatabilidad del producto (Durán-Mendoza *et al.*, 2018).

Otros autores, como de Moraes *et al.* (2013), estudiaron la aplicación de fibras procedentes de subproductos de la naranja como reemplazantes de grasas en helados. Los helados con fibra de naranja presentaron un contenido en lípidos más bajo que la muestra control, concretamente se produjo una reducción del 72%. Organolépticamente la fibra no difirió en el color y el olor, sin embargo, sí lo hizo en el sabor, el regusto, la textura y la aceptabilidad total. Esto podría relacionarse con el sabor amargo de la fibra cítrica, lo que denota que es necesario un pretratamiento de la misma para reducir los compuestos responsables del amargor presentes en el bagazo y la piel de la naranja.

4.3.3. BIOPOLÍMEROS COMO MATERIAL DE ENVASADO DE ALIMENTOS

Durante años, los plásticos y polímeros derivados del petróleo han sido empleados como envases de un solo uso para alimentos y bebidas. No obstante, el uso excesivo de estos materiales constituye un grave problema para el medioambiente e impone una serie de riesgos para la salud debido a las posibles migraciones entre el material y el alimento. Estos factores, junto con el incremento de la concienciación medioambiental en la población, han llevado a la industria a buscar alternativas a partir de biopolímeros naturales, biodegradables y sostenibles (Jridi *et al.*, 2020).

La pectina, además de utilizarse como aditivo, puede emplearse como material de envasado de algunos alimentos gracias a su capacidad filmógena, mejorando las propiedades organolépticas y alargando la vida útil del alimento. Existen numerosas investigaciones que demuestran que la fabricación de biopelículas puede llevarse a cabo a partir de diferentes combinaciones entre la pectina y otros compuestos. Por ejemplo, Jridi *et al.* (2020) elaboraron películas comestibles a base de gelatina de pescado y pectinas procedentes de la cáscara de la naranja, obteniendo biopelículas con altas capacidades antioxidantes y antibacterianas. Dichos biopolímeros mostraron resultados satisfactorios en el uso de queso refrigerado, mejorando las propiedades fisicoquímicas, la estructura y la estabilidad microbiológica del producto. Por otro lado, en el estudio de investigación de Ramos-Alvarado *et al.* (2020) se elaboraron biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja y glicerol en diferentes concentraciones, obteniendo un bioplástico al 5% de glicerol con una mayor flexibilidad, fuerza y apariencia física (Figura 4). Este tipo de materiales podrían tener una aplicación como recubrimiento para alimentos, envases tipo bandeja, y otros recipientes biodegradables.



FIGURA 4. Bioplástico a diferentes % de glicerol a partir de residuos de cáscara de naranja (Ramos-Alvarado *et al.*, 2020).

En el sector hortofrutícola estas investigaciones han ganado peso debido a la corta vida útil que tienen estos productos como consecuencia de su alto contenido en humedad. Los geles de pectinas empleados como recubrimiento de fresas (Figura 5) proporcionaron una mejor calidad del fruto en parámetros de acidez, humedad y color durante su conservación con respecto a las muestras control, según un estudio de Muñoz (2016). Esto es debido a que el recubrimiento ralentizó la frecuencia respiratoria de las fresas y disminuyó la transpiración, reduciendo las reacciones enzimáticas y, por tanto, aumentando su vida útil. Además, estos recubrimientos podrían reducir el ataque de hongos, como *Botrytis cinerea*, o reducir daños durante el transporte y la comercialización de los frutos.

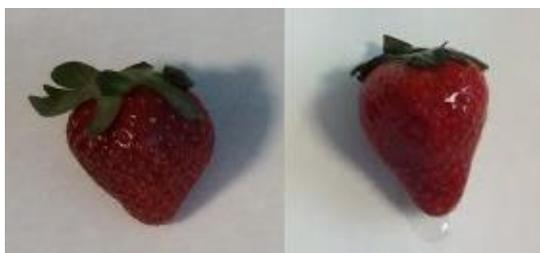


FIGURA 5. Fresa sin recubrimiento (izquierda); fresa con recubrimiento de solución de pectina (derecha) (Muñoz, 2016).

Los aceites esenciales, además de tener propiedades antibacterianas y antifúngicas, también han evidenciado que pueden mejorar las propiedades funcionales y mecánicas de las biopelículas. La adición de aceites esenciales en biopelículas de almidón de maíz mostró tener la capacidad de aumentar la heterogeneidad de las biopelículas, así como de reducir la resistencia a la tracción y al alargamiento de las películas, según un estudio realizado por do Evangelho *et al.* (2019). Al igual que las pectinas, los aceites esenciales tienen la capacidad de prolongar la vida útil de los alimentos cuando se incorporan en formulaciones de películas comestibles. Alparslan y Baygar (2017) observaron que las películas a base de quitosano y aceite esencial de piel de naranja fueron capaces de alargar la vida útil de camarones frescos a 15 días (8 días más que las muestras sin recubrimiento) y de prevenir la melanosis del alimento durante su conservación en frío. En este sentido el recubrimiento

de quitosano y aceites esenciales inhibió la oxidación lipídica y el crecimiento microbiano.

4.3.4. PREBIÓTICOS

Con la actual demanda de alimentos saludables, el mercado de prebióticos ha incrementado exponencialmente en los últimos años. Los prebióticos se definen como aquellos compuestos no digeribles que estimulan el crecimiento selectivo y regulan la composición de determinados microorganismos intestinales (Uerlings *et al.*, 2020). Los oligosacáridos pécticos (OPS) son aquellos oligosacáridos obtenidos por despolimerización parcial de la pectina, y a los que se le ha prestado mayor atención como prebióticos por su alta concentración de la misma (Panwar *et al.*, 2021). Algunos estudios *in vitro* sobre los OPS obtenidos a partir de cáscara de naranja, han evidenciado que existe una correlación entre el contenido de ácido oligogalacturónico y la inhibición del crecimiento de patógenos, concretamente de *Escherichia coli* O157:H7, así como un crecimiento de bacterias beneficiosas para el tracto intestinal (*Lactobacillus*) (Di *et al.*, 2017). En investigaciones con ratones obesos, la utilización de extractos de cáscara de cítricos secadas al sol demostró tener un gran efecto prebiótico promovido por *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, dos microorganismos asociados con la prevención de la obesidad (Zhang *et al.*, 2020).

4.3.5. NUEVAS MATRICES ALIMENTARIAS

La composición en fibra de los residuos de la naranja permite que puedan obtenerse harinas a partir de los mismos, las cuales pueden ser empleadas en la formulación de nuevos alimentos, como galletas (Castro *et al.*, 2020; Ceballos y Gamiño, 2015) y hotcakes (Chávez *et al.*, 2015); así como también puede emplearse el flavedo deshidratado como ingrediente para la elaboración de caramelos (Arboleda, 2020) y cupcakes (Mendoza, 2019).

4.3.6. ALIMENTACIÓN ANIMAL

Tradicionalmente, los residuos cítricos han sido empleados como alimento de alta energía para apoyar el crecimiento y la lactancia de rumiantes. En los últimos años, los avances tecnológicos en la fabricación de alimentos para animales han fomentado la producción de pellets de alimento seco utilizando subproductos de naranja. Esto supone una ventaja nutricional para el animal debido a las propiedades nutricionales de los residuos cítricos. Sin embargo, a la hora de implementar nuevas formulaciones en los piensos es necesario estudiar cómo influye el alimento en el organismo del animal.

Recientes investigaciones demuestran que el uso de subproductos cítricos podría sustituir parcialmente a los cereales en los piensos para rumiantes sin presentar efectos sobre la producción y composición de la leche, pudiendo mejorar las características sensoriales de otros productos derivados, como el queso de leche cruda. Además, la inclusión de la pulpa de naranja

deshidratada podría sustituir hasta en un 40-80% a los cereales tradicionales al mejorar las características sensoriales y los índices nutricionales de ácidos grasos de la carne de cabrito (Guzmán *et al.*, 2020a; Guzmán *et al.*, 2020b).

A través de la alimentación animal no sólo se busca mejorar las características fisicoquímicas de los subproductos animales, sino también mejorar el bienestar animal. El estrés al que se ven sometidos los animales en las explotaciones ganaderas perjudica el bienestar del animal, que dependiendo de la intensidad y duración del estímulo pueden desencadenar respuestas fisiológicas, provocando alteraciones nerviosas, endocrinas y metabólicas. En este sentido la administración diaria de ácido ascórbico ha evidenciado una reducción de cortisol, inducida por el estrés, en el suero de los animales, evitando la mortalidad por la exposición excesiva a agentes estresores (García-Montero, 2017). En este contexto también se ha prestado atención a la aplicación de fibras dietéticas en alimentación de lechones como estrategia para reducir los trastornos asociados al destete y, por tanto, para reducir la necesidad de antibióticos (Uerlings *et al.*, 2020).

5. CONCLUSIÓN

En esta revisión actualizada se ha comprobado que los residuos cítricos procedentes del procesado de la naranja son una fuente potencial de compuestos con un gran carácter nutritivo. Esta potencialidad ha despertado un interés científico para desarrollar alternativas sostenibles que permitan minimizar el impacto ambiental y económico que genera la acumulación de residuos cítricos alrededor del mundo.

El alto contenido en sustancias bioactivas (vitamina C, flavonoides, carotenoides, ácidos orgánicos, fibra y aceites esenciales) con múltiples efectos beneficiosos para la salud humana y animal, hace interesante que puedan reintroducirse en la cadena alimentaria generando productos funcionales y de valor añadido. En este sentido, es necesario continuar estudiando el comportamiento de los compuestos bioactivos sobre los diferentes alimentos, bebidas y envases para optimizar su uso y valorar su máximo potencial.

6. REFERENCIAS

- Alparslan, Y., & Baygar, T. (2017). Effect of chitosan film coating combined with orange peel essential oil on the shelf life of deepwater pink shrimp. *Food and bioprocess technology*, 10(5), 842-853.
- Angulo Arias, L. V., de Souza Silva, V., Augustus de Oliveira, R., & Matta Fakhouri, F. (2018). Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá. *Ingeniería Y Región*, 20(1), 59-66.
- Arboleda García, J. S. (2020). *Desarrollo de caramelos a base de cáscara de naranja (Citrus X sinensis) con la adición de miel de abeja*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Arioui, F., Ait Saada, D., & Cheriguene, A. (2017). Physicochemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of Citrus sinensis. *Food science & nutrition*, 5(2), 358-364.
- Baños, E. C., Dorantes, M. I., Luna-Jiménez, A. L., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2020). Caracterización de Harina de Naranja (Citrus x sinensis) para Uso Alimentario. *European Scientific Journal February 2020 edition*, 16(6).
- Carranco Jáuregui, M. E., Calvo Carrillo, M., & Pérez-Gil Romo, F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 61(3), 233-241.
- Castro, L. A., Lizi, J. M., Chagas, E. G., Carvalho, R. A., & Vanin, F. M. (2020). From Orange Juice By-Product in the Food Industry to a Functional Ingredient: Application in the Circular Economy. *Foods*, 9(5), 593.
- Ceballos Polina, Y., & Gamiño Arroyo, Z. (2015). Valorización integral de productos derivados de cítricos (naranja, limón, lima). *Jóvenes en la ciencia*, 1(2).
- Chancos Lázaro, C. E., & Abollaneda Huamán, J. L. (2020). *Actividad antioxidante del extracto Metanólico de Flavonoides de la Cascara de Citrus sinensis L. como Glaseado de Engraulis Ringens*. Universidad Roosevelt, Huancayo.
- Chávez, S. L., Chapa, F. A., Hernández, I. H., Balderas, D. J., & Vargas, A. T. (2015). *Elaboración de un producto alimenticio a partir de harina suplementada con bagazo seco de naranja*.
- Chen, X. M., Tait, A. R., & Kitts, D. D. (2017). Flavonoid composition of orange peel and its association with antioxidant and anti-inflammatory activities. *Food chemistry*, 218, 15-21.
- Chong Tuesta, R. G. (2011). *Alimentos ricos en flavonoides y sus beneficios a la salud*. Universidad Nacional de San Martín Tarapoto, Tarapoto.
- Corbino, G. B., Chludil, H. D., García De Leo, G., Regge, M. B., & Arroyo, L. E. (2018). Aceites esenciales de naranja. *Programa Nacional Agroindustria y Agregado de valor*.
- Coronado Mayta, R. (2019). *Elaboración de Una Bebida con Extracto de Zanahoria (Daucus Carota) Combinado con Zumo de Mandarina (Citrus Reticulata) y Naranja Agria (Citrus Aurantium) y Evaluación de su Capacidad Antioxidante*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho.
- Dangi, N., & Yadav, B. S. (2020). Characterization of partial acid hydrolysates of citrus pectin for their pasting, rheological and thermal properties. *Journal of Food Science and technology*, 57(7), 2681-2692.
- de Moraes Crizel, T., Jablonski, A., de Oliveira Rios, A., Rech, R., & Flôres, S. H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 9-14.
- Dhillon, G. S., Brar, S. K., Kaur, S., & Verma, M. (2013). Bioproduction and extraction optimization of citric acid from *Aspergillus niger* by rotating drum type solid-state bioreactor. *Industrial Crops and Products*, 41, 78-84.
- Di, R., Vakkalanka, M. S., Onumpai, C., Chau, H. K., White, A., Rastall, R. A., . . . Hotchkiss Jr, A. T. (2017). Pectic oligosaccharide structure-function relationships: Prebiotics, inhibitors of *Escherichia coli* O157: H7 adhesion and reduction of Shiga toxin cytotoxicity in HT29 cells. *Food chemistry*, 227, 245-254.
- do Evangelho, J. A., da Silva Dannenberg, G., Biduski, B., El Halal, S. L., Kringel, D. H., Gularte, M. A., . . . da Rosa Zavareze, E. (2019). Antibacterial activity, optical, mechanical,



- and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. *Carbohydrate polymers*, 222, 114981.
- Durán-Mendoza, T., González-Pérez, M., de la Cruz-Leyva, M. C., González-de la Cruz, J. U., Cuenca-Soria, C. A., Guzmán-Ceferino, J., . . . del Carmen Pérez-Sánchez, C. (2018). Análisis Del Efecto De La Adición De Fibras Cítricas Del Bagazo De La Naranja En Las Propiedades Nutrimientales Y Sensoriales De Un Embutido Y Determinación De La Calidad Microbiológica. *European Scientific Journal*, 14(18), 14.
- Espachs-Barroso, A., Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O. (2005). A natural clouding agent from orange peels obtained using polygalacturonase and cellulase. *Food chemistry*, 92(1), 55-61.
- Fang, Z. (2017). *Métodos analíticos para la determinación de vitamina C en alimentos*.
- García Chacón, J. M. (2017). *Desarrollo de microencapsulados enriquecidos en carotenoides a partir de residuos de frutas tropicales para uso como colorantes naturales en alimentos*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- García Montero, S. G. (2017). *Efecto del ácido ascórbico y cáscara de naranja como inmunoestimulante y reductor de cortisol en ovinos de engorda en condiciones de estrés*. Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León.
- Gavahian, M., Chu, Y. H., & Mousavi Khaneghah, A. (2019). Recent advances in orange oil extraction: an opportunity for the valorisation of orange peel waste a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 925-932.
- Geronazzo, H., Blanco, S., & Robin, J. H. (2002). Contenido de glucósidos de flavonoides en frutos inmaduros de *Citrus aurantium* y *Citrus sinensis* del noroeste Argentino. *Instituto de Investigaciones para la Industria Química*, 13(3), 49-53.
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y., & Ebrahimzadeh, M. A. (2009). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan journal of pharmaceutical sciences*, 22(3), 277-281.
- Gonzabay Merchán, M. R. (2020). *Optimización de las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de Flavonoides en Cáscara de Naranja (Citrus sinensis) para su aplicación agroindustrial*. Bachelor's thesis. Universidad Estatal Amazónica.
- Gutiérrez Escobar, J. A. (2019). *Obtención de Aceites Esenciales a partir de la Cáscara de Naranja por el Método Prensado de Frío*. Tesis Doctoral, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Guzmán, J. L., Delgado Pertíñez, M., Galán Soldevilla, H., Ruiz Pérez-Cacho, P., Polvillo Polo, O., Zarazaga, L. Á., & Avilés Ramírez, C. (2020b). Effect of citrus by-product on physicochemical parameters, sensory analysis and volatile composition of different kinds of cheese from raw goat milk. *Foods*, 9(10), 1420.
- Guzmán, J. L., Delgado-Pertíñez, M., Beriáin, M. J., Pino, R., Zarazaga, L. Á., & Horcada, A. (2020a). The use of concentrates rich in orange by-products in goat feed and its effects on physico-chemical, textural, fatty acids, volatile compounds and sensory characteristics of the meat of suckling kids. *Animals*, 10(5), 766.
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Salem, A., Kechaou, H., Nasri, M., & Menchari, Y. (2020). Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. *Food Hydrocolloids*, 103, 105688.
- Kaderides, K., & Goula, A. M. (2017). Development and characterization of a new encapsulating agent from orange juice by-products. *Food Research International*, 100, 612-622.
- Ladaniya, M. S. (2008). *Citrus fruit: biology, technology and evaluation*. Academic press.
- Lama Guadimus, J. A. (2018). *Elaboración de bioplástico aprovechando la pectina presente en la cascara de naranja valencia (Citrus x sinensis) reforzado con almidón de yuca a nivel de laboratorio*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Londoño, J., Sierra, J., Álvarez, R., Restrepo, A., & Pássaro, C. (2012). Aprovechamiento de los subproductos cítricos. *Corporación Universitaria Lasallista*, 343-367 .
- Mendoza Cabello, A. Y. (2019). *Caracterización físico-química del flavedo deshidratado de naranja (Citrus x sinensis) y su uso como insumo en la elaboración de cupcakes*. Bachelor's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.

- Muñoz Labrador, A. (2016). *Caracterización de pectinas industriales de cítricos y su aplicación como recubrimientos de fresas*. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Ochoa, C. I., & Ayala, A. A. (2004). Los flavonoides: apuntes generales y su aplicación en la industria de alimentos. *Ingeniería y competitividad*, 6(2), 64-74.
- Olabinjo, O. O., Ogunlowo, A. S., Ajayi, O. O., & Olalusi, A. P. (2017). Analysis of physical and chemical composition of sweet orange (*Citrus sinensis*) peels. *Agriculture and Biotechnology*, 2(4).
- Ordoñez-Gómez, E. S., Reátegui-Díaz, D., & Villanueva-Tiburcio, J. E. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 113-121.
- Panwar, D., Saini, A., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in Food Science & Technology*, 549-562.
- Payán Saldivar, L. E. (2014). *Evaluación del efecto combinado de los antimicrobianos naturales nisina, D-limoneno, glucósido de steviol y citral sobre Listeria monocytogenes en alimentos de origen vegetal*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- Pérez López, A. I. (2020). *Estudio comparativo de las diferentes opciones de re-valorización de la naranja*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Ramírez-Camargo, E. E., Marulanda, A. M., & Orrego, J. A. (2016). Desarrollo de una mezcla de fibras y almidones como reemplazante de grasa para productos de pasta fina tipo Salchicha. *Información tecnológica*, 27(1), 41-52.
- Ramírez-Gavidia, T. C., González-Colmenares, N. M., & Guerrero-Pernía, E. K. (2020). Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, 8(2), 84-91.
- Ramos-Alvarado, M. M., Cadenas-González, M. T., Bolio-López, G. I., Leo-Avelino, G., Maciel-Cerda, A., Castañeda-Castañeda, C., & Ramos-Valencia, J. J. (2020). Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*): Caracterización física, química y estructural. *Agroindustrial Science*, 10(3), 273-278.
- Robles Solano, E. (2021). *Caracterización de compuestos fenólicos en productos de origen vegetal*. Universidad de Jaén, Jaén.
- Tenorio Domínguez, M. (2016). Flavonoides extraídos de la cascara de naranja tangelo (*Citrus reticulata* x *Citrus paradisi*) y su aplicación como antioxidante natural en el aceite vegetal sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 419-431.
- Toledo-Guillén, A. R., Higuera-Ciapara, I., García-Navarrete, G., & De la Fuente, J. C. (2010). Extraction of Bioactive Flavonoid Compounds from Orange (*Citrus sinensis*) Peel Using Supercritical CO₂. *Atherosclerosis*, 178, 25-32.
- Uerlings, J., Schroyen, M., Bautil, A., Courtin, C., Richel, A., Sureda, E. A., . . . Everaert, N. (2020). In vitro prebiotic potential of agricultural by-products on intestinal fermentation, gut barrier and inflammatory status of piglets. *British Journal of Nutrition*, 123(3), 293-307.
- USDA. (2021, July). U.S. Production and Exports Forecast Down Despite Global Gains. *Citrus: World Markets and Trade*.
- Venkateswara Rao, P., Kiran, S. D., Rohini, P., & Bhagyasree, P. (2017). Flavonoid: A review on Naringenin. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 6, 2778-2783.
- Villagrán, M. M., M., D. F., Troncoso, C., Celis-Morales, C., & Mardones, L. (2019). Una mirada actual de la vitamina C en salud y enfermedad. *Revista chilena de nutrición*, 46(6), 800-808.
- Wong-Paz, J., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñoz-Márquez, D. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Rev. Esp. Cienc. Quím. Biol.*, 23(1), 1-11.
- Zegada Franco, V. Y. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65-76.
- Zhang, M., Zhu, J., Zhang, X., Zhao, D. G., Ma, Y. Y., Li, D., . . . Huang, Q. (2020). Aged citrus peel (chenpi) extract causes dynamic alteration of colonic microbiota in high-fat diet induced obese mice. *Food & function*, 11(3), 2667-2678.