

“Los Residuos Agroindustriales Como Una Potencial Fuente De Colorantes Y Pigmentos
Vegetales Para Aplicaciones En La Industria”

Lucía Cristina Novoa Guaracao y Lyda Paola Ruíz Pimiento

Trabajo de Grado para Optar el título de Especialista en Química Ambiental

Director

Julio Roberto Pinzón Joya

PhD. En Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Especialización en Química Ambiental

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A mis padres Jorge y Elsa, quienes, con su amor y apoyo incondicional, hicieron una carga pesada en algo ligero y llevadero.

Lucía Cristina Novoa Guaracao.

A mi maravillosa familia, sin el apoyo de ellos la elaboración de este trabajo hubiese sido más difícil, en especial a mi amado Martín símbolo de amor y determinación.

Lyda Paola Ruíz Pimiento.

Agradecimientos

A mi querida amiga Ibelis Blanco, por su incondicional ayuda con sus aportes en edición de texto, estilo y normas APA. A Lyda, mi gran compañera y equipo de trabajo.

Lucía Cristina Novoa Guaracao.

A mi mami, papi por los cuidados en mi ausencia para con Martín, a Alex por su disciplina e inteligencia y al ser más especial en mi mundo Martín por tu comprensión. Por supuesto a mi compañera y amiga Lucía gran equipo de trabajo.

Lyda Paola Ruíz Pimiento.

Finalmente, a la gran familia UIS, por el apoyo en los diferentes momentos en este posgrado, profesores, compañeros y amigos. A nuestra calificadora, PhD. Yajaira Combariza por sus aportes y disposición. A nuestro director, PhD. Julio Pinzón por su dedicación. Y a nuestro gran amigo incondicional W.

Tabla de Contenido

Introducción.....	9
1. Objetivos.....	11
1.1 Objetivo General.....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Marco Referencial.....	12
2.1 Colorantes y pigmentos.....	12
2.1.1 Colorantes	14
2.1.2 Pigmentos.....	19
2.2. La Agroindustria en Colombia.....	34
2.3 Técnicas de extracción: para obtención de flavonoides y carotenoides a partir de residuos agroindustriales	43
2.4. Aplicabilidad De Los Carotenoides Y Flavonoides Como Colorantes En La Industria	55
3. Conclusiones.....	58
4. Recomendaciones.....	61
Referencias Bibliográficas.....	63

Lista de Tablas

Tabla 1. Combinaciones aditivas y sustractivas del color según Marcano, D., (2018)	13
Tabla 2. Longitud de onda vs colorante Marcano, D., (2018)	13
Tabla 3. Clasificación tintórea de los colorantes según su grupo cromóforo, (Marcano, 2018) .	15
Tabla 4. Principales pigmentos naturales obtenidos en la naturaleza (plantas), (Vinha et al., 2018)	19
Tabla 5. Clasificación según la estructura química de los flavonoides (Chavarri, 2017).....	31
Tabla 6. Lista de los residuos de diferentes cultivos agroindustriales (FAO: URL http://www.fao.org/3/a-bp843s.pdf)	38
Tabla 7. Composición de los residuos provenientes de cultivos frutales (Solarte et al., 2014)...	40
Tabla 8. Compuestos bioactivos encontrados en los residuos agroindustriales (Tsai et al., 2020)	41
Tabla 9. Concentración de carotenoides totales (Solarte et al., 2014)	42
Tabla 10. Técnicas de extracción ventajas y desventajas para la obtención de pigmentos naturales producto de los residuos agroindustriales (Cornejo-Figueroa et al., 2020).....	48
Tabla 11. Biocompuestos de residuos agroindustriales y sus respectivos métodos de extracción e implementación de tecnologías verdes, (Cornejo-Figueroa et al., 2020).	50
Tabla 12. Métodos de extracción de pigmentos naturales aplicados en 3 tipos de residuos diferentes (Ngamwonglumlert et al., 2017).	52

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura de norbixina y bixina	18
Figura 2. Clasificación de los colorantes según su estructura, (Fazal-ur-Rehman et al., 2019). 20	
Figura 3. Clasificación de carotenoides por presencia y ausencia de oxígeno, (Fazal-ur-Rehman et al., 2019)	21
Figura 4. Clasificación de polifenoles según la estructura (Galanski, 2018).	30
Figura 5. Producción nacional en 2019 por grupo de cultivos (toneladas) (ENA., 2019).....	36
Figura 6. Producción de los cultivos agroindustriales (toneladas). Total, nacional en 2019. (ENA., 2019).....	37
Figura 7. Producción de los cultivos frutales (toneladas). Total, nacional en 2019. (ENA, 2019).	38
Figura 8. Comparación de diferentes técnicas de extracción en el aislamiento de carotenoides y antocianinas a partir de residuos de la zanahoria, mora y uva.	54

Resumen

Título: “Los Residuos Agroindustriales Como Una Potencial Fuente De Colorantes Y Pigmentos Vegetales Para Aplicaciones En La Industria”^{*}

Autor: Lucía Cristina Novoa Guaracao y Lyda Paola Ruíz Pimiento^{**}

Palabras Clave: Pigmentos naturales, aprovechamiento, residuos, agroindustria, carotenoides, flavonoides.

Descripción: El presente trabajo es una revisión bibliográfica que reúne investigaciones realizadas por otros autores, sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales como fuente potencial de colorantes y pigmentos naturales, principalmente de tipo carotenoides y flavonoides. El objetivo de este trabajo fue revisar y analizar la aplicabilidad de estos colorantes naturales, extraídos de diferentes matrices vegetales, para su aprovechamiento a nivel industrial; esto con el fin de proponer alternativas basadas en química verde, que permitan reemplazar los ampliamente utilizados colorantes sintéticos. El uso de colorantes y pigmentos naturales en la industria no sólo contribuye a reducir el impacto ambiental, generado por la mala disposición y tratamiento de los residuos agroindustriales, sino también se constituye en una alternativa ecológica que permitiría reducir la producción de colorantes sintéticos y además generar productos de consumo final más amigables e inocuos para los consumidores con beneficios adicionales.

Los colorantes sintéticos son contaminantes que presentan un reto para la comunidad científica, que en la actualidad ha presentado gran dificultad para ser degradados por su alta estabilidad y por consiguiente son un problema ambiental ya que los sistemas de tratamiento convencionales para aguas residuales no son efectivos en la degradación o eliminación de estos y se han convertido en contaminantes persistentes en los vertimientos industriales.

^{*} Trabajo de Grado

^{**} Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Julio Roberto Pinzón. PhD. En Química.

Abstract

Title: Agroindustrial Waste as a Potential Source of Vegetable Dyes and Pigments for Applications in Industry*

Author: Lucía Cristina Novoa Guaracao and Lyda Paola Ruíz Pimiento**

Key Words: Natural pigments, exploitation, waste, agro-industry, carotenoids, flavonoids.

Description: This work is a review that brings together research carried out by other authors on the use of agro-industrial waste as a potential source of natural colorants and pigments, mainly carotenoids and flavonoids. The objective of this work was to review these metabolites and analyze the applicability of natural colorants, extracted from different plant matrices, for industrial use; this in order to propose alternatives based on green chemistry, which will replace the widely used synthetic colorants. The use of natural colorants and pigments in industry not only contributes to reducing the environmental impact, generated by poor disposal and treatment of agro-industrial waste, but also constitutes an ecological alternative that will reduce the production of synthetic colorants and also generate friendlier and safer products for consumers with additional benefits.

Synthetic colorants are pollutants that present a challenge to the scientific community, which currently has great difficulty in being degraded due to their high stability and therefore they are an environmental problem since conventional wastewater treatment systems are not effective in the degradation or elimination of these and they have become persistent pollutants in industrial discharges.

*Degree Work

**Science Faculty. Chemistry Department. Specialization in Environmental Chemistry. Director. PhD. Julio Roberto Pinzón Joya.

Introducción

Hasta mediados del siglo XIX los colorantes utilizados en cosméticos, medicamentos y alimentos eran de origen natural provenientes de plantas, animales y minerales. Sin embargo, después del descubrimiento del primer colorante sintético, el malva (oxidación de la anilina), por Sir William Henry Perkin en 1856, la industria de colorantes alemana desarrolló rápidamente una gran cantidad de colorantes de "alquitrán de hulla" que pronto encontraron aplicaciones en las industrias alimentaria y cosmética. A principios del siglo XX, más de 700 colorantes sintéticos estaban disponibles para su uso en alimentos en los EE. UU (MacDougall, D.B., 2002).

El desarrollo de estos nuevos agentes de color y su aplicabilidad en las diferentes industrias trajo como consecuencia, el desarrollo y crecimiento acelerado de la industria de colorantes. Sin embargo, sus consecuencias no impactan sólo la economía y el desarrollo socio-económico e industrial, sino también trae consecuencias sobre la salud humana y el ambiente, ya que estos productos son consumidos por el ser humano de varias maneras y también son vertidos en las fuentes de agua al final de los procesos de producción o terminan como desechos en los rellenos sanitarios. Hoy día se conoce que las consecuencias ambientales y sobre la salud no han sido positivas (Zuleta Correa, A. 2013) y es por esta razón que estudios científicos han enfocado su atención en retomar el uso de los colorantes y pigmentos naturales para su aplicación en las diferentes industrias, centrando su interés en la búsqueda de técnicas para la obtención de estos compuestos a partir de sus fuentes naturales, sin embargo, se han encontrado fuentes alternas en los residuos de la agroindustria cuyos componentes mayoritarios son las cáscaras, corteza, semillas y hojas provenientes del procesamiento de vegetales que contienen estos compuestos de interés

(Cornejo-Figueroa et al., 2020) . La recuperación y aprovechamiento de estos agentes de color encontrados en estos residuos, sería adicionalmente, una alternativa de mitigación de la contaminación generada por el mal manejo de estos desechos, los cuales muchas veces son residuos que no se tratan adecuadamente y se convierten en agentes contaminantes del suelo, agua e incluso aire.

Para el aislamiento de colorantes y pigmentos a partir de fuentes naturales e incluso de sus residuos, existe una gran variedad de técnicas de extracción que han sido ampliamente utilizadas y han evolucionado con el paso de los años siendo cada vez más eficientes y amigables con el medio ambiente.

Este trabajo presenta los resultados de investigaciones realizadas en diferentes países en la última década sobre la recuperación de colorantes naturales de los residuos agroindustriales y su uso en aplicaciones en la industria, el cual se realizó haciendo uso de herramientas tecnológicas como las bases de datos electrónicas de la Universidad Industrial de Santander y aplicando las herramientas de operadores booleanos con los cuales se aplicaron filtros para el análisis bibliométrico de los artículos relacionados con este tema.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Hacer una revisión bibliográfica sobre la aplicabilidad de los colorantes y pigmentos vegetales tipo carotenoides y flavonoides, provenientes de los residuos agroindustriales.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar el tipo de residuos agroindustriales que contienen carotenoides y flavonoides para su extracción.

Revisar la aplicabilidad de los carotenoides y flavonoides como colorantes en la industria.

2. Marco Referencial

2.1 Colorantes y pigmentos

El color es la respuesta a un estímulo producido por la luz que es perceptible al ojo humano. Lo que vemos es una respuesta a la radiación electromagnética, conocida como luz, la cual se encuentra en el rango de 400-700 nanómetros (nm), región visible del espectro electromagnético (Marcano, 2018). En el ojo existen dos tipos de receptores:

- a. Los **conos**: que producen un impulso nervioso enviando una señal al cerebro y con reconocimiento de visión fotópica (visión del color) por la presencia de pigmentos fotosensibles en diferentes longitudes de onda.
- b. Los **bastoncillos**: que no son sensibles al color, pero sí a niveles de intensidad luminosa, y se oscurecen a niveles de poca luz.

Los receptores responden a señales opuestas del color: azul-amarillo, rojo-verde y luz-sombra. Las diferentes combinaciones de colores representan en el cerebro una respuesta cuya interpretación es conocida como tricromaticidad.

El color es percibido identificando dos variables: acromática y cromática.

La primera relaciona dos colores; blanco y negro, donde:

- a. La sensación de emisión lumínica. Es relacionada con el brillo.
- b. La sensación de reflejar la luz incidente. Se relaciona con la luminosidad y la claridad.

La segunda variable es la cromática y se trata de:

- a. La tintura o el matizado toma colores como el amarillo, rojo, naranja entre otros.

- b. La coloración del tinte está sujeta a la concentración como intensidad del color, percibiéndolo como más amarillo y menos verde.

Las variables acromática y cromática están relacionadas en función del brillo, la coloración relativa se conoce como saturación, esta permanece constante al variar los niveles de iluminación para diferenciar los colores acromáticos (blanco, negro y gris). Esta coloración se estima en función del brillo (cromática o croma). En el siglo XIX *Young y Helmholtz* desarrollaron la teoría de la tricromaticidad, en la cual, el ojo humano reacciona a una combinación de tres estímulos cromáticos: azul-violeta, el verde y el rojo; esta combinación permite ver los demás colores.

La mezcla de colores puede ser de dos clases; *aditivas o sustractivas*; emplean colorantes primarios. A continuación, se relacionan en la **Tabla 1** las diferentes mezclas:

Tabla 1

Combinaciones aditivas y sustractivas del color según Marcano, D., (2018)

Combinación aditiva		Combinación sustractiva	
Rojo-azul	Violeta	Ciano-violeta	Azul
Verde-azul	Ciano	Ciano-amarillo	Verde
Verde-rojo	Amarillo	Violeta-amarillo	rojo

La mezcla de color indica la intensidad y la pureza de este. La absorción de color se relaciona con el intervalo de longitudes de onda de radiación electromagnética (visible), como se observa en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Longitud de onda vs colorante Marcano, D., (2018)

nm	Absorbe en el	Color visible
----	---------------	---------------

400-435	Violeta	Amarillo-verde
436-480	Azul	Amarillo
481-490	Azul-verde	Naranja
491-500	Verde-azul	Rojo
501-560	Verde	Púrpura
561-580	Verde-amarillo	Violeta
581-595	Amarillo	Azul
596-605	Naranja	Azul-verde
606-650	Rojo	Verde-azul
651-750	Púrpura	Verde

Al hablar de mezclas de colores, es importante diferenciar los colores espectrales y las sustancias responsables del color, las cuales se mencionan a continuación.

2.1.1 Colorantes

Se considera colorante, a una sustancia que posee color (o desarrollarlo a través de una reacción química) y puede transferirlo al medio al cual se aplica; hay así, sustancias cromógenas específicas para diferentes sustratos. Por ejemplo, para colorear materiales que deben someterse a altas temperaturas como el vidrio o la cerámica son necesarios sales y óxidos inorgánicos que desarrollan o retienen el color bajo las condiciones de fabricación y empleo de esos materiales, mientras que en el teñido de fibras o en la coloración de alimentos preparados o productos farmacéuticos y cosméticos alimentarios se emplean colorantes generalmente (no exclusivamente) orgánicos (Marcano, 2018).

2.1.1.1 Clasificación tintórea. Al utilizar el criterio del color index (CI) en la clasificación tintórea de los colorantes se están considerando las técnicas para su aplicación, para la forma de como transferirlos y fijarlos a tejidos, papel, fibras y materiales relacionados. El color depende de la estructura y la sustancia cromogénica según grupos:

- Cromóforos
- Auxocromos
- Auxiliares

Los grupos auxiliares participan por sus características cromáticas del colorante, este ayuda a transferirlo y fijarlo, de acuerdo con la clasificación tintórea los colorantes pueden ser según

Tabla 3.

Tabla 3

Clasificación tintórea de los colorantes según su grupo cromóforo, (Marcano, 2018)

Colorante	Grupo
a. Directo	Polares RNH^{3+} , RSO^{3-} , etc
b. Ácidos, aniónicos solubles en agua	SO_3H , CO_2H , NO_2 , OH (fenólicos)
c. Básicos, catiónicos solubles en agua	NHMe^{2+} , NH_2Me^+ , NMe_2 , NH_2
d. Sustantivos	Polares, sales sódicas, potásicas o de amonio.

2.1.1.2 Colorantes dispersos. Se caracterizan por ser poco solubles en el agua, pero muy solubles en solventes orgánicos en fibras sintéticas no polares, estos pueden tener resistentes a altas temperaturas. Es frecuente las mezclas entre estos tipos de colorantes, para obtener mejores y diferentes tonalidades es necesario solo hacerlo entre estos (Marcano, 2018).

2.1.1.3 Colorantes transferidos. Son conocidos como colorantes dispersos. Se aplican para transferencia de sustrato al material a adherirse, soportan temperaturas solo hasta de 130°C son arrastrados con vapor a presión atmosférica y deben ser solubles con las fibras. Es ampliamente usado en el teñido de fibras sintéticas (Marcano, 2018).

2.1.1.4 Colorantes reactivos. Se caracterizan por tener un grupo reactivo que permite unirse a la fibra por medio de enlaces covalentes generando la formación de ésteres y éteres (Marcano, 2018).

2.1.1.5 Colorantes VAT. Son conocidos como los colorantes a la tina, son liposolubles, incoloros o sutilmente coloreados. Con la solución del compuesto leuco llamada «tina» (vat), se impregna la fibra y una vez adsorbida la sal, aquella se expone al aire que re-oxida el colorante sobre la fibra y el cromógeno insoluble queda adherido (Marcano, 2018).

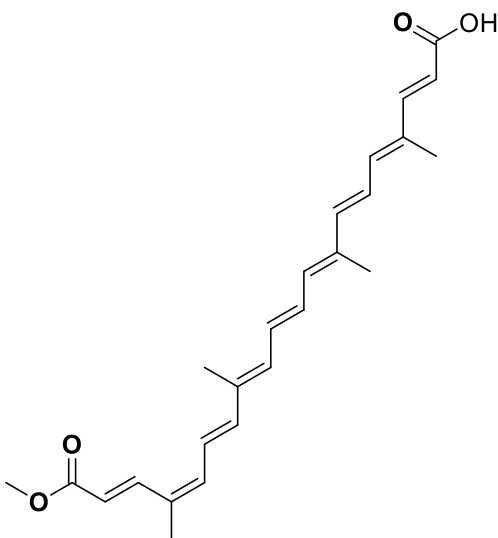
2.1.1.6 Colorantes de azufre. Son insolubles en agua, en su estructura contienen azufre como cromóforo. Se emplean en fibras celulósicas por su reducción una vez absorbida por la fibra (Marcano, 2018).

2.1.1.7 Colorantes de pigmentación: pigmentos. Son sustancias insolubles tanto en agua como en la fibra a teñir. Por tradición se reservaba la denominación pigmento a sustancias cromogénicas inorgánicas, en la actualidad se han trabajado con sustancias orgánicas insolubles, generalmente policondensados que, por no presentar afinidad con las fibras, requieren de aglutinantes. Se preparan por precipitación de un colorante sobre un sustrato inactivo: sales de aluminio, de estaño, material silíceo, talco, etc. El colorante utilizado en la preparación de un pigmento puede ser natural o sintético de los llamados coal-tar dye (colores de alquitrán). Los pigmentos son tal vez las sustancias cromogénicas más ampliamente utilizadas y de mayor tradición para una gran variedad de materiales (Marcano, 2018).

Un ejemplo de estos colorantes es el colorante de onoto: La materia colorante, carotenoides en casi su totalidad, se presenta sobre la capa externa de la semilla (aunque el resto de la planta: raíces, ramas, hojas, también contienen una pequeña cantidad). Está constituida principalmente por bixina (aprox. 70%) y norbixina que corresponde al diácido ver **Figura 1**, y se acompaña de otros colorantes minoritarios (isómeros de los anteriores, menos estables) y de productos de degradación, que a su vez son colorantes. No presentan actividad de pro-vitamina A.

Figura 1

Estructura de norbixina y bixina



R = Me = Bixina

R = H = Norbixina

La coloración varía en función de la proporción de las especies químicas, presentes como ejemplo en la semilla los pigmentos extraídos, que van desde el naranja al rojo. Por ello, los procesos de cosecha, manipuleo, almacenamiento y procedimiento de extracción y purificación como ejemplo, el secado y la exposición al aire y luz, de las variedades agrícolas de las cosechas.

Por lo general, lo mejor es realizar el proceso de la cosecha de manera manual, porque al introducir maquinaria automotriz esta tiende a remover el pigmento superficial presente en el material. Las semillas se deterioran por enmohecimiento (falta de secado apropiado durante el transporte y almacenaje), y por sobresecado, debido al exceso de calor por un amplio tiempo. El colorante es extraído de las semillas por diferentes métodos de extracción hasta finalmente obtener un producto con atractivo comercial, también puede presentar cambios en la composición química

original debido a degradaciones, isomerizaciones y otros. El contenido de materia colorante varía de un 3 al 8% en peso de semilla fresca.

Esto depende de:

- Calidad y variedad de la semilla
- Métodos (peso y tamaño de la semilla)

La fuerza del color depende la cantidad expresada como concentración de la composición del pigmento extraído. En ello se considera el índice de bixina como criterio en las estimaciones de la calidad de los colorantes de onoto y de la semilla que va a ser sometida al proceso de extracción (Marcano, 2018).

2.1.2 Pigmentos.

Los pigmentos naturales nos rodean en los elementos de la naturaleza como las flores, las frutas, los vegetales, minerales y aún en animales, que están llenos de colores brillantes, la selección en relación con el tema de interés son pigmento de origen vegetal.

Entre los pigmentos que se pueden obtener de estas fuentes naturales de color, están los carotenoides y los flavonoides, los cuales se presentan en la .

Tabla 4.

Tabla 4

Principales pigmentos naturales obtenidos en la naturaleza (plantas), (Vinha et al., 2018)

Grupo de pigmentos	Tipo	Fuente natural	Color
Carotenoides	Carotenos Xantófilas	Plantas, vegetales y frutas	Amarillo, naranja y rojo

Flavonoides	Chalconas	Crema, amarillo,
	Flavonoles	rosado, rojo, azul
	Antocianinas	negro

La clasificación de los colorantes naturales se puede dar según su estructura, color y origen. A continuación, se describe la clasificación en función de la estructura en la **Figura 2**.

Figura 2

Clasificación de los colorantes según su estructura, (Fazal-ur-Rehman et al., 2019)



2.1.2.1 Carotenoides. Los carotenoides son moléculas constituidas por unidades de *polienos* que alternan enlaces dobles y sencillos y son cadenas de 40 carbonos. Estos se sintetizan

a partir de $C_{40}H_{56}$, tienen una cadena central de 11 enlaces conjugados en la configuración *E* (*trans*) (Kaczor et al., 2016) y mediante procesos de ciclación, hidrogenación, alargamiento de cadena y migración de doble enlace (Fazal-ur-Rehman et al., 2019). Como característica, estos poseen gran reactividad y absorción de la luz (Kaczor et al., 2016). Los carotenoides se clasifican en dos grupos grandes: *carotenos* y *xantófilas*; como se describe en la **Figura 3**:

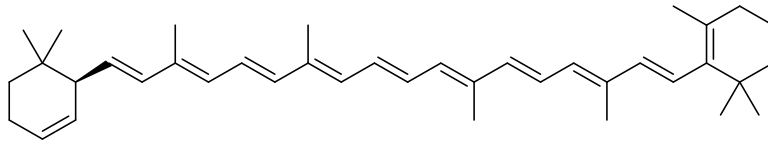
Figura 3

Clasificación de carotenoides por presencia y ausencia de oxígeno, (Fazal-ur-Rehman et al., 2019)



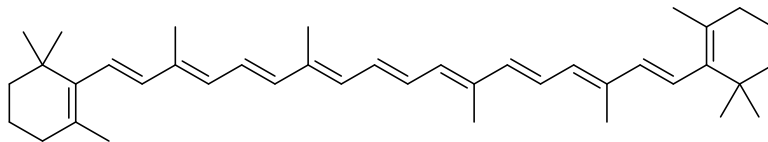
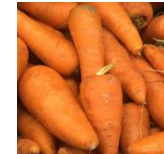
2.1.2.1.1 Carotenos. Los carotenos son una clase muy importante de los carotenoides. Es característico de ellos, la ausencia de oxígeno en su estructura, en la cadena de carbono e hidrógeno. Son no polares y con gran afinidad a los lípidos, son extraídos por medio de solventes

orgánicos. En medida por la cantidad y alternancia de dobles enlaces en su estructura, estos compuestos absorben luz en la región entre 400-500 nm, los pigmentos generados son de color naranja. La variedad de isómeros que presenta este tipo de estructuras es una gran cantidad como lo son el α , β , γ , δ , ϵ y zeta. Los α y β -carotenos son los importantes para la pigmentación (Fazal-ur-Rehman et al., 2019). A continuación, se relacionan algunos carotenos con su estructura y fuente vegetal.



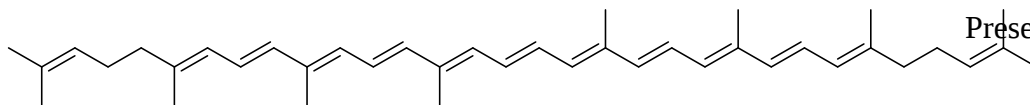
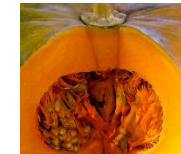
α -Caroteno

Presente en mango, melón, zanahorias, papa, etc.



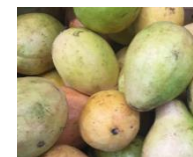
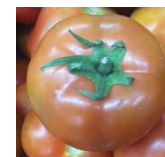
β -Caroteno

Se encuentra en zanahorias, Calabaza, papa, etc.

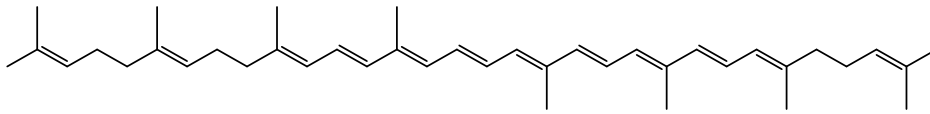


Licopeno

Presente principalmente en tomate, guayaba y sandía.

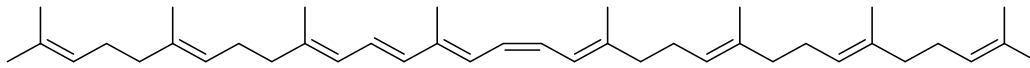


Intermedio en la biosíntesis de licopeno

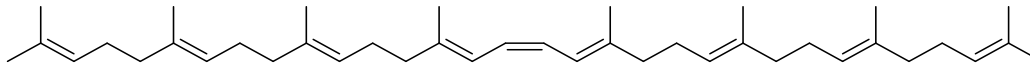


Neorosporene

Presente en el tomate



Fitoflueno



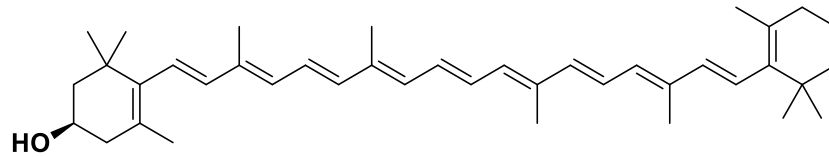
Fitoeno

Se encuentra en la papaya. (*Barreto et al., 2011*)



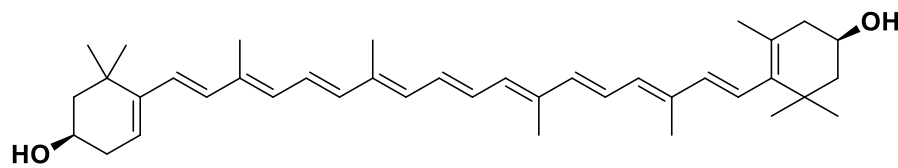
La estabilidad relacionada con el color en los carotenos es relativa por no decir precaria. Dado que los pigmentos extraídos están en función de la permeabilidad celular y por la presencia de compuestos protectores. Para sistemas acuosos se establecen equilibrios entre las especies químicas la concentración es determinante, estos equilibrios dependen de la relación ácido-base, por la adición-eliminación de agua y el equilibrio tautomérico, también es conocido que la mayoría de los carotenoides son principalmente sensibles a la oxidación por la presencia de oxígeno en el medio, a mayor exposición puede llegar a la ruptura de las cadenas (Marcano, 2018).

2.1.2.1.2 Xantófilas. Su principal característica estructural se basa en la presencia de oxígeno. También, contiene en su estructura grupos funcionales como **hidroxilo, ceto, epoxi, metoxi, ácido carboxílico**, entre otros. Caracterizados por el color verde y amarillo en plantas, frutas y vegetales. Presentan mayor polaridad en comparación a los carotenos, son ejemplos de estos la zeaxantina, luteína, violaxantina, neoxantina, fucoxantina y capsorrubina. Por otro lado, otros son derivados de fuentes alimentarias como lo son la luteína, capsorrubina, capsantina y otros son provenientes de microorganismos, algas, hongos, bacterias u organismos marinos.



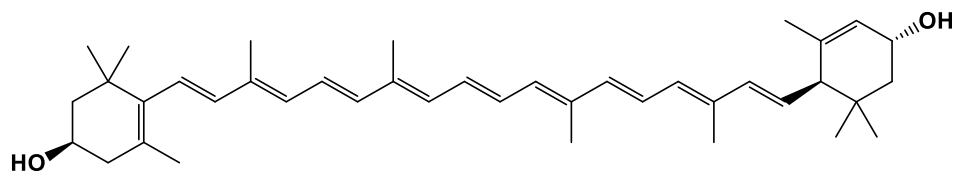
β -Cryptoxantina

Presente principalmente en el pimentón, ciruela, papaya y ciruela, entre otros, (Meléndez-Martínez et al., 2004)



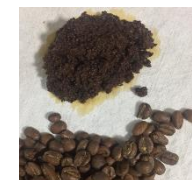
Zeaxantina

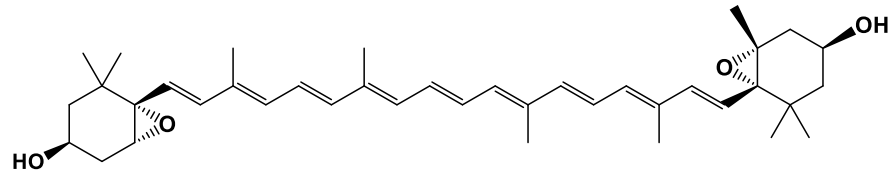
Presente en el café, mango, mandarina, etc. (Carotenoid Database, s. f.)



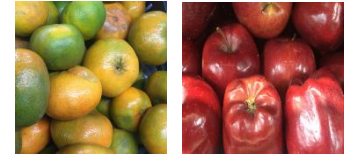
Luteína

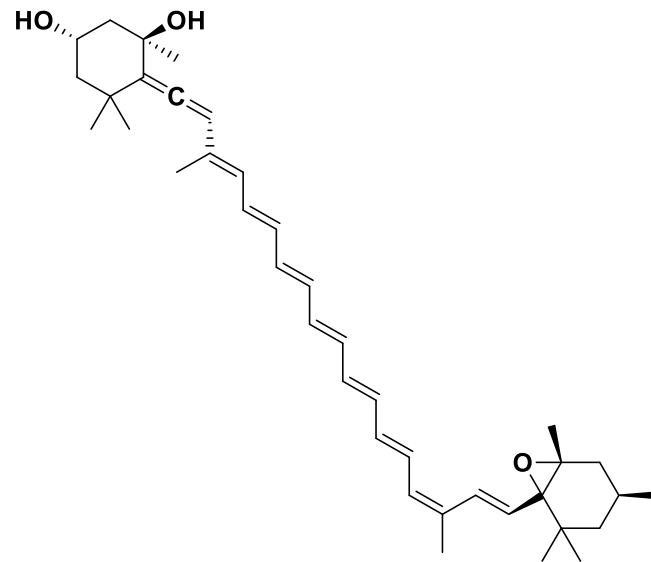
Presente en la espinaca, café entre otros, (Carotenoid Database, s. f.)



*Violaxantatina*

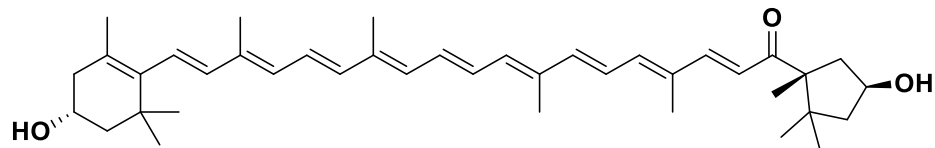
Presente en café, mandarina, pimentón
amarillo, manzana, mango, etc,
(*Carotenoid Database*, s. f.)





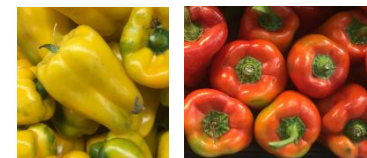
Neoxantina

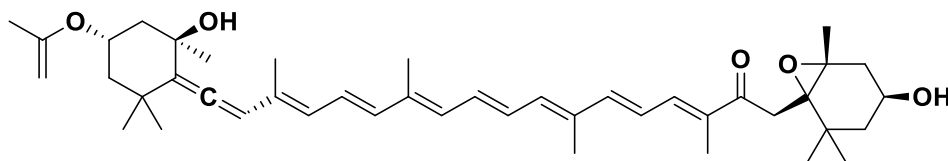
Presente en zapote, café, mandarina, mago, manzana, sandía, aguacate, etc, (Carotenoid Database, s. f.)



Capsantina

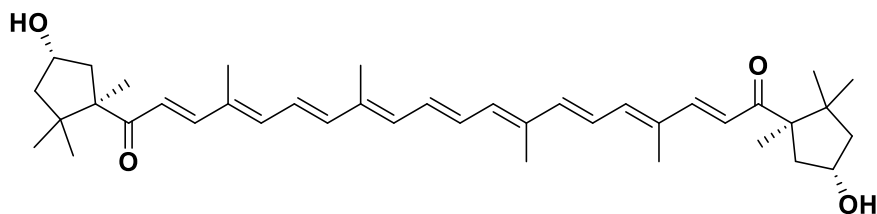
Presente en los pimentones rojos, etc. (Carotenoid Database, s. f.)





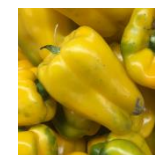
Flucoxantina

Presente en las granadas, pimentón marrón, etc.



Capsoburrina

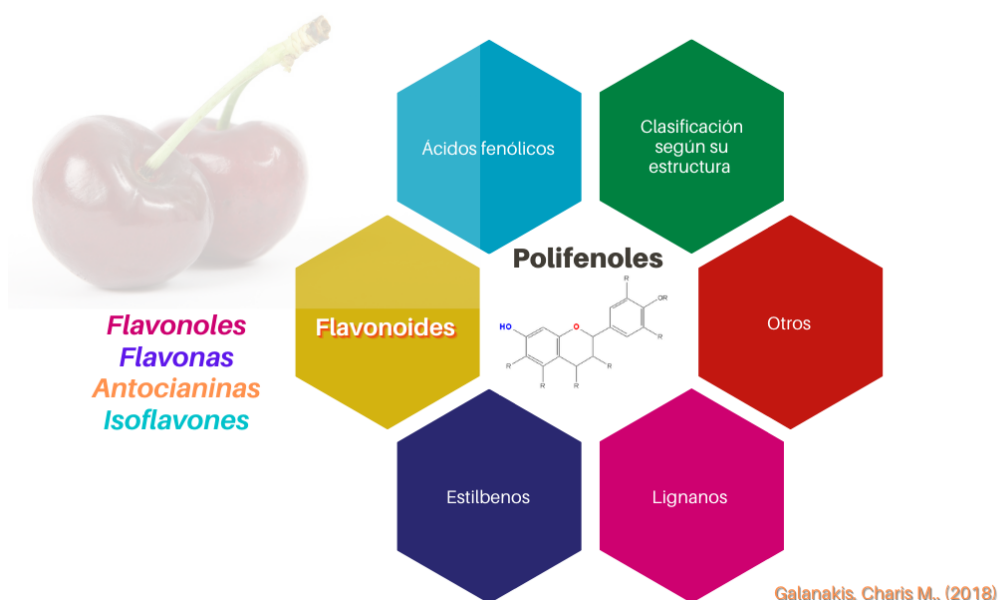
Presente en los pimentones, etc.
(*Carotenoid Database*, s. f.)



2.1.2.2 Flavonoides. Son polifenoles cuya estructura química de partida son las agliconas. Según su estructura, los flavonoides se clasifican en: flavonoles, flavonas, antocianinas e isoflavones, como se observa en la **Figura 4**.

Figura 4

Clasificación de polifenoles según la estructura (Galanski, 2018).



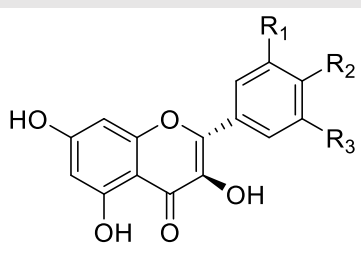
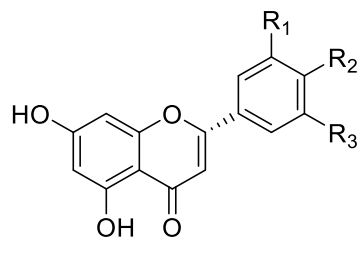
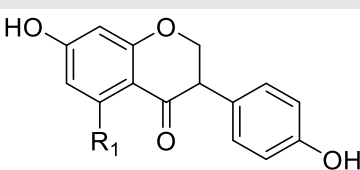
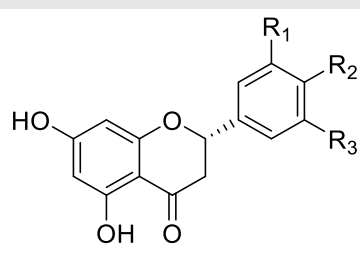
Los polifenoles contienen en su estructura anillos aromáticos y se clasifican en diferentes grupos según el número de anillos aromáticos y las uniones estructurales entre estos anillos. Es por ello que los polifenoles se clasifican en flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos y estilbenos (Manach et al., 2004).

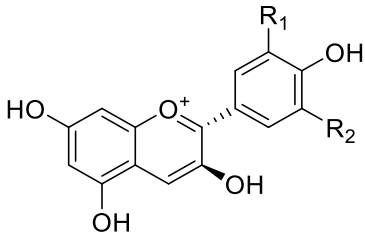
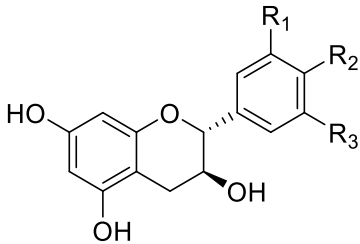
Las plantas y las frutas son los sustratos que más flavonoides tienen y son el grupo más grande de compuestos fenólicos. Su estructura está constituida por dos anillos aromáticos unidos

entre sí. Sus actividades biológicas, incluida la actividad antioxidante, dependen considerablemente de las diferencias estructurales y patrones de glicosilación. Según el grado de oxidación del anillo central y el número y posición de los grupos –OH, los flavonoides se pueden dividir en seis subclases: flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas y flavanoles según Chavarri, 2017 como se observa en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Clasificación según la estructura química de los flavonoides (Chavarri, 2017)

Flavonoles		Flavonas	
			
$R_2=OH, R_1=R_3=H$	Kaempferol	$R_1=H, R_3=OH$	Apigenina
$R_1=R_2=OH, R_3=H$	Quercetina	$R_1=R_2=OH$	Luteolina
$R_1=R_2=R_3=OH$	Miricetina		
Isoflavonas		Flavanonas	
			
$R_1=H$	Daizenin	$R_1= OH, R_3= OCH_3$	Hesperidina
$R_1=R_2=OH$	Luteolina	$R_1=H; R_2=OH$	Narigenin

Antocianidinas		Flavanoles	
			
$R_1=R_2=H$	Pelargonidina		
$R_1=OH, R_2=H$	Cianidina	$R_1=R_2=OH, R_3=H$	Catequinas
$R_1=R_2=OCH_3$	Malvidina	$R_1=R_2=R_3=OH$	Galocatequina
$R_1=R_2=OH$	Delfinidina		

De acuerdo con algunos estudios realizados sobre el uso de este tipo de colorantes en distintas aplicaciones, Vankar & Shukla., 2019 mencionan algunas ventajas y desventajas que se enuncian a continuación:

Ventajas de los colorantes naturales

- Impacto medioambiental mínimo: sus fuentes son naturales, por lo que no son dañinos para el medioambiente. Esto los hace atractivos para los consumidores.
- Biodegradables: su eliminación no genera contaminación.
- Renovable: se obtienen de fuentes renovables, principalmente plantas que pueden aprovecharse sin causar daños al medio ambiente.
- Apariencia del color: son favorables para obtener un tono suave o un tono relajante.

- Seguridad del consumidor: algunos tintes naturales, como el carmín que se encuentra en los lápices labiales, no causan daño ni problemas de salud cuando se ingieren.
- No son tóxicos ni alergénicos y no presentan riesgos para la piel.
- La estabilidad se puede lograr mediante el uso de mordientes adecuados.

Desventajas de los colorantes naturales

- Costo: se necesitan grandes cantidades de material vegetal. En comparación con la cantidad de colorante sintético necesario para teñir una cantidad específica de un tejido, puede ser mayor la cantidad de colorante natural necesaria para esta misma aplicación. Por ejemplo, se pueden teñir 20 g de algodón con solo 0,5 g de tinte sintético, mientras que se necesitan 20 g de tinte natural para teñir la misma cantidad de material. Esto hace que el uso de tintes naturales sea más caro que los tintes sintéticos.
- Beneficio de color: el beneficio de color tiende a desvanecerse rápidamente, especialmente en el caso del algodón. Más aún, la calidad puede no ser tan consistente como pueden ofrecer los tintes sintéticos.
- Disponibilidad: La disponibilidad de materias primas depende la temporada, lugar y especie, lo que hace que sean difíciles de producir. Mientras que los tintes sintéticos se pueden producir en las fábricas durante todo el año.
- Efectos nocivos: algunos tintes naturales también pueden ser dañinos hasta cierto punto. El palo de tinte tiene ingredientes, hemateína y hematoxilina, que pueden tener efectos nocivos cuando se inhalan, ingieren o absorben a través de la piel. Otra fuente de tinte natural que puede causar irritación e inflamación cuando se inhala es la sanguinaria canadensis (bloodroot). Más

aún, los tintes naturales necesitan mordientes para su aplicación. Los mordientes como el cobre y el cromo son tóxicos por naturaleza. (Vankar & Shukla, s. f.).

2.2. La Agroindustria en Colombia

El término agroindustria se refiere a los procesos de transformación de los productos agrícolas para un consumo final. Estos procesos de transformación pueden ir desde su almacenamiento, empaque, conservación, hasta su conversión en materia prima para otros procesos industriales o la propia producción de otros productos de consumo final (URL: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/agroindustria/metodologia_agroindustria.pdf).

En Colombia, la agroindustria constituye una de las principales fuentes de ingresos económicos para el país. Cultivos como café, flores, cacao, caña de azúcar, banano y plátano se han posicionado dentro de los más promisorios en términos de exportación; mientras que los cereales, cítricos y legumbres tienen tendencia hacia el consumo local, regional y/o nacional (FAOSTAT, 2019). Sin importar el tipo de cultivo agrícola de interés, procesamiento poscosecha y transformación en la agroindustria, generan grandes cantidades de residuos vegetales que, en la mayoría de los casos, no se les aplica ningún tratamiento adicional (Cury, K. 2017). A nivel mundial, se estima una producción de residuos de hasta una tercera parte de los alimentos para consumo humano, representados en desechos que van desde la materia prima hasta la transformación final del producto. En Colombia, el procesamiento de los cultivos mencionados anteriormente, generan aproximadamente 72 millones de toneladas de residuos, que terminan siendo incinerados o dirigidos a los rellenos sanitarios (Peñaranda, 2017). En los mejores casos, son utilizados como biomasa para la generación de biocombustibles, para la alimentación de

animales de granja y como fertilizantes (URL:

https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/residuos_agricolas_y_forestales.asp#:~:text=Se%20conocen%20como%20residuos%20agr%C3%ADcolas,actividades%20propias%20de%20estos%20sectores.&text=y%2C%20por%20otra%2C%20de%20los,para%20hacer%20productos%20de%20madera..) Sin embargo, el aprovechamiento de los materiales

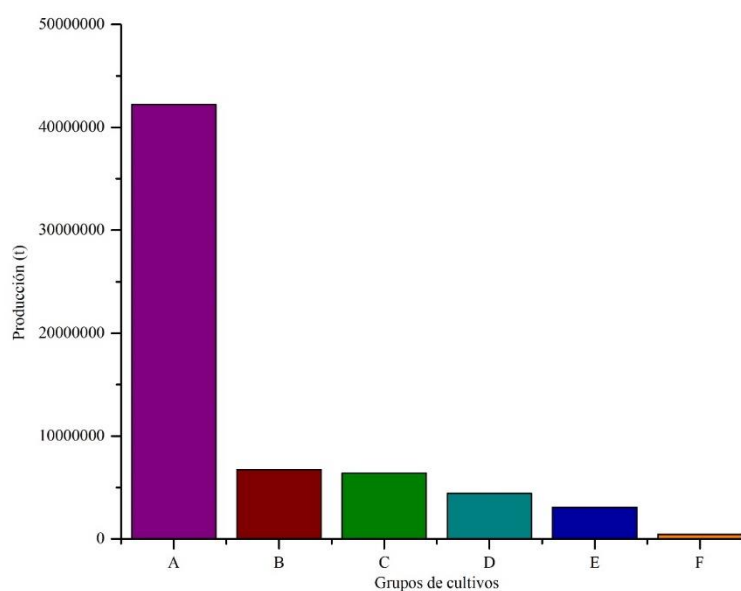
contenidos en estos residuos, podría ser mayor por ser materiales naturales, biodegradables, de baja toxicidad que contienen sustancias que le confieren un valor agregado, tales como proteínas, fibras, minerales, antioxidantes, entre otros, que pueden llegar a ser aprovechados como materia prima para otras aplicaciones industriales (Motato, K. 2006; Kumar, P. 2018; Beltran, 2019; Cury, K. 2017; Gontard, N. 2018). Por ejemplo, Kalogeropoulos et al. 2012 mencionan que los subproductos del tomate son una gran fuente de compuestos bioactivos como fitoquímicos, a saber, tocoferoles, carotenos, terpenos y polifenoles, los cuales pueden llegar a reemplazar a los aditivos químicos en la conservación de la vida útil de los alimentos, los compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C y fibra dietética, que se extraen de la cáscara de mango, pueden contribuir a reducir el riesgo de salud en el cáncer, las cataratas, la enfermedad de Alzheimer y las enfermedades de Parkinson (Ayala-Zavala et al. 2012), entre muchas otras aplicaciones.

Los cultivos en Colombia se clasifican en grupos grandes, de la siguiente manera: 1) agroindustriales, 2) frutales, 3) tubérculos y plátano, 4) cereales, hortalizas, verduras y legumbres, y, 5) árboles frutales dispersos.

Los datos de producción agrícola registrados por la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) que realiza el DANE cada año en Colombia, registran que para el año 2019, la producción total por grupo de cultivos fue de la siguiente manera: la mayor producción fue de los cultivos agroindustriales con 42.208.363 toneladas (ton), seguidos de los frutales con 6.712.167 ton y el grupo de tubérculos y plátano con 6.404.514 ton, en tercer lugar, como se puede observar en la **Figura 5**.

Figura 5

Producción nacional en 2019 por grupo de cultivos (toneladas) (ENA., 2019)



Nota: A: agroindustriales, B: frutales, C: tubérculos y plátano, D: cereales, E: hortalizas, verduras y legumbres, F: árboles frutales dispersos.

La recuperación de los agentes de color de los residuos agroindustriales daría un valor agregado a los productos agrícolas, generaría agentes de color alternativos que podrían reemplazar a los sintéticos para aplicaciones industriales y además puede ser una alternativa de tratamiento de

los residuos sólidos generados por esta actividad comercial, los cuales no tienen un tratamiento adecuado antes de su disposición final, como se mencionará más adelante.

Los cultivos que se estudiaron en esta investigación son los de mayor producción, ya que los residuos se derivan de esta actividad. Estos corresponden a los cultivos agroindustriales y los frutales. Sin embargo, se revisarán algunos vegetales de interés, aunque no están dentro de estos dos grupos, debido a que se ha demostrado en otros estudios, que contienen carotenoides y/o flavonoides.

La distribución de producción de los cultivos agroindustriales y frutales en Colombia en el 2019 se muestra a continuación (**Figura 6** y **Figura 7**).

Figura 6

Producción de los cultivos agroindustriales (toneladas). Total, nacional en 2019. (ENA., 2019)

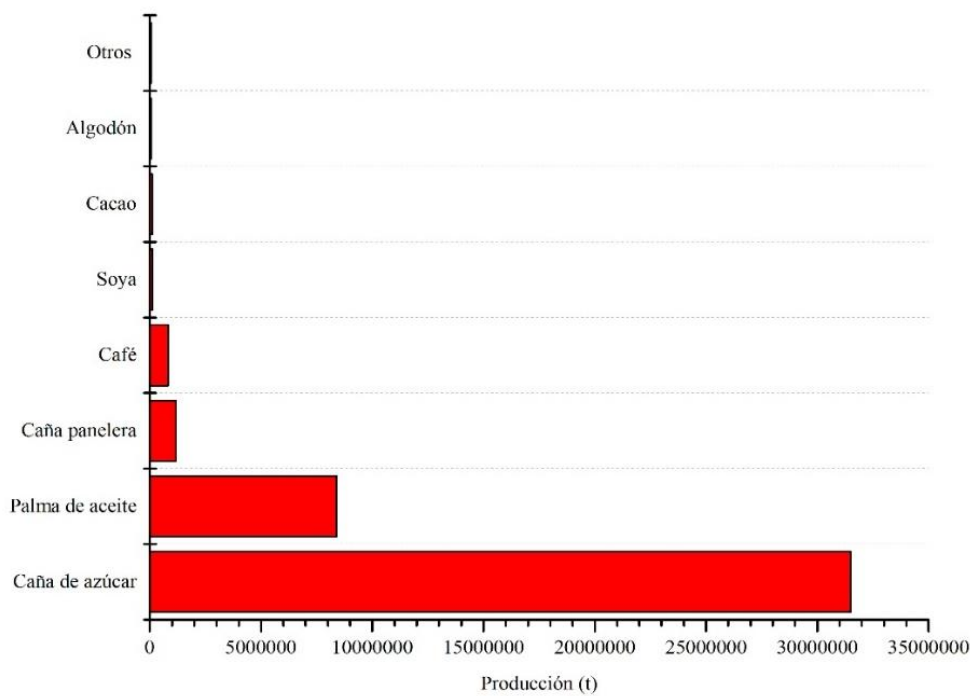
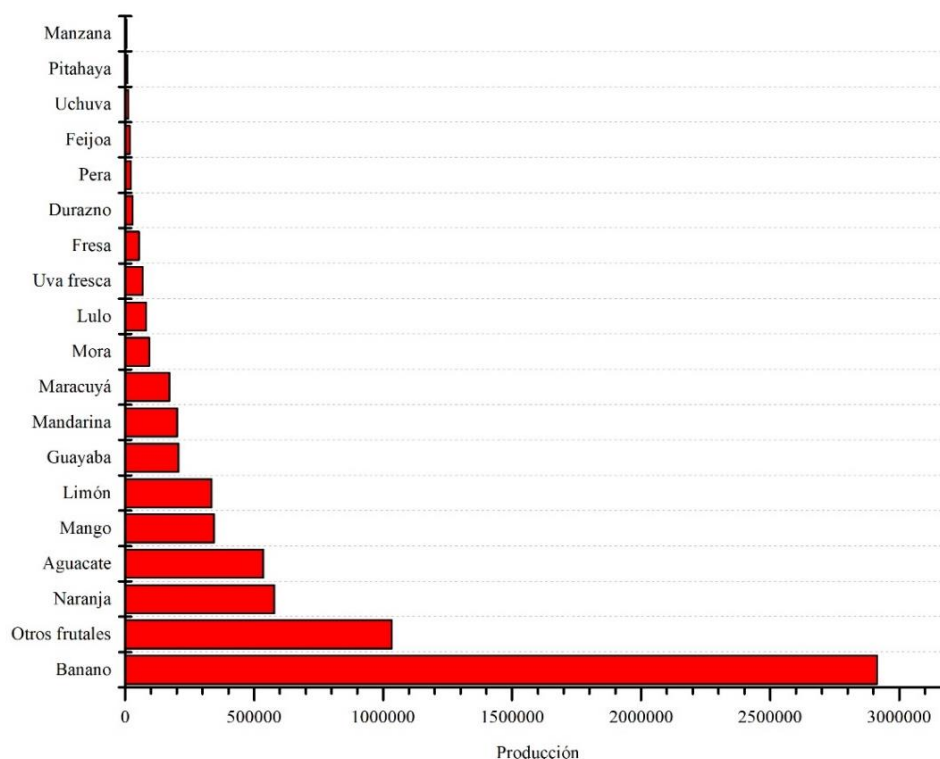


Figura 7

Producción de los cultivos frutales (toneladas). Total, nacional en 2019. (ENA, 2019).



Los residuos correspondientes a cada uno de los cultivos mencionados anteriormente se especifican en la **Tabla 6**.

Tabla 6

Lista de los residuos de diferentes cultivos agroindustriales (FAO: URL <http://www.fao.org/3/a-bp843s.pdf>)

Cultivo	Residuo	Cultivo	Residuo	Cultivo	Residuo
Agroindustriales					
Cacao	Vainas	Maní	Cáscara	Avena	Paja

Coco	Follaje	Maíz	Mazorca	Palma	Racimos
	Cáscara		cascarilla	aceitera	Follaje
	Cascarilla		Rastrojo		Cáscara
Centeno	Paja	Arroz	Paja	Semilla de	Paja
	Cáscara		Cáscara	soja	Vainas
Cebada	Paja	Sorgo	Paja	Caña de	Hojas
			Tallo	azúcar	Bagazo
Café	Cáscara	Trigo	Paja	Algodón	Cáscara
					Tallo
Yuca	Tallo	Mijo	Paja		
Frutales					
Piña	Cáscara	Banano	Cáscara	Mora	Hojas
Papaya	Piel semillas	Aguacate	Piel	Uva	Piel
			Semilla		Semillas
Naranja	Cáscara y	Mango	Piel	Durazno	Piel
	semillas		Semilla		Semilla
Guayaba	Semillas	Cítricos	Cáscara	Manzana	Piel
			Semillas		Semillas
Maracuyá	Cáscara	Lulo	Cáscara	Fresa	Hojas

La cantidad de los residuos generados en el sector agroindustrial puede ser llamativo, ya que, podría representar una producción de colorantes y pigmentos de origen vegetal considerable, teniendo en cuenta que Colombia es un país principalmente agrícola.

La composición de los residuos generados de las actividades de producción frutícola se describe en la **Tabla 7**.

Tabla 7

Composición de los residuos provenientes de cultivos frutales (Solarte et al., 2014).

Fruta	Residuo	Cantidad de residuos (%) del peso total del fruto)	Referencia
Papaya	Piel y semillas	10	Ayala-Zavala et al., 2010 p.1869;
Piña	Cáscara	60	Silva et al. 2014 p. 399
Naranja	Cáscara y semillas	50	Álvarez et al., 2004, p. 532
Guayaba	Semillas	12	Bernardino et al., 2006; Serna et al., 2013, p. 114
Maracuyá	Cáscara	50-55%	Tarazona-Diaz et al., 2020

De la anterior tabla se puede deducir que la papaya y la guayaba son las que generan menos residuos (10% y 12%) siendo mayoritariamente semillas y piel lo que se desperdicia. En cambio, la piña, el maracuyá y los cítricos son los que generan más residuos en peso, con valores entre 50-60%, dónde las cáscaras corresponden al mayor porcentaje de residuo desaprovechado. Con el objetivo de dar un aprovechamiento a estos residuos es necesario determinar si presentan contenido de alguno de los compuestos de interés en esta revisión, como son los carotenoides y flavonoides.

Tsai, et al., (2020) recopilaron información sobre la presencia de compuestos bioactivos en algunos residuos agroindustriales y la relacionaron con la fuente de estos residuos, como se muestra en la siguiente **Tabla 8**, de donde se tomó la información de los residuos que presentan carotenoides y flavonoides.

Tabla 8

Compuestos bioactivos encontrados en los residuos agroindustriales (Tsai et al., 2020)

Fruta	Residuo	Compuestos bioactivos	Referencia
Manzana	Piel y pulpa	Epicatequina ^f , catequina ^f , antocianinas ^f , glucósidos quercetina ^f , ácido clorogénico, hidroxycinamatos, glucósidos de floretina y procianidinas ^f	Wolfe and Liu (2003), Foo and Lu (1999), Lu and Foo (1997)
Aguacate	Piel y semilla	Epicatequina ^f , catequina ^f , ácido gálico, ácido clorogénico, cianidina-3-glucósido ^f y ácido homogentísico.	Deng et al. (2012)
Banano	Piel	Galocatequina ^f , antocianinas ^f , delfindina ^f , cianidina ^f , catecolamina.	Someya et al. (2002), Kanazawa and Sakakibara (2000), González Montelongo et al. (2010)
Cítricos	Piel	Hesperidina ^f , naringina ^f , eriocitrina ^f , narirutina ^f	Coll et al., (1998)
Uvas	Piel y semillas	Ácido cumárico, ácido caféico, ácido ferúlico, ácido clorogénico, ácido cinámico, ácido neoclorogénico, ácido p-hidroxibenzóico, ácido procatecuico, ácido vanílico, ácido gálico, proantocianidinas ^f , quercetina 3-O-gluronida ^f y resveratrol ^f .	Shrikhande (2000), Negro et al., (2003), Maier et al., (2009)
Guayaba	Piel y semillas	Catequina ^f , cianidina 3-glucósido ^f , galangina ^f , ácido gálico, ácido homogentísico, kaempferol ^f .	Deng et al., (2012)
Litchi	Pericarpio y semillas	Cianidina-3-glucósido, cianidina-3-rutinosido, malvidina-3-glucósido, ácido gálico, epicatequina-3-galato ^f .	Lee and Wicker (1991), Duan et al., (2007)
Mango	Semilla	Ácido gálico, ácido elágico, galatos, galotaninos, taninos condensados ^f .	Arogba (2000), Puravankara et al. (2000)
Palma de aceite	Subproducto s de la molienda	Tocoferoles, tocotrienoles, esteroides, escualeno, antioxidantes fenólicos.	Tan et al. (2007), Choo et al. (1996)

Granada	Piel y pericarpio	Ácido gálico, cianidina-3,5-diglucósido ^f , cianidina-3-diglucósido ^f , delfinidina-3,5-diglucósido	Noda et al. (2002), Gil et al. (2000)
Zanahoria	Piel	Fenoles, β -caroteno ^c .	Chantaro et al. (2008)
Pepino	Piel	Clorofila, feofitina, felandreno, cariofileno	Zeyada et al. (2008)
Tomate	Piel y pulpa	Carotenoides	Strati and Oreopoulou (2011)
Cebada	Cascarilla	β -Glucano.	Sainvitu et al. (2012)
Arroz	Cascarilla	γ -Oryzanol, aceite de salvado.	Perretti et al. (2003), Oliveira et al. (2012)
Trigo	Cascarilla y germen	Ácidos fenólicos, antioxidantes	Wang et al. (2008)

Nota: el superíndice *c* indica que es carotenoide y, *f* para flavonoide.

Evaluando el contenido de carotenoides en residuos de frutas tropicales, Solarte et al., (2014) hacen referencia a estudios de estas mismas frutas en otros países como en Venezuela, donde Moreno-Álvarez et al. (2006, 298) estudiaron el contenido de carotenoides en cáscara de naranja y en Brasil, donde evaluaron el contenido de los mismos pigmentos en los residuos de guayaba, acerolo, piña, guanábana, copoazú, marañón, papaya, mango y tamarindo, en los estudios realizados por Sousa et al. (2011 p. 556) y Silva et al. (2014 p.398). Los resultados de estos estudios se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9

Concentración de carotenoides totales (Solarte et al., 2014)

Residuo de fruta	Carotenoides (mg/100g)
Naranja	0,70 $\pm$ 0,17 ^c
Papaya	5,88 $\pm$ 0,35 ^a
Guayaba	4,20 $\pm$ 2,33 ^b

Piña	$1,29 \pm 0,13^c$
-------------	-------------------

Nota: los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza ANOVA de una vía. Dentro de una columna los valores con diferente letra representan diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). $p < 0.001$.

2.3 Técnicas de extracción: para obtención de flavonoides y carotenoides a partir de residuos agroindustriales

La búsqueda relacionada con los métodos de extracción de pigmentos naturales encontrados en los residuos se realizó en la ventana de tiempo comprendida entre 2010 a 2020, empleando la herramienta de búsqueda SCOPUS, encontrando así 143 artículos. Como metodología de búsqueda se utilizó el operador booleano “AND” y la palabra clave “métodos de extracción”. La información se organizó por años evaluando el factor de impacto y número de citas. En este sentido, la atención se enfocó en técnicas convencionales y no convencionales.

(Kyriakopoulou et al., 2015) destacaron diferentes técnicas de extracción para carotenoides y flavonoides partiendo de residuos agroindustriales, entre las que se encuentran: la extracción con solventes (CSE), la extracción por Soxhlet (SE), extracción asistida con microondas (MAE), extracción asistida con ultrasonido (UAE) y extracción por fluidos supercríticos (SFE), conocidas por sus siglas en inglés. Estas técnicas se detallan a continuación.

I. Técnicas de extracción convencionales

Las técnicas de extracción convencionales hacen referencia a métodos estandarizados que han sido ampliamente utilizados a lo largo del tiempo sin sufrir desarrollos tecnológicos.

(Farías-Campomanes et al., 2013) en sus experimentos encontraron que los parámetros críticos en la extracción de pigmentos vegetales con técnicas convencionales son: temperatura, presión, humedad, cantidad de solvente, entre otros.

A continuación, se describen algunas de estas técnicas:

a. Extracción convencional (CSE)

Este tipo de extracción convencional se escala a nivel de laboratorio con el objetivo de evaluar el rendimiento del pigmento extraído probando diferentes solventes en la metodología, ajustando el pH, controlando el tiempo de exposición y conservando las condiciones de temperatura (Yara-Varón et al., 2016).

b. Hidrodestilación

Conocida también como “destilación por arrastre de vapor”. Este método consta del uso de agua para la generación de vapor y es el agente de extracción, en donde los compuestos bioactivos o aceites esenciales son recuperados por la volatilización del agua contenida en las muestras (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

c. Técnica por inmersión

Consiste en sumergir la materia o matriz de interés y dejarla en remojo por un determinado tiempo en diferentes condiciones ambientales, sea en presencia de luz, cambio de temperatura, control de la agitación y disolvente de trabajo, (Mojica et al., 2017).

d. Maceración y uso de solventes

Consta de un proceso de mezcla del componente sólido (materia prima) con un solvente afín al compuesto de interés. Se separa por medio de técnicas de filtración por gravedad o al vacío, teniendo en cuenta el área superficial de la materia prima en función del solvente. Requiere la inmersión de la muestra en un disolvente adecuado donde los compuestos activos se pueden obtener sin calentamiento, garantizando que el compuesto activo extraído no se dañe. El tiempo de exposición al disolvente es determinante en el proceso de extracción ya que, a un tiempo mayor del requerido, el pigmento puede ser diluido (Lidiana et al., 2018).

e. Extracción Soxhlet

Por medio de la ebullición y condensación de un solvente volátil, facilita el contacto directo y continuo con la muestra contenida en una cámara de extracción que posee un sifón que permite la recuperación del solvente líquido. Después, el extracto obtenido requiere ser centrifugado para concentrar el pigmento (Tarazona-Díaz et al., 2020).

II. Técnicas de extracción no convencionales

Las técnicas no convencionales son más recientes que las convencionales y han surgido del desarrollo de nuevas tecnologías que aportan beneficios como: menores tiempos de trabajo, mayor selectividad y disminución o eliminación de solventes tóxicos, debido a su reemplazo por solventes verdes. Estas son las llamadas tecnologías ecoeficientes (Azabou et al., 2016) (Hueda, 2017). A continuación, se describen con mayor detalle cada una de ellas.

a. Extracción con agua subcrítica (SCW)

Esta técnica utiliza rangos de temperatura entre 100 y 374 °C y presiones por debajo de las condiciones supercríticas (normalmente entre 10 a 100 bar) (Khajenoori & Asl, 2013). La composición química del analito sufrirá cambios internos en la estructura aumentando su difusividad, haciendo que la extracción sea más efectiva, aumentando el rendimiento y reduciendo el tiempo y la energía. Esta técnica también se conoce como extracción con agua caliente a presión (SWE) o extracción con agua de baja polaridad a presión (PLPW) (Carabias-Martínez et al., 2005).

b. Extracción asistida por alta presión (HPE)

Es un método de extracción rápido y altamente eficiente que requiere bajas cantidades de solvente. Además, la temperatura de trabajo es ambiente, protegiendo la bioactividad de los compuestos con baja estabilidad térmica y es útil en la extracción de cromoproteínas sensibles al calor (Pereira et al., 2020).

c. Extracción asistida por microondas (MAE)

Según (Li et al., 2016), esta técnica consiste en proporcionar un calentamiento selectivo en diferentes materiales por medio de irradiación de microondas. Las variables más importantes son: relación sólido-solvente, potencia de irradiación, tiempo de extracción y tipo de solvente.

d. Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

Consiste en irradiar el material por medio de ondas ultrasónicas, generando microburbujas. Estas ondas son de carácter destructivo, disminuyendo la tensión superficial de sólidos y líquidos. Existe una transferencia de masa del contenido del sólido y el disolvente. Se considera ecoeficiente debido a que el disolvente empleado es agua y además presenta altos rendimientos de extracción del pigmento de interés (Syafa'atullah et al., 2020).

e. Extracción de campo eléctrico pulsado (PEF)

(Azmir et al., 2013) y colaboradores indican que la presencia de un campo eléctrico y un alto voltaje influyen en la formación de poros en las paredes celulares del material vegetal, permitiendo una mejor liberación de los componentes celulares y por consiguiente una mejor extracción. Los mejores solventes son los de naturaleza polar para la extracción de antocianinas, porque presentan conductividad eléctrica, permiten el paso de electricidad por medio de la pared celular. Los disolventes no polares, generan una resistencia eléctrica y no conducen electricidad, esta técnica de extracción es más favorable para en la extracción de flavonoides que carotenoides (Ngamwonglumlert et al., 2017).

f. Extracción con fluidos supercríticos (CO₂) (SFE)

Un fluido supercrítico (SCF) tiene una densidad similar a la fase líquida del mismo compuesto, lo que le permite tener una solvatación líquida. La viscosidad entre gas y líquido y la difusividad del gas permiten una mayor transferencia de masa entre el soluto extraído y el SCF

(Cunico & Turner, 2017). Los parámetros para controlar son: temperatura, tiempo y presión. Es importante conocer el tipo de metabolito a extraer, ya que conociendo sus características se pueden optimizar estos parámetros (Reverchon & Marco, 2006).

Algunas ventajas de las técnicas no convencionales son: menos tiempo, bajo costo, altos rendimientos, pureza del analito extraído, alta calidad entre otros tantos (Ballard et al., 2010), (Hao et al., 2002) y (Lucchesi et al., 2004)).

A continuación, se relacionan las ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de extracción de acuerdo con los estudios de (Cornejo-Figueroa et al., 2020) según **Tabla 10**.

Tabla 10

Técnicas de extracción ventajas y desventajas para la obtención de pigmentos naturales producto de los residuos agroindustriales (Cornejo-Figueroa et al., 2020)

Técnica	Ventaja	Desventaja	Referencia
CSE (Convencional)	Rendimientos altos de extracción. No requiere uso de equipos sofisticados.	Uso de grandes cantidades de solvente. Solventes tóxicos. Alto consumo de energía.	(Saini & Keum, 2018)
Inmersión (Convencional)	Fácil manipulación y control del ensayo.	Bajos rendimientos de extracción. Empleo de solventes tóxicos.	(Mojica et al., 2017)
Maceración y uso de solventes (Convencional)	No requiere presencia de temperatura, evita daño en el pigmento extraído.	Uso de solventes tóxicos. Volatilización de compuestos de interés.	(Lidiana et al., 2018)
SOXHLET (Convencional)	Altos rendimientos de extracción.	Concentrar el pigmento extraído. Uso de solventes tóxicos.	(Tarazona-Díaz et al., 2020)

		Mayor número de variables a controlar (T°, tiempo de extracción).	
SCW	Uso de solvente verde (agua)	Cambios en la estructura por	
(No convencional)	Extracción efectiva.	presencia de agua caliente a	(Asl & Khajenoori, 2013)
	Aumenta el rendimiento y reduce el tiempo y la energía.	alta presión.	
		Mayor número de variables a controlar (presión y temperatura del solvente)	(Carabias-Martínez et al., 2005)
HPE	Altamente eficiente, tiempos	Degradación térmica	(Pereira et al., 2020)
(No convencional)	cortos de extracción, menor volumen de solventes.	probable.	
MAE	Rendimientos altos de extracción.	Solventes tóxicos.	
(No convencional)	Uso de solventes verdes.	Alta volatilización de compuestos.	(Selvamuthukumaran & Shi, 2017)
	Menos requerimiento energético.	Degradación térmica	
	Tiempos cortos de extracción.	probable.	
UAE	Rendimientos de	Variables de control difíciles.	
(No convencional)	Extracción altos.	Optimización específica del ensayo.	(Li et al., 2016)
	Mínimo consumo de energía.	Degradación térmica	
	Tiempos cortos de extracción.	probable.	
	Uso de solventes verdes.		
SFE	Evita la degradación térmica.	Utilización de equipos	(Miękus et al., 2019)
(No convencional)	Emplea volúmenes mínimos de solvente.	costosos y sofisticados.	
	Sencillo y rápido.	Difícil manipulación del proceso.	
		Altos costos de análisis.	

El comparativo realizado en la tabla anterior permite identificar que las técnicas no convencionales, son amigables con el medio ambiente por el uso de solventes verdes como agua; sin embargo, en este tipo de métodos no convencionales se aplican temperaturas en el rango entre 70-80°C, lo cual podría provocar degradación al o los pigmentos de interés, con excepción de SFE,

siendo esta quizá la principal debilidad frente a los procesos de extracción con solventes que, aun cuando son tóxicos, permiten un mayor rendimiento de extracción.

Lo anterior permite afirmar que en la actualidad la toma de conciencia es fundamental para potencializar el desarrollo de tecnologías verdes y sostenibles, empleando solventes amigables con el medio ambiente en los procesos de separación y extracción, adaptando las propiedades del solvente con la biocompatibilidad del analito en procesos sostenibles y flexibles aplicados en las diferentes industrias, (Schuur et al., 2019). Algunas de las técnicas de extracción implementadas para la obtención de biocompuestos provenientes de residuos agroindustriales se relacionan en la siguiente **Tabla 11**.

Tabla 11

Biocompuestos de residuos agroindustriales y sus respectivos métodos de extracción e implementación de tecnologías verdes, (Cornejo-Figueroa et al., 2020).

Compuestos Bioactivos	Residuos agroindustriales	Tecnología o método	Referencia
Carotenoides	Semillas de espinillo amarillo, piel del tomate, cáscara de naranja	SFE CO ₂	(Kagliwal et al., 2011)
	Cáscara de granada	EAU	(Benítez et al., 2011)
	Piel y semillas del tomate	MAE	(Luengo et al., 2014)
	Cáscaras de arándano	SFE CO ₂	(Manna et al., 2015)
Cianidina 3-O-glucósido (antocianina) Flavonoides	Piel de la cebolla	PLE	(Benítez et al., 2011)
	Piel de la papa	Solventes biodegradables	(Amado et al., 2014)
		Solventes	

Cáscara de granada	Solventes	(Benítez et al., 2011)
Semilla mango	MAE	(Paleologou et al., 2016)
Cuncho del café	SFE CO ₂	(Manousaki et al., 2016)

Nota: MAE, extracción asistida por microondas, EAU, extracción asistida por ultrasonido, SFE, extracción con fluidos supercrítico, SAE, extracción con agua subcrítica y EL, extracción líquida a presión.

Los carotenoides y flavonoides son una amplia fuente de colorantes naturales que tienen demanda por la comunidad global formando parte de las industrias alimentaria, textil, cosmética, farmacéutica entre otras. La mejora de dichas tecnologías de extracción, en muchos casos requieren la combinación de técnicas convencionales, muchas veces estas no son amigables con el medio ambiente o con el mismo pigmento a extraer, es por ello que los investigadores han diseñado nuevas y amplias tecnologías no convencionales que permiten aumentar el rendimiento de extracción de carotenoides y flavonoides, pigmentos altamente favorables con el medio ambiente y aprovechados de residuos de la agroindustria, para que finalmente sean aplicados en las diferentes industrias que lo requieran.

En la actualidad, la economía circular requiere de la aplicación de estas tecnologías eco-sostenibles, siendo estas soluciones, técnicas como la extracción asistida con ultrasonido (UAE) que se considera una solución a escala industrial por su fácil aplicabilidad en cuanto a la operación y obtención de pigmentos extraídos, según Chuyen y colaboradores (Chuyen et al., 2018). El porqué de la aplicabilidad de la técnica es dado a que aumenta la degradación de los residuos a nivel microscópico aumentando la recuperación de los β -carotenos, indicando que es un método con mayor rendimiento y beneficio económico (Salehi, 2020).

Como ejemplo del uso de las técnicas de extracción convencionales en el aislamiento de carotenoides, Daood & Biacs., (2005) exponen el uso de solventes orgánicos para extraer licopeno del tomate, Fikselová et al., (2008), varían condiciones como temperatura y tiempo de contacto con el solvente para la extracción de β -caroteno de la zanahoria, y Rebecca., (2014) extrajo carotenoides del pimentón rojo y amarillo. Por medio de Soxhlet, Ismail., (año) extrajo de la zanahoria, β -caroteno con de solventes orgánicos como acetona y alcohol.

A diferencia de las técnicas de extracción no convencionales, la extracción por fluidos supercríticos consume menos cantidad de solventes, emplea menos tiempo, proporcionando mayor rendimiento y fuerza en el color, por tanto, la extracción de pigmentos es eficaz. Beltrame et al., (1998), comprobó que la fijación de licopeno en fibras de algodón es mayor, mostrando una mayor absorción del tinte a pesar de ser un pigmento natural.

Finalmente, un ejemplo de la evaluación del rendimiento en la extracción de algunos carotenoides (β -caroteno, carotenoides totales) y flavonoides (antocianinas), se muestra en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Métodos de extracción de pigmentos naturales aplicados en 3 tipos de residuos diferentes (Ngamwonglumlert et al., 2017).

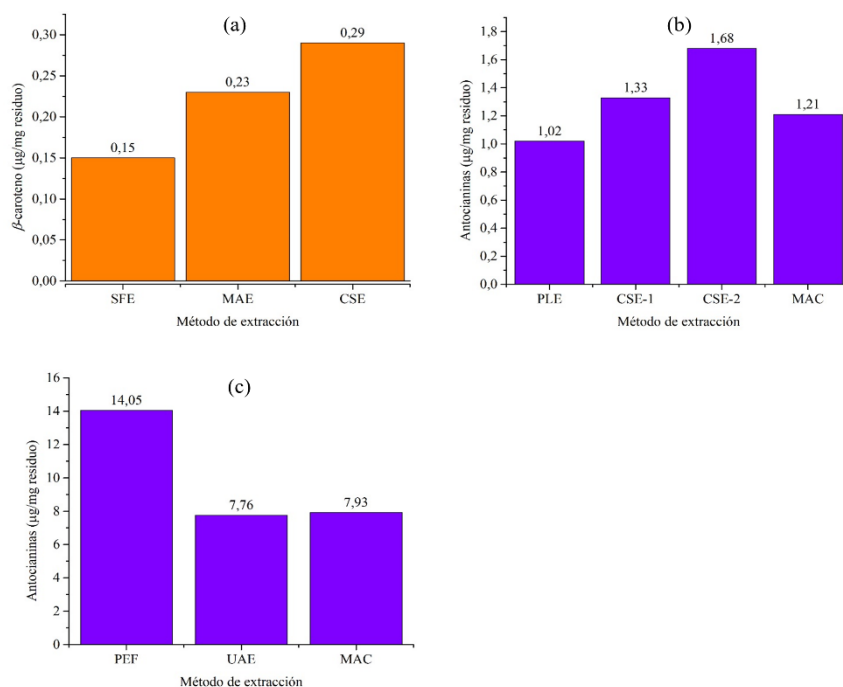
Técnica de extracción	Fuente natural	Condiciones operacionales	Pigmento extraído (µg/mg)
SFE	Zanahoria	T: 40°C, P:505 bar, S: CO ₂ , F:600-750 mL/min, t: 60 min.	α -Caroteno (0,12) β -Caroteno (0,15)

MAE		T: 58°C, S: mezcla de solventes (50% v/v, 25% v/v acetona, 25% v/v EtOH), V: 75 mL, (0,52)	Carotenoides totales
		Potencia de microondas: 180 W, t: 3 min.	β-Carotenos (0,23)
CSE		T: 58°C, S: mezcla de solventes (50% v/v, 25% v/v acetona, 25% v/v EtOH), V: 75 mL, t: 360 min.	Carotenoides totales (0,61)
			β-Carotenos (0,29)
PLE	Mora (<i>Rubus fruticosus</i> L.)	T: 100°C, P: 75 bar, S: Agua con 50 % (v/v) etanol, F: 3,35 mL/min, t: 30 min.	Antocianinas (1,02)
CSE		T: 80°C, S: MeOH, V:200 mL, t: 300 min.	Antocianinas (1,33)
		T: 80°C, S: EtOH, V:200 mL, t: 300 min.	Antocianinas (1,68)
Maceración		T: temp. ambiente, S: MeOH con 0,01% (v/v) HCl, V: 200 mL, t: 1440 min.	Antocianina (1,21)
PEF	Subproducto de la uva	T: temp. ambiente, N:30, f: 2 Hz, fuerza del campo eléctrico: 9kV/cm, maceración 70°C, S: 50%(v/v), Relación del solvente con la muestra (mL/g): 4,5:1; t:60 min.	Antocianinas (14,05)
UAE		T: 70°C, S:50% (v/v) EtOH, Relación del solvente con la muestra (mL/g): 4,5:1, f: 35 kHz	Antocianinas (7,76)
Maceración		T:70°C, S: 50% (v/v) EtOH, Relación del solvente con la muestra (mL/g): 20:1, t: 180 min.	Antocianinas (7,93)

A continuación, se muestran los datos de la tabla en gráfica de barras para ver el rendimiento de las diferentes técnicas en cada caso específico según **Figura 8**.

Figura 8

Comparación de diferentes técnicas de extracción en el aislamiento de carotenoides y antocianinas a partir de residuos de la zanahoria, mora y uva.



En los ejemplos evaluados se observa que, el mayor rendimiento de extracción de β -caroteno provenientes de la zanahoria, se obtuvo con la técnica CSE, sin embargo, al evaluar las condiciones del método se puede ver claramente que la única variable que difiere entre CSE y MAE es el uso de la potencia de microondas, lo cual reduce notoriamente el tiempo de extracción de 6 horas a 3 minutos, y la diferencia en términos de rendimiento es $0.06 \mu\text{g/mg}$. En términos económicos, la técnica más favorable para este proceso sería MAE, ya que consume menos tiempo y la diferencia de rendimiento con CSE no es significativa.

En la extracción de flavonoides a partir de residuos de la mora, específicamente el aislamiento de antocianinas se observó que la técnica más eficiente, en términos de rendimiento, fue la extracción por solventes (CSE) y entre las dos variaciones entre metanol y etanol, la de mayor rendimiento fue con etanol, manteniendo las demás variables sin variación. En comparación de CSE con MAC y PLE se observa que la diferencia con CSE-2 (extracción con solventes usando etanol) es de 0.47 y 0.66 $\mu\text{g}/\text{mg}$ respectivamente, diferencias poco significativas en términos de rendimiento. Comparando los tiempos de extracción, CSE tardó 5 horas, MAC 19 horas y PLE sólo 30 minutos, lo que puede hacer más atractiva esta última técnica en términos industriales o de productividad.

Como último ejemplo está la extracción de antocianinas a partir del subproducto de la uva. Con PEF, el rendimiento de extracción es mayor en comparación con técnicas como UAE y maceración.

2.4. Aplicabilidad De Los Carotenoides Y Flavonoides Como Colorantes En La Industria

Los flavonoides y carotenoides representan la mayor cantidad de compuestos coloreados en los residuos de frutas y vegetales; además, presentan una alta actividad como agentes antioxidantes. De lo anterior, la Comisión Europea (CE) ha permitido el uso de antocianinas, extraídas de materiales biológicos, en diferentes procesos industriales aplicados como colorantes alimentarios en bebidas, mermeladas, dulces, helados y productos farmacéuticos (Ngamwonglumlert et al., 2017). Por ejemplo, del residuo del procesamiento de la uva en la industria vinícola, el extracto de la piel de la uva (con un alto contenido de antocianinas),

disponible en una presentación comercial en polvo y utilizada como agente colorante alimentario, es de gran relevancia por sus múltiples variedades de color azul-rojo que permite una mejor apariencia del producto y adicionalmente es enriquecido con polifenoles los cuales son saludables por su capacidad antioxidante (Kosseva & Webb, s. f.). Sin embargo, aquí es importante notar que las antocianinas, aunque son compuestos atractivos para reemplazar los colorantes sintéticos, por sus tonalidades de color rojo, violeta y azul, su aplicabilidad en la industria es limitada por su pobre estabilidad, ya que factores como el pH, temperatura, exposición a la luz, oxígeno, número de azúcares unidos al ion flavilio, pueden conducir a una fácil degradación de este tipo de compuestos.

Algo similar ocurre con las catequinas y epicatequinas, las cuales, también pertenecen al grupo de flavonoides, específicamente los flavonoles, y son ampliamente encontradas en la naturaleza (como se puede evidenciar en la **tabla 6**). Las propiedades que presentan son de gran utilidad en aplicaciones alimentarias como alimentos funcionales por su capacidad antioxidante, y aun en aplicaciones de sabor, pero no son útiles para aplicaciones como colorantes ya que la longitud de onda de absorción se encuentra en el rango UV a 276 nm, el cual no es visible para el ojo humano. Otro ejemplo adicional, corresponde a la hesperidina, un flavonoide extraído de los residuos de cultivos cítricos como la naranja, toronja, mandarina y limón que, a pesar de su relevancia en el área farmacéutica por sus propiedades biológicas (como pro-droga anticancerígena, en neuroprotección, entre otros), no es útil como colorante debido a características físico-químicas similares a las mencionadas para catequinas. Con relación a este último flavonoide, se ha reportado que, en la cáscara de limón, el mayor rendimiento se obtuvo por medio de extracción con solventes con un 87,77 mg/g de extracto mientras que, con la técnica MAE, el

mayor rendimiento se logró con la cáscara de mandarina (57 mg hesperidina/g de extracto). Finalmente (Londoño Londoño, s. f.) en este estudio menciona que 40,25 mg de fracción de flavonoide/g de cáscara es correspondiente a la estimación de la extracción de diferentes pigmentos encontrados en la cáscara de estos cítricos incluyendo la hesperidina.

Otros residuos derivados de frutas y verduras, como la manzana, pera, naranja, melocotón, cereza, cebolla, coliflor, cáscaras de papa y zanahoria, también se utilizan con otros fines tales como fuentes de suplementos dietarios como fibra.

Entre otras aplicaciones de los flavonoides refiere al área médica clínica. Por ejemplo, “La mezcla micronizada de flavonoides Daflón®, que contiene 90% de diosmina y 10% de hesperidina es utilizada como un potente medicamento flebotónico para el tratamiento de la insuficiencia venosa crónica” (Lyseng-Williamson & Perry, 2003). Además, son numerosos los productos fitoterapéuticos y alimentos funcionales comercializados en el mundo que contienen, totalmente o como parte de sus principios activos, una fracción flavonoide, comúnmente llamada bioflavonoides e incluso denominada genéricamente como vitamina P, (Londoño Londoño, s. f.).

En estudios relacionados por Vankar & Shukla (2019), algunos investigadores informaron sobre la optimización de las condiciones de teñido y las propiedades de solidez de la tela de algodón teñida con bixina, un carotenoide proveniente del achiote, cuando se usa con mordientes y con algunas sales inorgánicas a pH alcalino. Ellos encontraron que existe un margen para mejorar las propiedades de solidez si se ajustan los medios para hacer que el tinte sea más estable y, por lo tanto, resistente a la decoloración. Las semillas de achiote se utilizaron para teñir fibras de nailon

y poliéster. Observaron que, aunque ambas fibras tienen buena afinidad por este tinte, el mecanismo de adsorción del tinte, como lo indican las isotermas, es diferente en cada caso. Observaron que el tinte tiene una solidez moderada al lavado pero deficiente a la luz. (Vankar & Shukla., 2019).

3. Conclusiones

Con base en el análisis y recopilación de información relacionada con los objetivos de la presente investigación, permitió visualizar el potencial uso que pueden llegar a tener los residuos agroindustriales como materia prima para el aislamiento de pigmentos naturales, particularmente carotenoides y flavonoides, de interés para la industria.

Como primera medida, se identificó a los residuos agroindustriales derivados de cultivos frutales como la principal fuente aprovechable para la extracción de pigmentos naturales; por ejemplo, los residuos de papaya y guayaba (semillas y epicarpio) se pueden considerar como fuentes importantes de carotenoides al presentar un contenido de 5,88 y 4,20 mg/100g de residuo, respectivamente, de acuerdo con el trabajo desarrollado por Solarte et al. (2014). Por otra parte, los compuestos tipo flavonoides también representan una clase importante de metabolitos, principalmente por su bioactividad como agentes quimioterapéuticos y actividad antioxidante. Aquí, los residuos agroindustriales derivados de la caña de azúcar, palma de aceite, caña panelera, algodón, entre otros, cobran importancia para el aislamiento de flavonoides con actividad

biológica, pero, en aplicaciones como pigmentos naturales para la industria de alimentos o textil, no son de gran relevancia.

Es de gran importancia, a nivel ambiental y económico, poder desarrollar técnicas de extracción más eficientes y verdes, que permitan el aislamiento de pigmentos naturales de calidad, a partir de residuos vegetales, convirtiéndose así, en una respuesta de gran potencial como alternativa para el tratamiento de los residuos agroindustriales, que generan tanta contaminación ambiental por su mala disposición final.

Adicionalmente, si estos pigmentos vegetales, llegaran a reemplazar a los colorantes sintéticos, serían una respuesta a los problemas de contaminación ambiental en las fuentes hídricas, donde estos compuestos sintéticos son cada vez más recurrentes debido a los vertimientos de aguas residuales industriales, pese a la legislación que regula estos vertimientos y a los esfuerzos por encontrar tratamientos de aguas residuales adecuados para degradar estos contaminantes que ya son persistentes.

Las industrias que presentan un mayor interés por los pigmentos naturales tipo carotenoides y flavonoides son las industrias de alimentos, la farmacéutica y cosmética, ya que además de dar color a los productos, tienen beneficios adicionales como agentes antioxidantes, para alimentos funcionales, repelencia de insectos, entre otras, dándoles mayor aplicabilidad.

La aplicación de estos pigmentos vegetales, como colorantes y tintes industriales, son de gran interés en el aspecto ambiental, ya que, al reemplazar los colorantes sintéticos, se lograría

reducir y mitigar en gran parte el problema de la contaminación de las fuentes hídricas con estos compuestos sintéticos que son tan difíciles de degradar, llegando a ser contaminantes que en la actualidad no se han logrado eliminar con los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Es importante resaltar que, la investigación en nuevas líneas enfocadas en el mejoramiento y desarrollo de procesos agroindustriales que permitan la extracción y estabilización de los pigmentos tipo carotenoides y flavonoides, serán de gran importancia para aplicaciones en la industria.

Aunque actualmente los residuos agroindustriales son de gran interés para diferentes propósitos, en cuanto a colorantes refiere, todavía es necesario continuar en la investigación para mejorar los procesos de extracción que permitan mayor rendimiento de los pigmentos naturales, evitando degradabilidad durante el proceso de preparación de muestra, utilizando tecnologías de química verde, que sean lo suficientemente económicos y le confieran mayor seguridad como aditivos en alimentos. Además, es necesario diseñar metodologías eficientes en la purificación de compuestos bioactivos para su uso como ingredientes alimentarios naturales, es decir, optimizar procesos que permitan eliminar cualquier tipo de toxinas naturales y/o antropogénicas que puedan estar presentes en la materia prima (Schieber, Andreas; Saldaña, Marleny D.A., 2009).

La mayor aplicabilidad de estos pigmentos vegetales es en la industria alimentaria, la cual se centra en la actualidad, en la búsqueda de compuestos naturales adecuados que puedan sustituir a los aditivos alimentarios sintéticos (conservantes, antioxidantes, colorantes, aromas).

Los pigmentos vegetales más utilizados en la industria alimentaria son el licopeno y el β -caroteno, por su efecto antioxidante y colorante. Estos compuestos, junto con el fitoeno, fitoflueno, luteína, ξ -caroteno, γ -caroteno y neurosporeno, se encuentran en la piel de tomate en cantidades considerables.

Desde el punto de vista económico los colorantes naturales tienen ciertas desventajas comparando con la contraparte sintética los cuales cubren el 90% de la demanda global. Entre las desventajas más notorias están su costo más elevado, la menor reproducibilidad en los diferentes lotes, ya que depende de la calidad del material biológico del cual provienen, casi siempre imprimen olores y sabores (ésta sin embargo es una ventaja si se utilizan como condimentos y colorantes simultáneamente para ciertos alimentos), tienen menor poder tintóreo, son poco estables a la luz, calor y cambios de pH y su uso no es general para todos los preparados alimentarios, farmacéuticos o cosméticos, Marcano, D. (2018).

4. Recomendaciones

Se recomienda explorar otro tipo de residuos vegetales que puedan ser potenciales fuentes de pigmentos naturales, ya que los residuos generados por los cultivos de tipo agroindustrial no son grandes potenciales como fuentes de estos colorantes.

Promover proyectos de investigación enfocados al desarrollo de tecnologías verdes para la extracción de pigmentos vegetales que mantengan sus propiedades de calidad evitando la degradación de estos, permitiendo así, una mayor estabilidad del pigmento extraído en sus futuras aplicaciones.

Referencias Bibliográficas

- Amado, I. R., Franco, D., Sánchez, M., Zapata, C., & Vázquez, J. A. (2014). Optimisation of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology. *Food Chemistry*, 165, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.103>
- Asl, A. H., & Khajenoori, M. (2013). Subcritical Water Extraction. *Mass Transfer - Advances in Sustainable Energy and Environment Oriented Numerical Modeling*. <https://doi.org/10.5772/54993>
- Azabou, S., Abid, Y., Sebi, H., Felfoul, I., Gargouri, A., & Attia, H. (2016). Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.064>
- Ballard, T. S., Mallikarjunan, P., Zhou, K., & O'Keefe, S. (2010). Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins. *Food Chemistry*, 120(4), 1185-1192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.063>
- Barreto, G. P. M., Fabi, J. P., De Rosso, V. V., Cordenunsi, B. R., Lajolo, F. M., do Nascimento, J. R. O., & Mercadante, A. Z. (2011). Influence of ethylene on carotenoid biosynthesis during papaya postharvesting ripening. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4), 620-624. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.02.006>
- Benítez, V., Mollá, E., Martín-Cabrejas, M. A., Aguilera, Y., López-Andréu, F. J., Cools, K., Terry, L. A., & Esteban, R. M. (2011). Characterization of Industrial Onion Wastes (*Allium*

- cepa L.): Dietary Fibre and Bioactive Compounds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(1), 48-57. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0212-x>
- Carabias-Martínez, R., Rodríguez-Gonzalo, E., Revilla-Ruiz, P., & Hernández-Méndez, J. (2005). Pressurized liquid extraction in the analysis of food and biological samples. *Journal of Chromatography A*, 1089(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.06.072>
- Carotenoid Database*. (s. f.). Recuperado 5 de diciembre de 2020, de <http://carotenoiddb.jp/>
- Chavarri, M. (2017). *FUNCTIONAL FOOD - IMPROVE HEALTH THROUGH ADEQUATE FOOD*. <https://doi.org/10.5772/66263>
- Chuyen, H. V., Nguyen, M. H., Roach, P. D., Golding, J. B., & Parks, S. E. (2018). Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction for recovering carotenoids from Gac peel and their effects on antioxidant capacity of the extracts. *Food Science & Nutrition*, 6(1), 189-196. <https://doi.org/10.1002/fsn3.546>
- Cornejo-Figueroa, M. H., Cartagena-Cutipa, R., & Alcázar-Alay, S. C. (2020). Tecnologías ecoeficientes para la valoración de residuos agroindustriales en frutas y hortalizas. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(01), 294-311. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i01.300>
- Cunico, L. P., & Turner, C. (2017). Chapter 7—Supercritical Fluids and Gas-Expanded Liquids. En F. Pena-Pereira & M. Tobiszewski (Eds.), *The Application of Green Solvents in Separation Processes* (pp. 155-214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805297-6.00007-3>
- Farías-Campomanes, A. M., Rostagno, M. A., & Meireles, M. A. A. (2013). Production of polyphenol extracts from grape bagasse using supercritical fluids: Yield, extract

- composition and economic evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 77, 70-78.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.02.006>
- Fazal-ur-Rehman, Adeel, S., Khan Khosa, K., Salman, M., Atta-ul-Haq, & Rafi, S. (2019). Revitalization of Carotenoid-Based Natural Colorants in Applied Field: A Short Review. En M. Shabbir (Ed.), *Textiles and Clothing* (1.^a ed., pp. 45-78). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119526599.ch4>
- Galanakis, Charis M.. (2018). *Polyphenols - Properties, Recovery, and Applications - 1.3 Structural Diversity and Classification of Polyphenols*. Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011PUCM6/polyphenols-properties/structural-diversity>
- Hao, J., Han, W., Huang, S., Xue, B., & Deng, X. (2002). Microwave-assisted extraction of artemisinin from *Artemisia annua* L. *Separation and Purification Technology*, 28(3), 191-196. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(02\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(02)00043-6)
- Hueda, M. C. (2017). *Functional Food: Improve Health through Adequate Food*. BoD – Books on Demand.
- Kagliwal, L. D., Patil, S. C., Pol, A. S., Singhal, R. S., & Patravale, V. B. (2011). Separation of bioactives from seabuckthorn seeds by supercritical carbon dioxide extraction methodology through solubility parameter approach. *Separation and Purification Technology*, 80(3), 533-540. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.06.008>
- Kyriakopoulou, K., Papadaki, S., & Krokida, M. (2015). Life cycle analysis of β -carotene extraction techniques. *Journal of Food Engineering*, 167, 51-58.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.008>

- Li, X., Chen, F., Li, S., Jia, J., Gu, H., & Yang, L. (2016). An efficient homogenate-microwave-assisted extraction of flavonols and anthocyanins from blackcurrant marc: Optimization using combination of Plackett-Burman design and Box-Behnken design. *Industrial Crops and Products*, 94, 834-847. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.063>
- Lidiana, H., Sulmartiwi, L., & Andriyono, S. (2018). The Effect of maceration period on contents and color brightness of phycoerythrin from *Gracilaria* sp. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 137, 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/137/1/012017>
- Lucchesi, M. E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: Comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography A*, 1043(2), 323-327. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.05.083>
- Luengo, E., Condón-Abanto, S., Condón, S., Álvarez, I., & Raso, J. (2014). Improving the extraction of carotenoids from tomato waste by application of ultrasound under pressure. *Separation and Purification Technology*, 136, 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.008>
- MacDougall, D. B. (s. f.). 7. The Chemistry of Food Colour. En *Colour in Food—Improving Quality*. Woodhead Publishing. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt002TVLS4/colour-in-food-improving/chemistry-food-colour>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>

- Manna, L., Bugnone, C. A., & Banchemo, M. (2015). Valorization of hazelnut, coffee and grape wastes through supercritical fluid extraction of triglycerides and polyphenols. *The Journal of Supercritical Fluids*, 104, 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.06.012>
- Manousaki, A., Jancheva, M., Grigorakis, S., & Makris, D. P. (2016). Extraction of Antioxidant Phenolics from Agri-Food Waste Biomass Using a Newly Designed Glycerol-Based Natural Low-Transition Temperature Mixture: A Comparison with Conventional Eco-Friendly Solvents. *Recycling*, 1(1), 194-204. <https://doi.org/10.3390/recycling1010194>
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química de los Colorantes*. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19390/1/colorantes%20listo%20%2Bisbn.pdf>
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., & Francisco J., H. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 149-155.
- Miękus, N., Iqbal, A., Marszałek, K., Puchalski, C., & Świergiel, A. (2019). Green Chemistry Extractions of Carotenoids from *Daucus carota* L.—Supercritical Carbon Dioxide and Enzyme-Assisted Methods. *Molecules*, 24(23), 4339. <https://doi.org/10.3390/molecules24234339>
- Mojica, L., Berhow, M., & Mejia, E. G. de. (2017). Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. *Food Chemistry*, 229, 628-639. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.124>
- Paleologou, I., Vasiliou, A., Grigorakis, S., & Makris, D. P. (2016). Optimisation of a green ultrasound-assisted extraction process for potato peel (*Solanum tuberosum*) polyphenols using bio-solvents and response surface methodology. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 6(3), 289-299. <https://doi.org/10.1007/s13399-015-0181-7>

- Pereira, T., Barroso, S., Mendes, S., Amaral, R. A., Dias, J. R., Baptista, T., Saraiva, J. A., Alves, N. M., & Gil, M. M. (2020). Optimization of phycobiliprotein pigments extraction from red algae *Gracilaria gracilis* for substitution of synthetic food colorants. *Food Chemistry*, 321, 126688. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126688>
- Reverchon, E., & Marco, I. D. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146-166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020>
- Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240, 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.099>
- Salehi, F. (2020). Physico-chemical properties of fruit and vegetable juices as affected by pulsed electric field: A review. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1036-1050. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1775250>
- Schuur, B., Brouwer, T., Smink, D., & Sprakel, L. M. J. (2019). Green solvents for sustainable separation processes. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 18, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.12.009>
- Selvamuthukumar, M., & Shi, J. (2017). Recent advances in extraction of antioxidants from plant by-products processing industries. *Food Quality and Safety*, 1(1), 61-81. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx004>
- Solarte, O. D. R., Ordoñez-Santos, M. E. A. J. L. E., & Aguilar, P. H. (2014). Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. *Producción + Limpia*, 9(1). <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/654>

- Syafa'atullah, A. Q., Amira, A., Hidayati, S., & Mahfud, M. (2020). Anthocyanin from butterfly pea flowers (*Clitoria ternatea*) by ultrasonic-assisted extraction. *AIP Conference Proceedings*, 2237(1), 020069. <https://doi.org/10.1063/5.0005289>
- Tarazona-Díaz, M., Becerra, N., Piedra, J., & Beltrán, R. (2020). Obtención de un colorante a partir de corteza de maracuyá con el uso de técnicas convencionales de extracción. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1), Article 1. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1303>
- Tsai, S.-B., Yuan, Z., Yu, J., & Liu, X. (s. f.). 6. Utilization of Agro Waste: An Approach for the Administration of Healthy Environment and Public Domain. En *Waste Management Techniques for Improved Environmental and Public Health—Emerging Research and Opportunities*. IGI Global. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0125YYD8/waste-management-techniques/utilization-agro-waste>
- Vinha, A. F., Rodrigues, F., Nunes, M. A., & Oliveira, M. B. P. (2018). Natural pigments and colorants in foods and beverages. En *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications* (pp. 363–391). Elsevier.
- Yara-Varón, E., Selka, A., Fabiano-Tixier, A. S., Balcells, M., Canela-Garayoa, R., Bily, A., Touaibia, M., & Chemat, F. (2016). Solvent from forestry biomass. Pinane a stable terpene derived from pine tree byproducts to substitute n-hexane for the extraction of bioactive compounds. *Green Chem.*, 18(24), 6596-6608. <https://doi.org/10.1039/C6GC02191C>