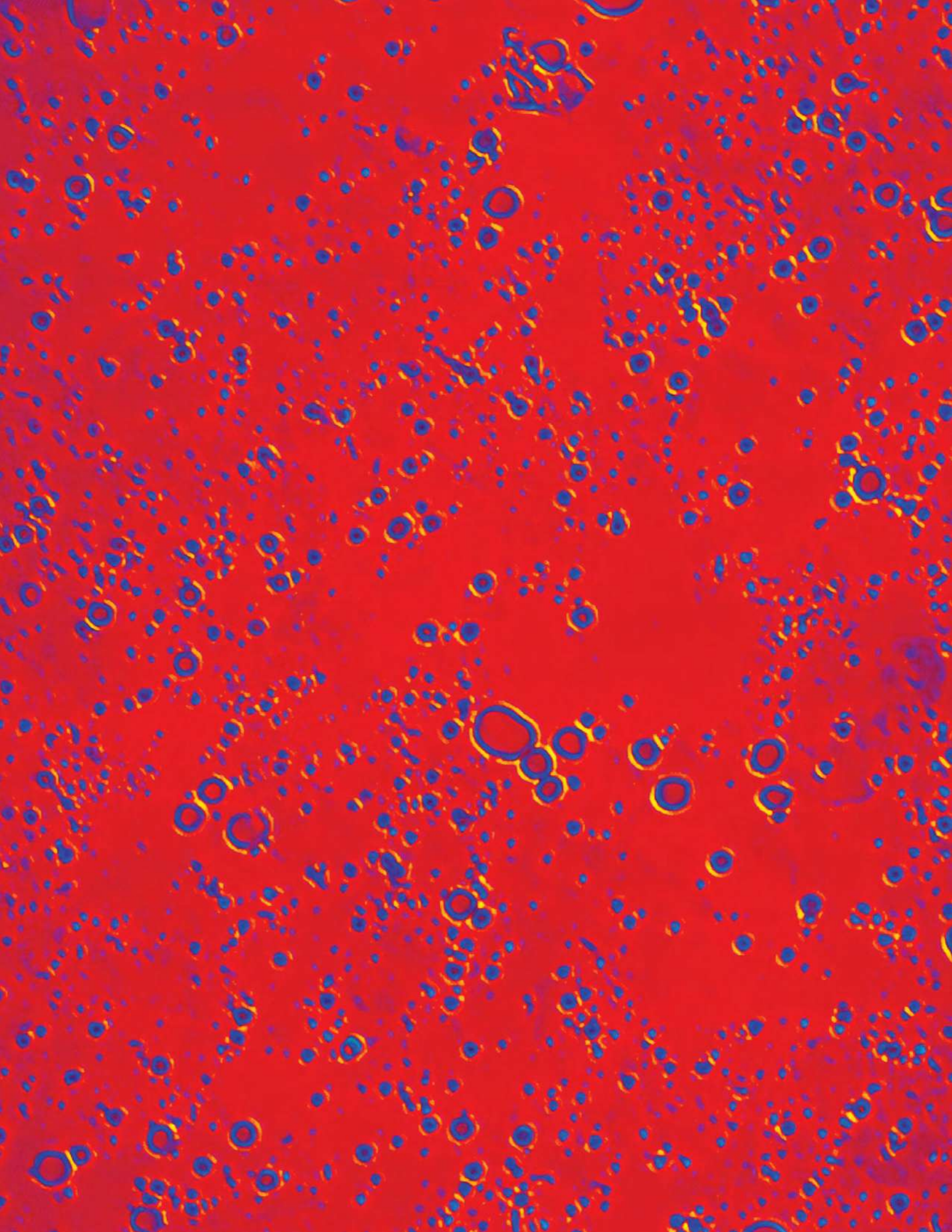
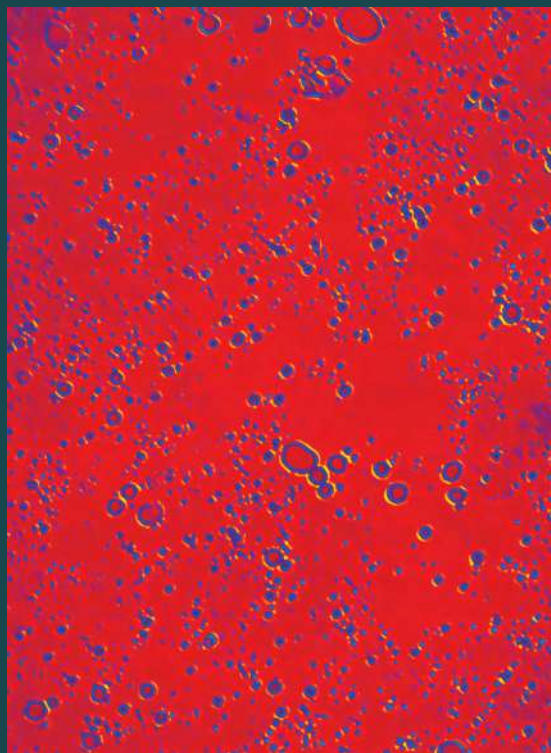






Título

Vitalis O/W

Técnica

Microscopia confocal obtenida a través de transmisión. Colores propios del sistema espectral de colores de la muestra.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Emulsión O/W (aceite en agua) con micogotículas esféricas de extracto oleoso derivado de zanahoria dispersas en agua. Las gotículas grandes y pequeñas se encuentran dispersas, característico de la emulsión O/W.

Capítulo XIV

Valor fitoquímico y funcional de la zanahoria: potencial aprovechamiento de sus residuos para la industria cosmética

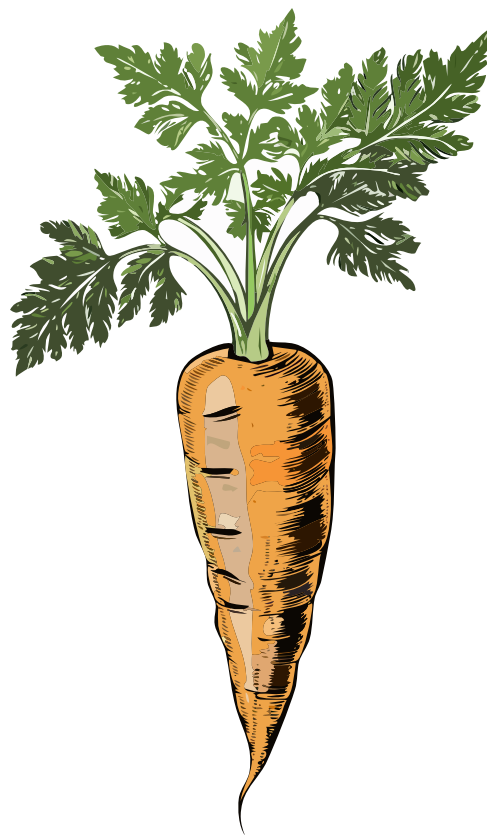
Carlos Mario García
Karent Bravo
Juan Camilo Henao-Rojas
Edison Osorio

Introducción

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es reconocida no solo por su valor nutricional, sino también por su riqueza en compuestos fitoquímicos de interés funcional, entre los que destacan los carotenoides, polifenoles y volátiles monoterpénicos y sesquiterpénicos. Estos metabolitos secundarios no solo contribuyen a su valor como alimento, también presentan propiedades bioactivas con aplicaciones potenciales en las industrias farmacéutica y cosmética, como antioxidante, antiinflamatorios, fotoprotectora y regeneradora de tejidos. Durante el procesamiento y comercialización de zanahoria en fresco o como insumo agroindustrial, se generan grandes volúmenes de residuos subutilizados (principalmente cáscaras, hojas, tallos y raíces

defectuosas). Estos subproductos, sin embargo, conservan una proporción significativa de los compuestos bioactivos presentes en la planta, lo que los convierte en una fuente valiosa para el desarrollo de ingredientes funcionales para formulaciones cosméticas sostenibles. Este capítulo analiza la composición química de la zanahoria, con énfasis en sus metabolitos de interés cosmético, y explora estrategias de valorización de sus residuos dentro del contexto de una economía circular. Asimismo, se examinan experiencias y perspectivas en el ámbito agroindustrial colombiano, con el fin de promover el aprovechamiento integral de esta hortaliza en la generación de productos cosméticos innovadores y ambientalmente responsables.





Residuos alimentarios y alternativas para su aprovechamiento

A nivel global, se estima que cerca del 45 % de los alimentos producidos se pierden o desperdician en diferentes etapas de la cadena de suministro, siendo las frutas y vegetales los productos con mayores índices de pérdida, al representar más del 40 % del desperdicio total (Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAOSTAT], 2023; Cecilia et al., 2019; Du et al., 2018). En regiones como Latinoamérica y Asia, este porcentaje puede alcanzar hasta el 70 %, especialmente en fases tempranas como la producción y el almacenamiento (Ganesh et al., 2022). En Colombia, el panorama es igualmente preocupante: el 62 % de los alimentos desperdiciados corresponde a frutas y verduras, seguido por raíces y tubérculos con un 25 %, siendo la etapa de producción agrícola la más crítica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Esta situación pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de valorización de residuos alimentarios, no solo para reducir el impacto ambiental,

sino también para aprovechar su potencial en sectores emergentes como el cosmético.

El principal destino de estos residuos son los vertederos, en donde se acumulan y se pierde su potencial, a la vez que se convierten en foco de enfermedades, lo que genera un problema ambiental y de salud pública cada vez mayor (Qasim et al., 2020). Además, el desperdicio de alimentos está relacionado con el 7 % de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Sridhar et al., 2021). Aunque se han realizado esfuerzos para combatir el desperdicio de alimentos, estos se han encaminado mayoritariamente a la disminución en la generación de residuos y su correcta disposición.

Si bien las estrategias implementadas, como las campañas para reducir la generación de residuos o aquellas orientadas a su adecuada separación y disposición, han mostrado resultados





prometedores, no son suficientes dado el gran volumen de desechos producidos. Estas razones evidencian la necesidad de generar procesos que impulsen la utilización efectiva de los residuos de frutas y verduras para la obtención de productos de valor agregado, que sean también ecológicos, sostenibles y económicos, y que además involucren a los diferentes eslabones de las cadenas productivas. De esta forma, es fundamental otorgar mayor importancia a los aspectos económicos y al impacto ambiental negativo, específicamente en temas relacionados con la sostenibilidad y la economía circular (Bigdeloo et al., 2021), así como introducir conceptos como biorrefinería, que contribuyan al aprovechamiento de residuos agroindustriales (Yaashikaa et al., 2022).

En el aprovechamiento de residuos se encuentran aplicaciones convencionales y novedosas (figura 14.1). Dentro de las convencionales se registran la fabricación de briquetas

(Srivastava et al., 2014) y biodigestores para generación de energía (Bres et al., 2018), la alimentación animal, compostaje y abonos para el sector agropecuario, procesos de fermentación, digestión anaerobia y enzimática para la generación de biocombustibles y alcoholes (Rodionova et al., 2017), y el uso como adsorbentes en la remoción de contaminantes (Gill et al., 2014). Sin embargo, en los últimos años, han surgido alternativas interesantes a las aplicaciones convencionales, que se presentan como oportunidades prometedoras por la especificidad y el valor agregado de los productos generados. Algunos ejemplos son la extracción de compuestos bioactivos (Espro et al., 2021; Jiménez-Moreno et al., 2020) y producción de nutraceuticos y agentes aromatizantes para el sector farmacéutico/alimentario (Kumar et al., 2017), la elaboración de películas y empaques para el sector de los materiales (Gonçalves de Moura et al., 2017) y la generación de nanopartículas para sectores diversos (Rueda et al., 2020).

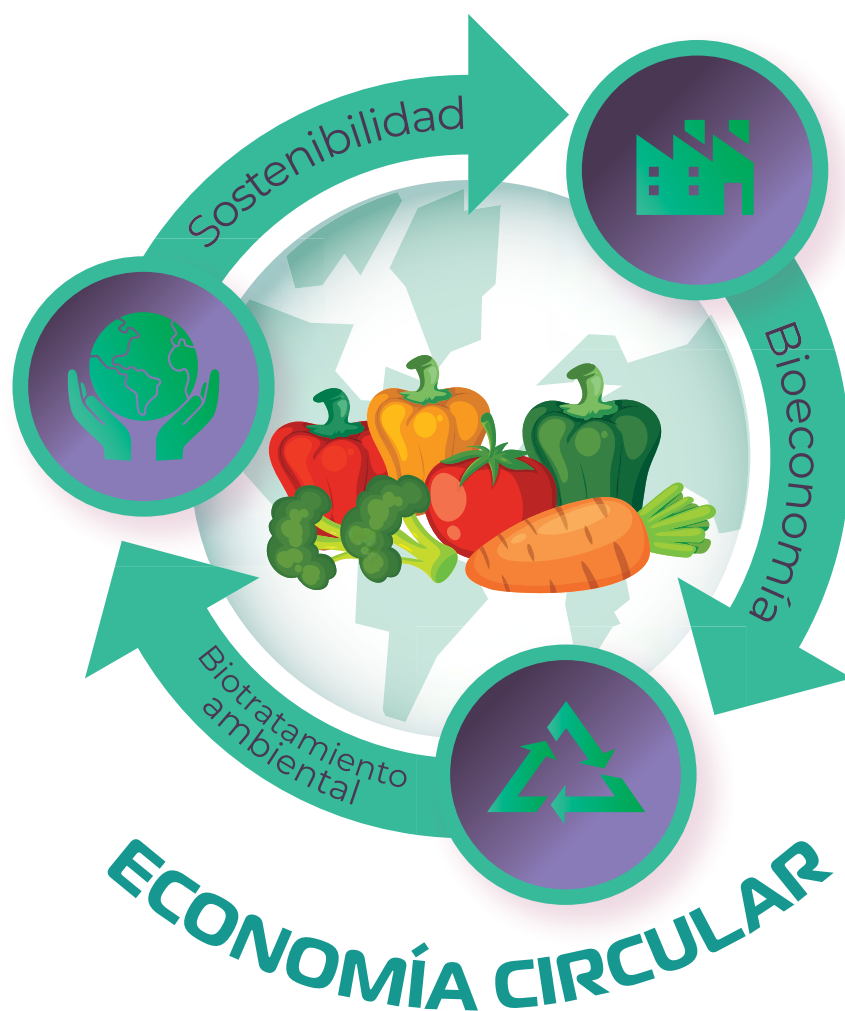


Figura 14.1. Aplicaciones convencionales y emergentes para residuos vegetales.

Fuente: Elaboración propia



**CAROTA
360°**

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

Producción de zanahoria y generación de residuos agroindustriales

La producción mundial de zanahoria para el año 2021 correspondió a 41.666.714 t, con un área cosechada de 1.096.004 ha, lo que la ubica dentro de los vegetales de mayor producción mundial (Statista, 2023) (figura 14.2). Alrededor del 20-30 % de la producción se separa durante el procesamiento primario como material rechazado y desperdicios. Dentro de estos materiales se listan las zanahorias no clasificadas (separadas debido a irregularidades en la forma, tamaño, color o

daño mecánico) y descartes en procesamiento (coronas y puntas generadas durante la clasificación). Este material vegetal se utiliza principalmente para alimentación animal y el resto termina en vertederos. Se estima que 90.000 libras de zanahoria son desechadas en vertederos, liberando aproximadamente 6.988,38 kg de metano equivalente a 174.709,5 kg de dióxido de carbono, lo cual provoca un efecto perjudicial sobre el medio ambiente (Kaur et al., 2022).

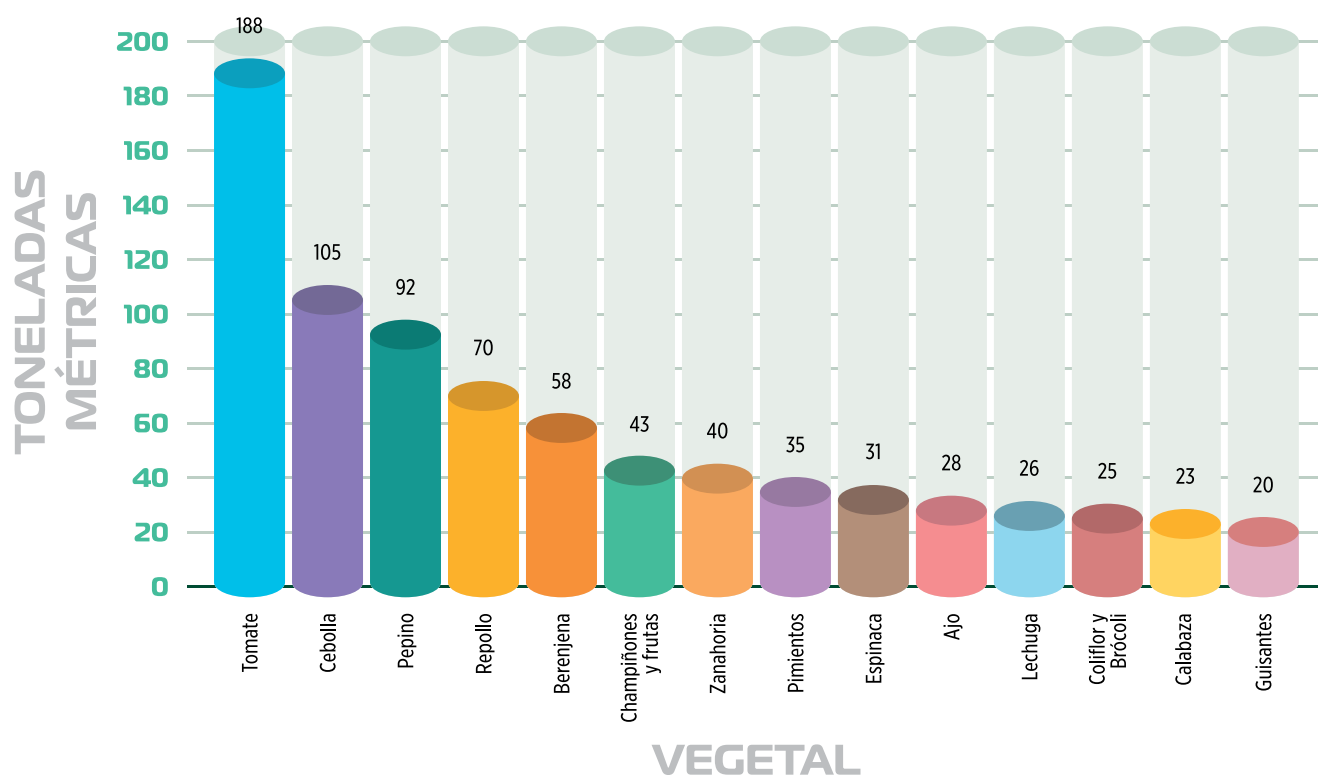


Figura 14.2. Producción mundial de vegetales para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en Statista (2023)

Entre los principales productores de zanahoria a nivel mundial destacan China, Uzbekistán y Estados Unidos (FAOSTAT, 2023). En Colombia, por su parte, la producción promedio en los últimos años se estima en 270.000 t, con un rendimiento aproximado de 28,5 t/ha (figura 14.3). Por departamentos, Cundinamarca, Antioquia, Boyacá y Norte de Santander son los mayores productores nacionales. En cuanto a rendimiento, el departamento con mayor relación de producción por área cultivada es

Antioquia, con valores superiores a 40 t/ha, destacándose municipios como El Santuario y Marinilla (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2023).

En Colombia, la producción de hortalizas está conformada por más de 30 tipos de cultivos, con la mayor área de cosecha para arveja, tomate, cebolla de bulbo, zanahoria, ahuyama y cebolla de rama (UPRA, 2019) (figura 14.4).

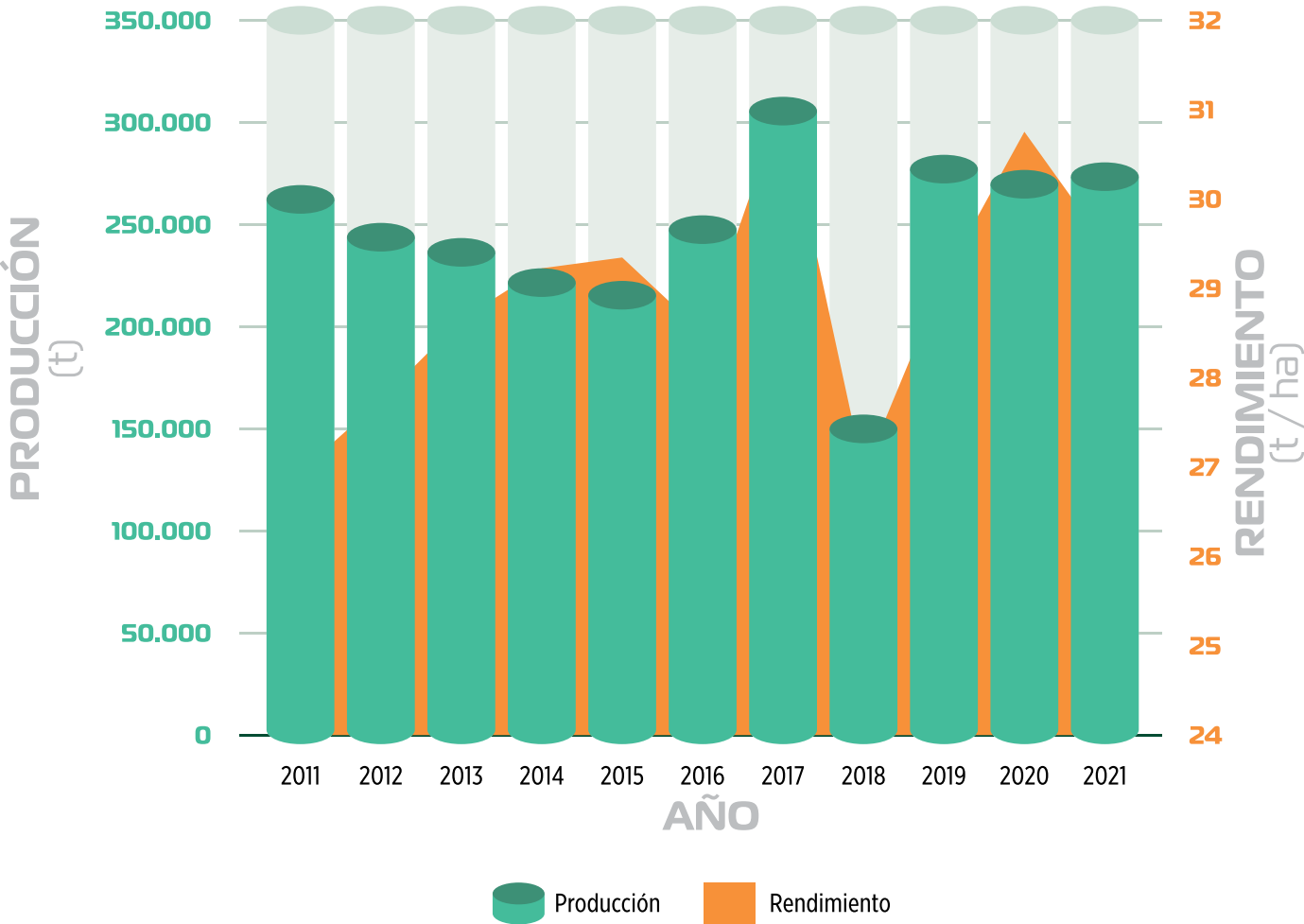


Figura 14.3. Dinámica de producción de zanahoria en Colombia.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de EVA (2023)



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

La cadena productiva de cada uno de estos cultivos puede ser fortalecida en todos sus eslabones, con un enfoque diferencial en el aprovechamiento de residuos, teniendo en cuenta que en la producción es donde se presentan las mayores pérdidas. Específicamente, el caso de la zanahoria ha cobrado interés por la baja tecnificación, producción de baja calidad y altos excedentes (25 a

30 %) (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2021). De esta forma, cada vez cobra más relevancia el desarrollo de proyectos productivos sostenibles enfocados al fortalecimiento de la cadena productiva de zanahoria con aplicaciones promisorias en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Ben-Othman et al., 2020).

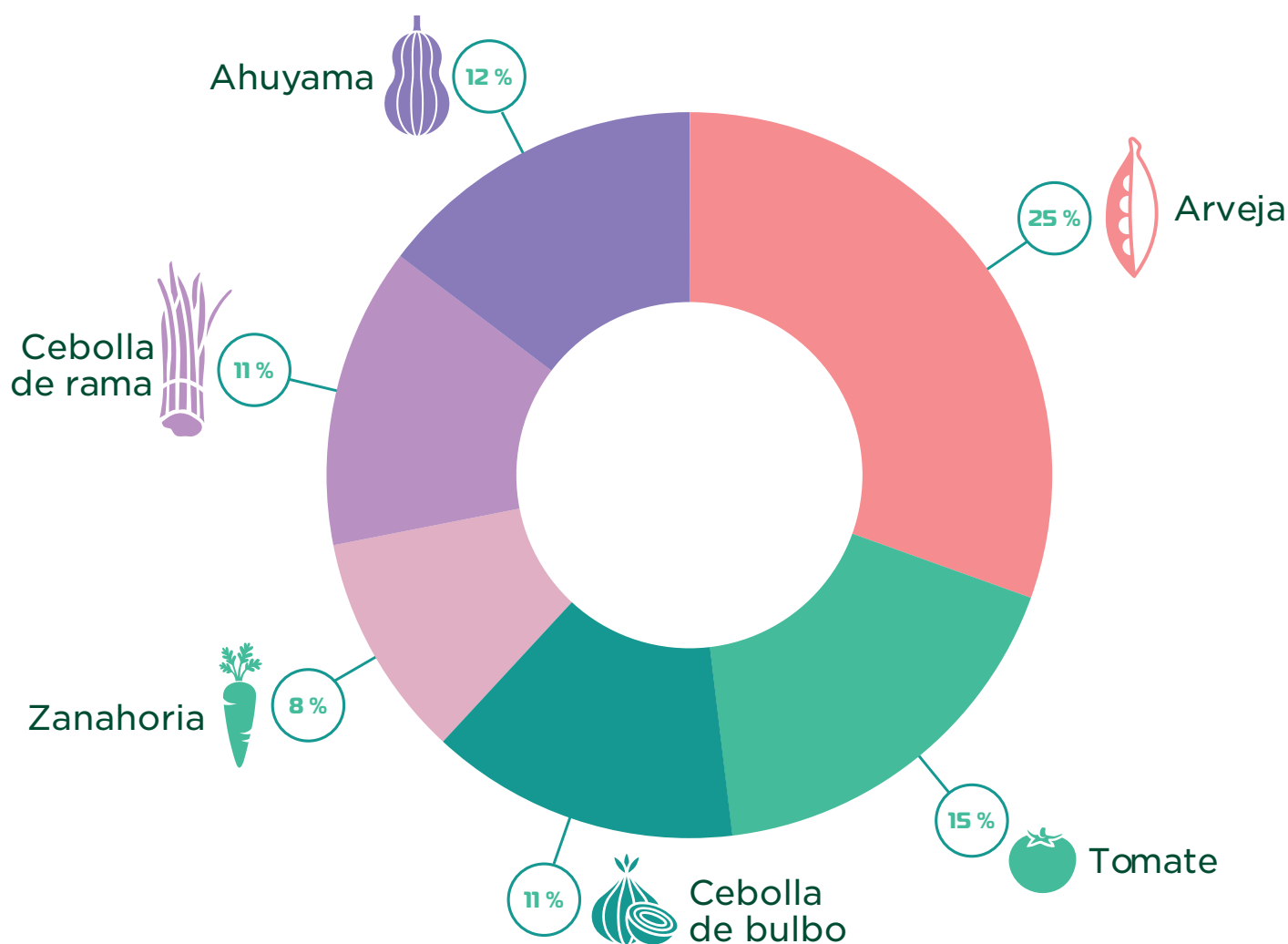


Figura 14.4. Hortalizas con mayor área de cosecha.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de EVA (2019-2023)

Composición química y valor nutricional de la zanahoria

La zanahoria posee una gran variedad de nutrientes y diversidad de compuestos químicos que la convierten en una hortaliza altamente valorada y, en general, en un alimento muy completo. Entre sus nutrientes principales se pueden resaltar macronutrientes como lípidos, carbohidratos, varios aminoácidos y micronutrientes tales como vitaminas (B, C, E y K) y minerales esenciales como potasio, sodio y calcio (Nagraj et al., 2020). La zanahoria también es rica en fibra dietaria, una parte del alimento que no es clasificada como nutriente, pero esencial en una dieta saludable, por lo que cumple funciones importantes en el cuerpo humano. Dentro de los metabolitos secundarios, los carotenoides (provitamina A) y los compuestos fenólicos, tales como flavonoides y antocianinas, son los compuestos más representativos, debido a sus múltiples actividades biológicas. La concentración de estos compuestos bioactivos puede variar dependiendo de su procedencia, estado de maduración, condiciones de cultivo, época de cosecha y la variedad de zanahoria utilizada (Koley et al., 2014; Leja et al., 2013; Sciubba et al., 2020).

Entre los constituyentes bioactivos de la zanahoria, los carotenoides son los más representativos. De hecho, el nombre carotenoide proviene de *carota*, una palabra en latín que significa “zanahoria”, que es la hortaliza de referencia cuando se habla de estos compuestos. Los carotenoides son compuestos tetraterpénicos

responsables de una variedad de colores, como el amarillo, naranja y rojo. Estos pigmentos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, principalmente en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. La mayoría de los carotenoides están compuestos por ocho unidades de isopreno, lo que da lugar a un esqueleto de 40 carbonos.

Generalmente, su estructura consiste en una cadena de polieno con diversos enlaces dobles conjugados y un grupo terminal en ambos extremos de la cadena. El color de los carotenoides está estrechamente relacionado con su estructura, ya que los enlaces dobles de carbono-carbono conjugados interactúan entre sí y, a medida que aumenta el número de conjugaciones, la longitud de onda de la luz absorbida también aumenta, lo que da al compuesto una apariencia más rojiza (Ashokkumar et al., 2023).

Según su estructura química, los carotenoides se pueden dividir en dos categorías principales: carotenos y xantófilas (tabla 14.1). Los carotenos son carotenoides sin oxígeno, mientras que las xantófilas son derivados oxigenados de los carotenos (Adadi et al., 2018). Algunos carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que también se han clasificado en “carotenoides provitamina A” y “carotenoides no provitamina A” (Maoka, 2020). Los carotenoides que contienen al menos un anillo β sin sustituir en su estructura, junto con un esqueleto insaturado adecuado (cinco enlaces dobles carbono-carbono) tienen la capacidad de ser convertidos en vitamina A (Meléndez-Martínez, 2019), entre los cuales se encuentran el β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina.



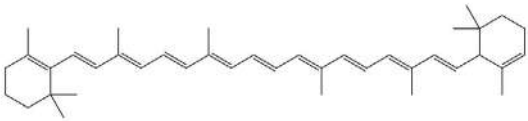
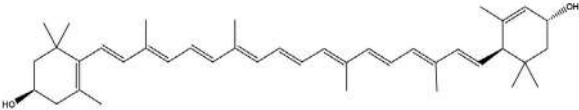
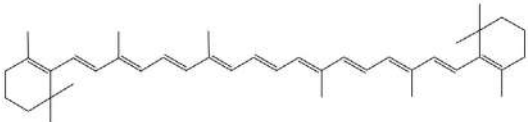
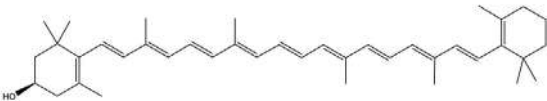
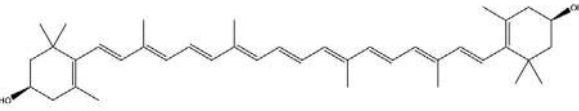
CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

En organismos fotosintéticos, los carotenoides desempeñan un papel esencial en los centros de reacción (complejo de varias proteínas, pigmentos y otros cofactores coordinados para ejecutar las reacciones principales de la fotosíntesis), ya sea por su participación en la transferencia de energía y/o por su protección contra radiaciones de alta energía y autooxidación generada por

radicales libres (Kirilovsky, 2015). En organismos no fotosintéticos, los carotenoides se han asociado con mecanismos antioxidantes y con la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Kaulmann & Bohn, 2014; Krinsky & Johnson, 2005), ya que los animales no tienen la capacidad de sintetizar carotenoides y deben obtenerlos a través de su alimentación.

Tabla 14.1. Clasificación de carotenoides

Según su estructura	
Carotenos	Xantofilas
 β-Caroteno	 Zeaxantina
 α-caroteno	 Luteína
 Licopeno	 β-criptoxantina

Fuente: Elaboración propia con base en Müller (1997)

Los principales carotenoides en las raíces de zanahoria corresponden al β -caroteno en un 75 %, α -caroteno con un 23 %, luteína con un 1,9 %, y el porcentaje restante corresponde a β -criptoxantina, el licopeno y la zeaxantina (Ahmad et al., 2019). En comparación con otras verduras y hortalizas (tabla 14.2), la zanahoria no está entre las que tienen mayor contenido de carotenoides totales. Sin embargo, dentro de las fuentes de carotenoides provitamina A, es la que tienen mayor concentración (Lessin et al., 1997; Müller, 1997).

Además de carotenoides, otro tipo de metabolitos como los polifenoles se han reportado en zanahoria (Dong et al., 2021). Los compuestos fenólicos son metabolitos conformados principalmente por un anillo aromático que lleva uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos desempeñan un papel crucial frente a diversos tipos de estrés (irradiación ultravioleta, agresión de patógenos, parásitos y depredadores de las plantas) y contribuyen a mejorar las propiedades organolépticas de las plantas (Kumar et al., 2020; Shah & Smith, 2020). Los compuestos fenólicos se pueden dividir en diferentes subgrupos, como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, lignanos, estilbenoides y curcuminoides. Dependiendo de la estruc-

tura y grupos funcionales, así como de las enzimas de los organismos, pueden estar en mayor o menor medida glicosidados, de lo cual dependerá su solubilidad en agua.

De acuerdo con la anterior clasificación, los compuestos fenólicos más representativos de la zanahoria son los flavonoides y los ácidos fenólicos. Entre los flavonoides se pueden mencionar la quercetina, kaempferol y luteolina (figura 14.5) como aquellos con mayor relevancia (Cao et al., 2010; Mian & Mohamed, 2001). Por otro lado, se ha reportado que la zanahoria es rica en ácidos fenólicos como el *p*-hidroxibenzoico, cafeico y clorogénico (figura 14.6) (Gonçalves et al., 2010; Sun et al., 2009). También se destacan las antocianinas, un grupo de pigmentos naturales pertenecientes a la familia de los flavonoides, que se encuentra además en una variedad de frutas, verduras y plantas con colores llamativos que van desde el rojo y el morado hasta el azul. En el caso de la zanahoria, las variedades con colores morados y oscuros son conocidas por su alto contenido en antocianinas, cuyo principal compuesto es la cianidina y, en menor medida, la peonidina y la pelargonidina (figura 14.7) (Algarra et al., 2014; Gao et al., 2022; Kammerer et al., 2004).



Tabla 14.2. Contenido de carotenoides en diferentes vegetales

Vegetal	Carotenoides totales ($\mu\text{g}/100$ g peso fresco)	Provitamina A ($\mu\text{g}/100$ g peso fresco)
Acelga	5.527	2.735
Batata	1.150	1.150
Berenjena	950	50
Brócoli	6.626	1.839
Calabacín	135	27
Calabaza	1.1190	8.700
Cebolla	3	1
Coliflor	6	2
Espinaca	14.684	4.423
Habichuela	413	163
Kale (col rizada)	13.560	4.120
Lechuga	5.610	1.550
Patata	66,5	1,5
Pepino	27	11
Pimentón rojo	13.208	580
Remolacha	0	0
Repollo	56	38
Rúcula	12.620	2.840
Tomate	3.960	320
Zanahoria	10.160	9.650

Fuente: Elaboración propia con base en Vargas-Murga et al. (2016)



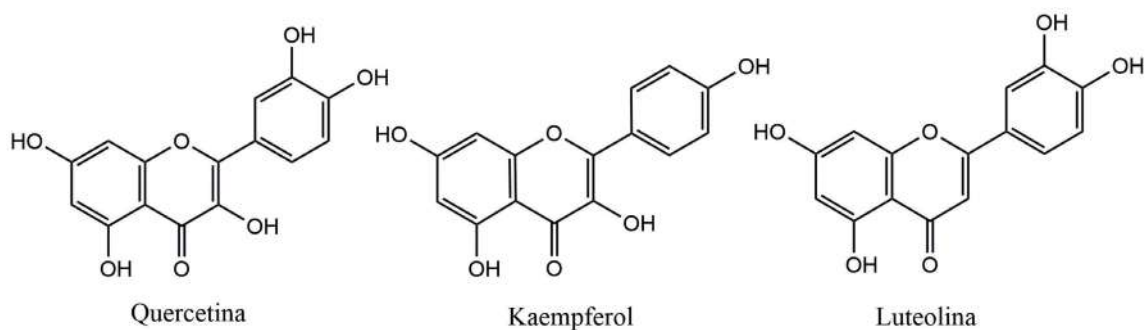


Figura 14.5. Flavonoides comunes en zanahorias.

Fuente: Elaboración propia con base en Cao et al. (2010) y Miean y Mohamed (2001)

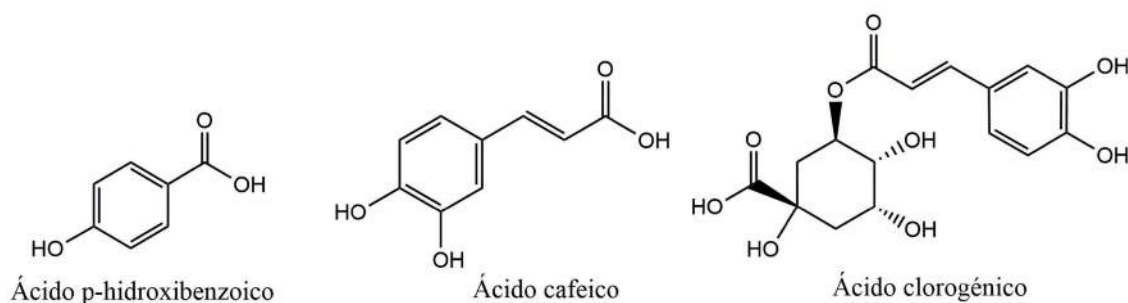


Figura 14.6. Ácidos fenólicos comunes en zanahorias.

Fuente: Elaboración propia con base en Gonçalves et al. (2010) y Sun et al. (2009)



Figura 14.7. Antocianinas comunes en zanahorias.

Fuente: Elaboración propia con base en Algarra et al. (2014), Gao et al. (2022) y Kammerer et al. (2004)

Como se ha mencionado, los compuestos bioactivos presentes en la zanahoria tienen un papel fundamental en la protección contra las especies reactivas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés). Estas se pueden generar

por diferentes factores de estrés, tales como la luz ultravioleta (UV), que tiene la capacidad de generar ROS debido a su alta energía (Hideg et al., 2013; Nawkar et al., 2013; Sharma et al., 2017).



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

De igual manera, se han estudiado los efectos frente a diferentes factores bióticos, y se ha encontrado el incremento en la producción de ciertos metabolitos secundarios como forma de protección. No obstante, la proporción de estos compuestos también puede oscilar significativamente entre las diferentes variedades de zanahoria. Por ejemplo, variedades de zanahoria con colores distintos contienen

concentraciones diferentes de ciertos metabolitos (figura 14.8) y, por ende, presentan contrastes en sus propiedades biológicas (Yusuf et al., 2021, 2023). Los estudios comparativos entre las variedades de zanahorias muestran correlaciones entre la cantidad de carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, actividad antioxidante y el color específico de cada variedad (Leja et al., 2013).



Figura 14.8. Variedades de zanahorias y sus compuestos característicos.

Fuente: Elaboración propia con base en Leja et al. (2013)

En general, se considera que las zanahorias naranjas, rojas y multicolores poseen concentraciones más altas de carotenoides en comparación con las variedades oscuras y aquellas menos coloreadas como las amarillas y blancas. En cuanto a compuestos fenólicos y flavonoides, las variedades de zanahoria moradas y oscuras contienen una concentración superior respecto a las demás (tabla 14.3) (Ar-

scott & Tanumihardjo, 2010). Esta diferencia se ve traducida en una mayor capacidad antioxidante (medida por diferentes métodos: FRAP, CUPRAC, ABTS, ORAC) de las variedades ricas en compuestos fenólicos y flavonoides en comparación con aquellas ricas en carotenoides. En este sentido, las variedades de zanahoria con pigmentación oscura poseen una mayor capacidad antioxidante debido a

su alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, como las antocianinas, responsables del color morado. Por el contrario, las variedades ricas en carotenoides (rojas y na-

ranjas) tienen menor capacidad antioxidante que las oscuras, pero mayor que las amarillas y blancas (Alasalvar et al., 2001; Nicolle et al., 2004; Singh et al., 2018).

Tabla 14.3. Contenido de los atributos biofuncionales presentes en la zanahoria según su ecotipo

Atributo				
Contenido de antocianinas	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Contenido de carotenoides	Bajo	Moderado	Alto	Moderado
Contenido de flavonoides	Moderado	Muy Alto	Alto	Moderado
Contenido de compuestos fenólicos	Alto	Muy Alto (mayor poder antioxidante)	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia
Fotos: Jaison Martínez Saldarriaga

Además de los carotenoides y compuestos fenólicos, también se pueden encontrar otros fitoquímicos en menores concentraciones. Algunos de ellos son interesantes debido a sus propiedades organolépticas y posibles usos industriales. Por ejemplo, los sabores y olores característicos a “zanahoria fresca” en las raíces y hojas se han atribuido a los compuestos volátiles monoterpenos y sesquiterpenos (Muchlinski et al., 2020). Estos terpenos generalmente imparten un sabor

áspero o amargo, y se ha observado que estos atributos de sabor aumentan proporcionalmente con el contenido de terpenos en los diferentes genotipos de zanahoria. El terpinoleno parece ser el monoterpeno volátil más abundante, seguido del mirceno y el sesquiterpeno cariofileno (figura 14.9) (Hampel et al., 2005). Sin embargo, el contenido de volátiles totales puede variar entre los diferentes genotipos de zanahoria; de hecho, mediante mapas sensoriales se ha mos-

trado que las zanahorias coloreadas forman grupos distintos dentro de los perfiles sensoriales. Las variedades naranjas se caracterizan por tener intensidades significativamente mayores en sabor y aroma a zanahoria, mientras que ocurre lo contrario con los genotipos amarillos y blancos.

Por su parte, las variedades moradas y oscuras tienen mayor intensidad en sabor dulce y nuez, y el genotipo rojo puede tener intensidades significativamente mayores en aroma y sabor verde, amargor y regusto ardiente (Kretzmann et al., 2008).

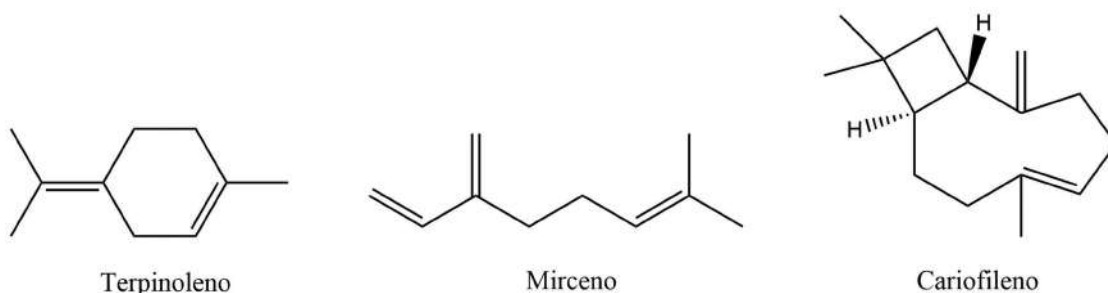


Figura 14.9. Terpenos volátiles comunes en la zanahoria.

Fuente: Elaboración propia con base en Hampel et al. (2005)

Los poliacetilenos son los compuestos menos conocidos de la zanahoria, pero han sido ampliamente estudiados (Busta et al., 2018). Entre estos se encuentran el faltarinol o carotatoxina y el faltarindiol (figura 14.10), alcoholes poliacetilénicos producidos en la zanahoria como mecanismo de respuesta al ataque de hongos (Dawid et al., 2015). Estas toxinas de defensa son las principales responsables del sabor amargo de la zanahoria. Son potentes sensibilizadores de la piel, irritantes y también neurotóxicos en altas concentraciones. Si bien se les ha considerado tradicionalmente

tóxicos para el ser humano, recientemente los poliacetilenos han sido estudiados por poseer efectos anticancerígenos (Alfurayhi et al., 2023), antibióticos (Liu et al., 2024) y antiinflamatorios en neoplasias colorrectales (Kobaek-Larsen et al., 2019). En conclusión, los diferentes perfiles de los metabolitos secundarios de la zanahoria dan cuenta de actividades biológicas muy específicas relacionadas con estos compuestos, lo cual marca una pauta en la búsqueda de beneficios en la salud o posibles aplicaciones que puedan tener las variedades de zanahoria.

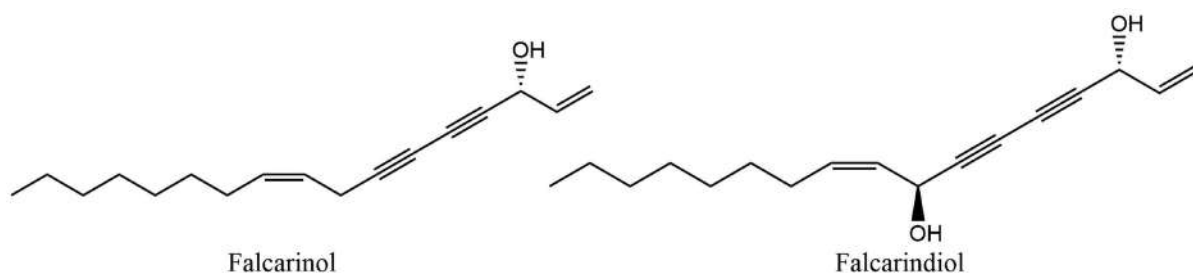


Figura 14.10. Poliacetilenos de zanahoria.

Fuente: Elaboración propia con base en Alfurayhi et al. (2023)

Efectos biológicos y/o farmacológicos de la zanahoria

La presencia de diversos nutrientes y compuestos bioactivos en la zanahoria le proporciona el estatus de una de las hortalizas con mayor diversidad nutricional, y a su vez potenciales beneficios para la salud. Esta popularidad se relaciona con la frase difundida desde la Segunda Guerra Mundial: “*A carrot a day keeps the doctor away!*” (Una zanahoria al día mantiene alejado al doctor), que impulsó su consumo y la posicionó como una raíz altamente valorizada. En términos de macronutrientes, la zanahoria contiene aproximadamente 88 % de agua, 1 % de proteína, 7 % de carbohidratos, 0,2 % de grasa y 3 % de fibra (no considerada como nutriente). Esta última se asocia a una buena salud digestiva, control del peso, regulación de los niveles de azúcar y de la microbiota intestinal (Dong et al., 2020). Los macronutrientes proporcionan la energía y los materiales de construcción para las innumerables sustancias que son esenciales para el crecimiento y la supervivencia de los organismos vivos. En este sentido, las zanahorias no son particularmente ricas en proteínas y lípidos, pero tienen un contenido moderado de carbohidratos, por lo que son una óptima fuente de energía a pesar de no estar entre las verduras con mayor contenido calórico.

A pesar de que la zanahoria contiene un contenido nutricional moderado, en cuanto a micronutrientes como vitaminas y minerales, posee una diversidad y cantidad de compuestos que son muy importantes para la buena salud y son esenciales en una variedad de vías metabólicas básicas que respaldan funciones celulares fundamentales. En particular, su participación en el metabolismo energético, la síntesis de ADN, el transporte de oxígeno y las funciones neuronales son primordiales para la función cerebral y muscular. De esta forma, las vitaminas y minerales se relacionan con efectos cognitivos y psicológicos, incluida la fatiga física y mental (Tardy et al., 2020).

La combinación y diversidad de macronutrientes, micronutrientes y compuestos bioactivos (como carotenoides y compuestos fenólicos) de la zanahoria proporcionan una serie de efectos benéficos relacionados principalmente con la prevención de enfermedades y el mejoramiento de muchas funciones (figura 14.11; tabla 14.4). Así, el consumo de zanahoria se asocia con la prevención de enfermedades coronarias e hipertensión, regulación de azúcar en la sangre y diabetes, mejora de la visión (prevención de enfermedad macular, ceguera nocturna y cataratas), así como con el sistema gastrointestinal, inmunológico y, a nivel de la piel, la prevención de cáncer (Nagraj et al., 2020).



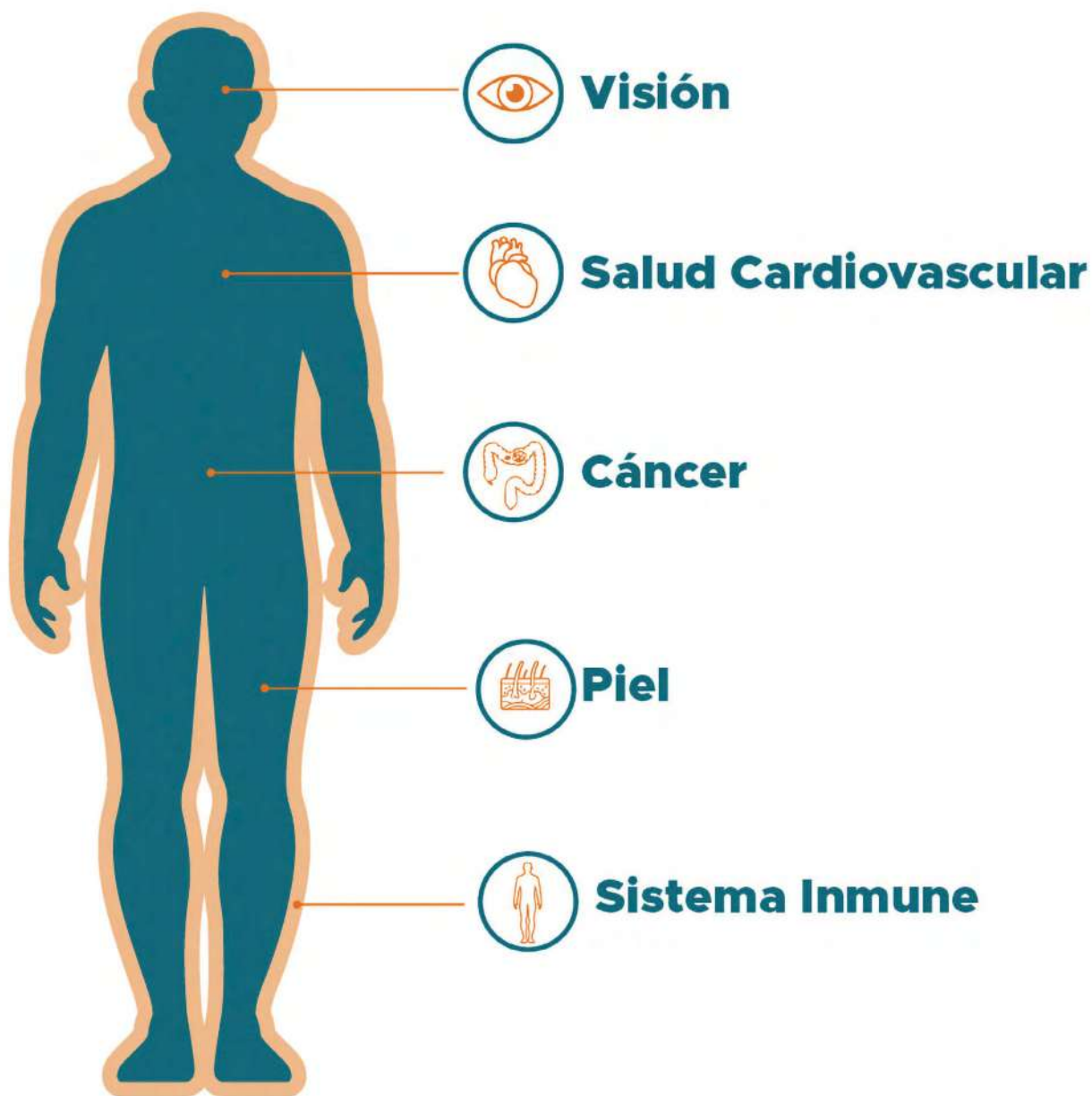


Figura 14.11. Beneficios de la zanahoria para la salud.

Fuente: Elaboración propia



Varios de estos beneficios son atribuidos a los carotenoides y compuestos fenólicos. En el ámbito de la salud y la nutrición, los carotenoides están relacionados con las propiedades antioxidantes, pero también pueden tener efectos a través de otros mecanismos. Por ejemplo, el α y β -caroteno funcionan como provitamina A, mientras que la luteína y la zeaxantina son pigmentos importantes en la mácula del ojo (Landrum & Bone, 2001). Cada vez hay mayor evidencia de los beneficios de la luteína en la reducción de la progresión de enfermedades oculares como la de-

generación macular relacionada con la edad y las cataratas (Mrowicka et al., 2022). Además de los efectos positivos en la salud ocular, hay indicios de que los carotenoides también pueden mejorar la función cognitiva, la salud cardiovascular y pueden ayudar a prevenir ciertos tipos de cáncer. Por ejemplo, el licopeno se ha relacionado con una buena salud del corazón (Costa-Rodrigues et al., 2018; Przybylska & Tokarczyk, 2022). A continuación, se listan las funciones más importantes de los carotenoides (Eggersdorfer & Wyss, 2018; Rowles & Erdman, 2020):

Tabla 14.4. Beneficios saludables asociados a los carotenoides

Carotenoide	Beneficio en la salud	Referencia
α y β -caroteno, β -criptoxantina	Visión, provitamina A	Beltrán-de-Miguel et al. (2015)
Luteína y zeaxantina	Salud ocular (mácula)	Mrowicka et al. (2022)
Luteína y β -caroteno	Cerebro y funciones cognitivas	Walk et al. (2017)
Licopeno	Salud cardiovascular	Cheng et al. (2019)
Licopeno	Prevención del cáncer	Wan et al. (2014)
Luteína y zeaxantina	Nutrición materna e infantil	Giordano & Quadro (2018)
Licopeno y β -caroteno	Piel y protección UV	Heinrich et al. (2003)
Luteína y β -caroteno	Fertilidad	Mínguez-Alarcón et al. (2012)
β -caroteno	Modulación y estimulación del sistema inmunitario	Jonasson et al. (2003)
Licopeno y β -caroteno	Efectos genómicos sobre la transcripción y traducción	Marzocco et al. (2021)
β -criptoxantina	Homeostasis de los huesos	Yamaguchi (2012)

Fuente: Elaboración propia



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Por su parte, la ingesta dietética de los compuestos fenólicos se ha relacionado con impactos favorables, particularmente debido a sus propiedades antioxidantes, que minimizan el riesgo de enfermedades cardiovasculares, y por poseer propiedades antienvjecimiento y anticancerígenas, al funcionar como eliminadores de radicales libres (Wang et al., 2020). Además, estos compuestos contribuyen al mantenimiento de niveles normales de glucosa y colesterol en sangre, así como al funcionamiento normal del sistema nervioso. Los compuestos fenólicos también muestran un potencial efecto benéfico contra la diabetes y la enfermedad de Alzheimer (Gonçalves & Romano, 2017), y exhiben propiedades antimicrobianas contra *Staphylococcus aureus* (Miklaśńska-Majdanik et al., 2018). Las antocianinas, por su parte, poseen efectos favorables para la prevención de la obesidad y la diabetes, la prevención de enfermedades cardiovasculares (Krga & Milenkovic, 2019) y la mejora de las funciones visuales y cerebrales (Tsuda, 2012). Sin embargo, hasta ahora, estos efectos se han articulado con sus propiedades antioxidantes, de manera que las investigaciones se han dirigido a dilucidar los mecanismos moleculares que subyacen a estas actividades biológicas (Li et al., 2017).

Igualmente, muchas de las propiedades atribuidas a la zanahoria están relacionadas con la vitamina

A, debido a su alta concentración de carotenoides provitamina A. Esta vitamina se obtiene nutricionalmente en forma de vitamina A preformada o como carotenoides provitamina A (PAC), término que se utiliza para referirse a los retinoides que tienen actividad biológica similar al retinol. La vitamina A preformada se encuentra en alimentos derivados de animales, en su mayoría en forma de ésteres de retinilo, que también es la forma común en los suplementos. El acetato de retinilo es el éster de retinilo típicamente presente en los suplementos y otros productos destinados al consumo humano. No obstante, en humanos, los principales ésteres de retinilo encontrados son aquellos formados con ácido palmítico, ácido oleico, ácido esteárico y ácido linoleico, ya que se cree que los animales esterifican el retinol solo con grupos acilo de cadena larga (O'Byrne & Blaner, 2013).

La conversión de PAC a retinal en humanos es llevada a cabo por una enzima llamada β -caroteno 15,15'-oxigenasa (BCO1). Esta enzima puede romper el β -caroteno en su doble enlace central para producir dos moléculas de all-trans-retinal. Se ha demostrado que la BCO1 está ampliamente presente en diversos tejidos. El retinal puede ser oxidado de manera irreversible a ácido retinoico por la enzima retinal deshidrogenasa, o puede ser reducido de manera reversible a retinol por una retinal reductasa (figura 14.12) (Bohn et al., 2019).

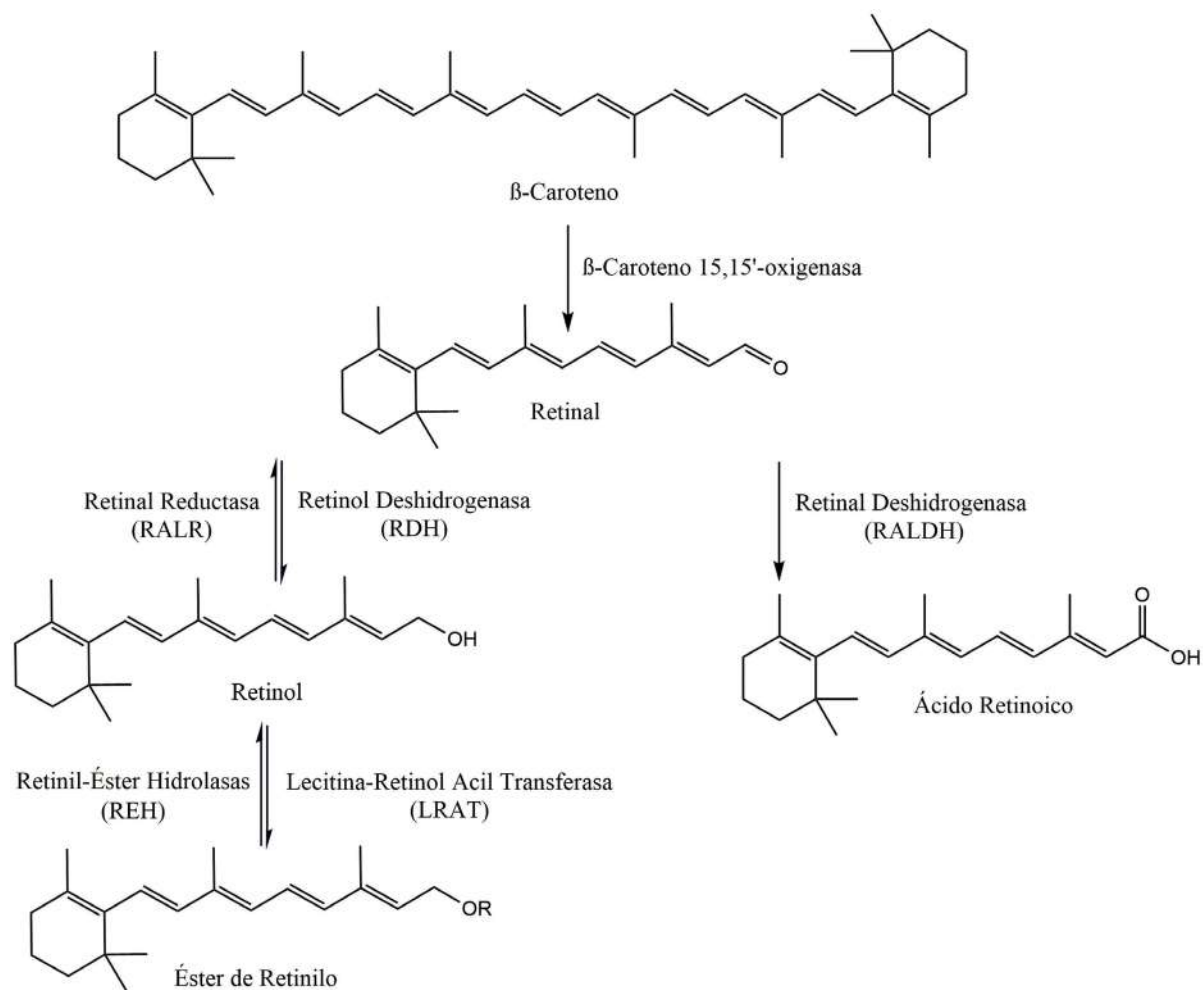


Figura 14.12. Metabolismo de β -caroteno y retinoides.

Fuente: Elaboración propia con base en Bohn et al. (2019)

Tanto la vitamina A (retinol) como sus derivados (denominados en conjunto como retinoides) tienen una amplia gama de funciones biológicas que abarcan desde la creación de patrones durante el desarrollo embrionario, hasta la visión, la regulación energética, el metabolismo, el sistema inmunológico y la respuesta inflamatoria (Uray et al., 2016). Estas propiedades hacen que los retinoides sean empleados para tratar diversas enfermedades. Así, han demostrado su efectivi-

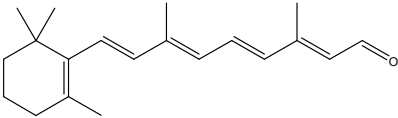
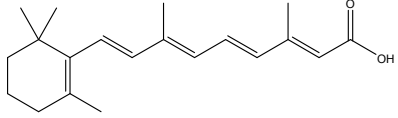
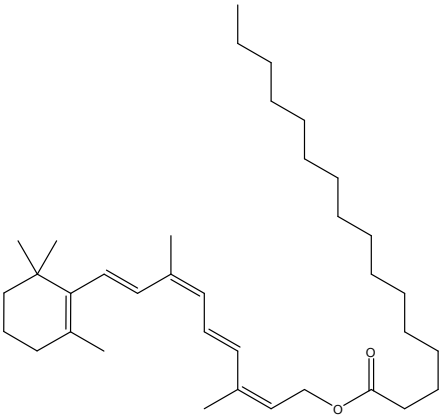
dad en el tratamiento de trastornos de la piel (tabla 14.5), como las afecciones inflamatorias cutáneas, y efectos benéficos en ciertos tipos de cáncer (Bushue & Wan, 2010), en problemas de renovación celular excesiva, en el daño causado por la exposición solar de la piel y en el fotoenvejecimiento (Mukherjee et al., 2006). Entre las afecciones dermatológicas comunes que se tratan con retinoides se encuentran también el acné y la psoriasis (Zasada & Budzisz, 2019).



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

Tabla 14.5. Vitamina A y sus funciones en la piel

Estructura	Mecanismo	Aplicación
Vitamina A	Inhibe la expresión de colagenasa y MMP; estimula la síntesis de colágeno tipo 1 y GAG.	Tratamientos antiarrugas, mejora de la textura, despigmentación, sequedad y líneas de expresión.
 Retinal	Primero se oxida a ácido retinoico mediante retinaldehído deshidrogenasas (p. ej., RALDH2) o algunas enzimas de la familia CYP, y luego estimula la proliferación de células epidérmicas.	Acné, psoriasis, inflamación crónica de los folículos pilosos y las glándulas sebáceas.
 Ácido retinoico	Estimula el proceso de proliferación de las células epidérmicas, acelera la eliminación del sebo que queda en los conductos, reduciendo así la inflamación de las glándulas sebáceas; afloja las conexiones entre las células del estrato córneo e inhibe la queratosis.	Propiedades estabilizadoras, arrugas, textura.
 Palmitato de retinilo	Primero se convierte en retinol, mediante la escisión del enlace éster, y luego en ácido retinoico. Estimula la proliferación de células epidérmicas y regula la producción de sebo.	Antioxidante, arrugas, propiedades estabilizadoras.

Fuente: Elaboración propia con base en Bushue y Wan (2010), Uray et al. (2016) y Zasada y Budzisz (2019)

La vitamina A en su forma de aldehído, el retinal, tiene un papel fundamental en el proceso de visión, específicamente en la transformación de la luz en señales (Choi et al., 2021). Mediante la isomerización del retinal en la retina, se da la conversión de luz en señales eléctricas para que el cerebro pueda interpretarlas como imágenes visuales. El proceso comienza cuando la luz incide en la retina, donde los bastones absorben fotones que activan la rodopsina, una proteína transmembranal compuesta por una parte proteica (opsina) y una no proteica (retinal). En esta proteína se

lleva a cabo la isomerización del 11-*cis*-retinal al all-*trans*-retinal (figura 14.13). Esto desencadena una cascada de eventos bioquímicos que cierran los canales de sodio en las células de los bastones, hiperpolarizando la célula y generando una señal eléctrica que se transmite a través de las células de la retina, pasando por los nervios hasta llegar al cerebro, donde se interpreta como una imagen visual. El retinal isomerizado se recircula y, mediante distintos procesos enzimáticos, regresa a su forma 11-*cis*-retinal y es introducido a un nuevo ciclo de captación de luz (Von Lintig, 2012).

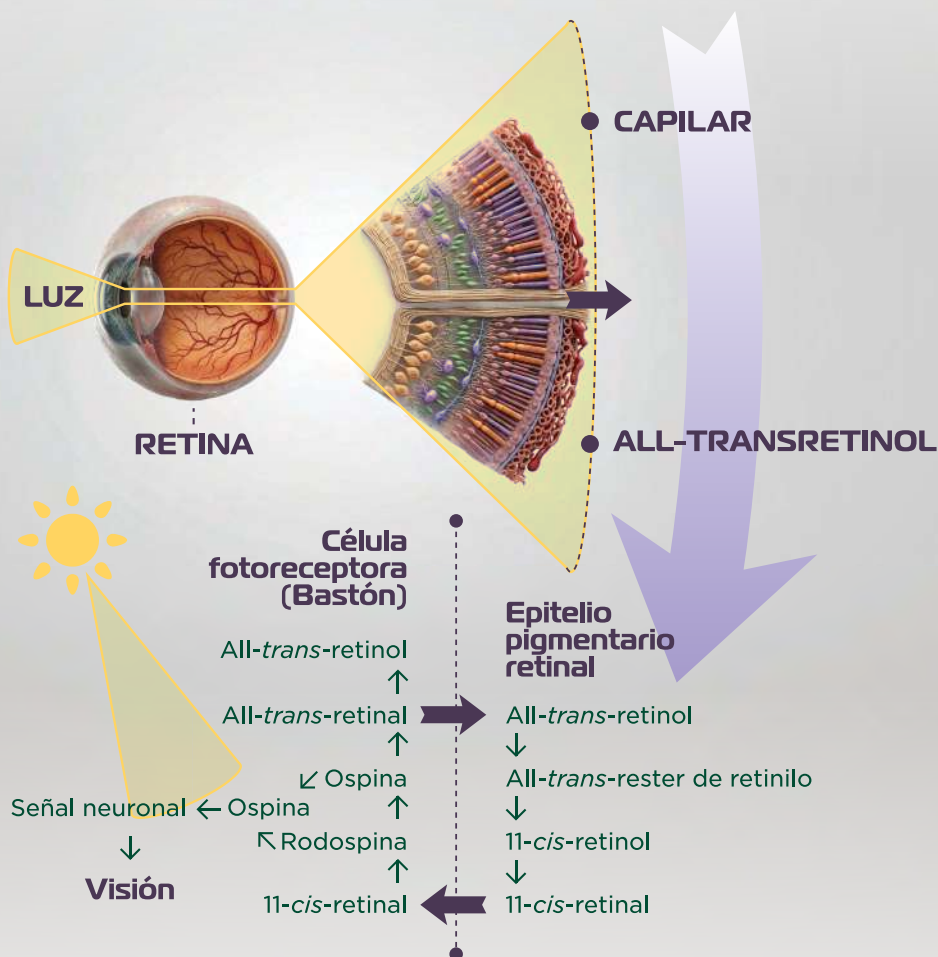


Figura 14.13. Mecanismo de acción del retinal en la captación de luz.

Fuente: Elaboración propia con base en Choi et al. (2021) y Von Lintig (2012)



**CAROTA
360°**

Modelo integral para el desarrollo de
la cadena de valor de zanahoria en el
Oriente departamento de Antioquia

Alternativas para la generación y estabilización de apocarotenoides

Los extractos y aceites de la zanahoria son productos naturales obtenidos como ingredientes sin transformación química. No obstante, se ha documentado el desarrollo de productos mediante diversos tratamientos para la obtención de compuestos de interés cosmético. Un ejemplo son los apocarotenoides, productos de oxidación de los carotenoides que se originan a partir de la ruptura oxidativa de los dobles enlaces presentes en las cadenas poliénicas, mediante procesos metabólicos que dan lugar a productos con una amplia diversidad estructural y funcional (Wang et al., 2021). Dentro de sus funciones se destacan como precursores de fitohormonas, feromonas fúngicas y vitamina A, moléculas señalizadoras implicadas en respuestas al estrés y regulación del crecimiento en las plantas (Moreno et al., 2021). Los organismos pueden producir apocarotenoides y otros derivados resultantes de la oxidación de los carotenoides, ya sea a través de procesos enzimáticos o no enzimáticos. En mamíferos, existen enzimas responsables de catalizar la ruptura excéntrica de los carotenoides provitamina A y no provitamina A. Esta escisión da como resultado la formación de apocarotenoides volátiles y no volátiles. Hasta ahora, la síntesis química ha sido la principal forma de producir estos terpenoides a nivel industrial. Sin embargo, la creciente demanda de procesos más naturales y sostenibles está abriendo interesantes oportunidades para alternativas de producción biológica (Cataldo et al., 2016).

Los carotenoides pueden ser convertidos a apocarotenoides, dependiendo de las enzimas específicas que posean los organismos. Por lo tanto, existe una gran diversidad química de

estos compuestos, pues para cada tipo de carotenoide hay una enzima diferente para un doble enlace específico, con diferentes productos de oxidación para un solo carotenoide. Las enzimas responsables de estos procesos son conocidas como oxigenasas de ruptura de carotenoides (CCO). En el caso del β -caroteno, las dos enzimas principales son la β -caroteno 15,15'-oxigenasa (BCO1) y la β -caroteno 9,10'-oxigenasa (BCO2) (figura 14.14). La primera está presente principalmente en humanos y algunos animales como pollos y conejillos de indias, moscas de la fruta, peces cebrá, algunas bacterias y el hongo *Fusarium fujikuroi* (Liang et al., 2021). Las plantas no pueden sintetizar retinoides al no poseer esta enzima (Kim & Oh, 2010); sin embargo, sí tienen la segunda enzima, a partir de la cual generan como productos β -ionona y β -Apo-10'-carotenal, entre otros (Bandara et al., 2021).

La forma como los organismos obtienen vitamina A es mediante la escisión enzimática a partir de carotenoides provitamina A, o ya sea como vitamina A preformada como los retinoides. No obstante, industrialmente, la vitamina A se obtiene por síntesis química a partir de derivados del petróleo, por lo que las investigaciones se han centrado en la búsqueda de alternativas sostenibles, utilizando biorreactores basados en el mejoramiento de biocatalizadores mediante ingeniería enzimática (Shin et al., 2022). Entre los organismos utilizados para producir retinoides están *Escherichia coli* (Jang et al., 2011, 2015), microorganismos marinos (Kim & Oh, 2010; Long et al., 2021) y *Saccharomyces cerevisiae* (Hu et al., 2022; Lee et al., 2022; Sun et al., 2009).

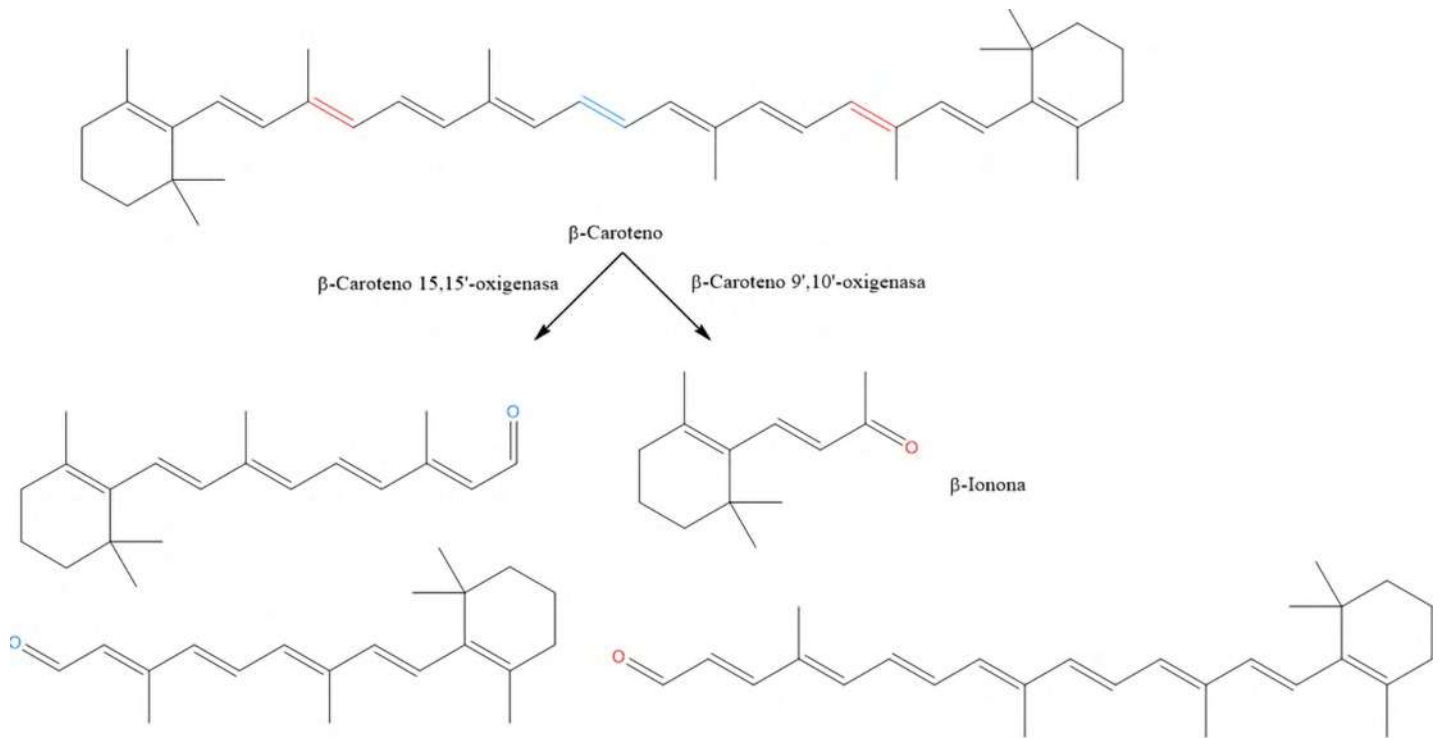


Figura 14.14. Rompimiento enzimático de β-caroteno por CCO.

Fuente: Elaboración propia con base en Bandara et al. (2021)

Si bien los apocarotenoides son productos de la ruptura oxidativa mediante procesos enzimáticos, también pueden obtenerse por tratamientos fisicoquímicos de oxidación. En la degradación térmica de la zanahoria y sus extractos, se ha reportado la aparición de olores frutales y florados (Lyu et al., 2023; Syukri et al., 2021). Por consiguiente, los compuestos responsables de estos aromas son principalmente apocarotenoides volátiles de cadena corta, siendo la β-ionona el más representativo por su valor en la industria de saborizantes y fragancias (Simkin, 2021), que también es importante como inter-

mediario en la síntesis química de β-caroteno y vitamina A. Tanto los procesos enzimáticos como los fisicoquímicos para la transformación de productos de zanahoria en compuestos de mayor valor agregado se deben seguir investigando para lograr optimizarlos y escalarlos industrialmente en un futuro.

La incorporación de materias primas y productos procesados de zanahoria requiere de una matriz adecuada para garantizar la estabilidad y absorción de los compuestos bioactivos,



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

como los carotenoides y compuestos fenólicos, o incluso los apocarotenoides y retinoides producidos a partir de zanahoria. Por ejemplo, algunos retinoides suelen tener problemas de estabilidad y efectos secundarios, como irritación en la piel (Castro et al., 2009). Por tal motivo, se han desarrollado nanotransportadores adecuados para la liberación controlada de compuestos lipofílicos, como carotenoides y retinoides, con el fin de mejorar su eficacia y reducir o incluso eliminar sus efectos secundarios y su inestabilidad fisicoquímica. La encapsulación de carotenoides y retinoides en nanotransportadores lipídicos, como liposomas, nanoemulsiones, etosomas, proniosomas y sistemas de nanopartículas como nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) y transportadores lipídicos nanoestructurados (NLC), ha sido el objetivo de varios estudios en las últimas décadas (Pinto et al., 2019; Silva et al., 2015; Xu et al., 2022). De igual manera, también se ha investigado la encapsulación y compatibilidad de extractos vegetales de zanahoria en liposomas, exosomas y quitosomas, mediante el uso de vehículos como la lecitina o el quitosano. Los resultados de estas investigaciones indican una mejora en la estabilidad fisicoquímica de metabolitos como carotenoides y antocianinas, así como en la conservación de las propiedades antioxidantes durante el tiempo, lo que evidencia su potencial como ingredientes cosméticos funcionales

(Esposto et al., 2022; Guldiken et al., 2018; Kimiz-Gebologlu & Oncel, 2022; Lacatusu et al., 2020; Mondal et al., 2023).

Aplicaciones comerciales y cosméticas

La zanahoria ha sido principalmente utilizada en la industria de alimentos en una gran variedad de preparaciones y productos que van desde rebanadas enlatadas, jugos, concentrados, encurtidos, conservas, hasta panes, pasteles, dulces y halwa (dulce asiático a base de pasta de sésamo) (Sharma et al., 2012). En los últimos 20 años, se ha estudiado el uso de zanahoria en la fabricación de alimentos funcionales gracias a la presencia de fitoquímicos (carotenoides y compuestos fenólicos) y fibra dietaria con aplicaciones nutraceuticas que puedan incorporarse en formulaciones de salchichas, tortillas, purés, entre otros (Jacobo-Velázquez, 2023). En este sentido, las investigaciones en alimentos se centran en la validación de las propiedades farmacológicas de productos que incorporan zanahorias como ingredientes alimentarios funcionales. La tabla 14.6 muestra algunas aplicaciones de la zanahoria en el campo alimentario, nutraceutico y farmacéutico.

Tabla 14.6. Aplicaciones de la zanahoria en nutraceutica

Material	Compuestos	Actividad biológica	Aplicación en alimentos
Hojas	Proteínas, grasas, fibra dietaria, minerales, carotenoides, fenólicos y flavonoides, PUFA/SFA.	Antioxidante, antibacterial, antiinflamatoria, provitamina A.	Pasta, antioxidante natural, aceites esenciales, nutrición humana y animal.
Cáscara	Flavonoides y fenólicos, proteínas, fibra dietaria, pectina, carotenoides, vitamina C, minerales, grasas.	Antioxidante, citotóxico, provitamina A.	Medicina y nutrición, mermeladas y conservas.
Pulpa	Fibra dietaria, proteínas, antocianinas, ácidos fenólicos, minerales, grasas, carotenoides, flavonoides, polifenoles.	Antioxidante, citotóxico, antimicrobiano, provitamina A.	Tortas y panes, fideos y pastas, embutidos, leches y yogures.
Desechos	Carotenoides, proteínas, grasas, carbohidratos y polisacáridos, productos de fermentación y probióticos.	Antioxidante, anticarcinógeno, hipoglucemiante, provitamina A.	Yogures, panes, alimentación, nutraceutico y farmacéutica.

Fuente: Elaboración propia con base en Zhou et al. (2023)

Materias primas derivadas de las semillas de zanahoria se han investigado también como ingredientes promisorios para la industria cosmética. Las propiedades reportadas corresponden a las antioxidantes, fotoprotectoras y todas aquellas relacionadas con una buena salud y cuidado de la piel. De hecho, el aceite esencial de la semilla ha sido de gran interés para la industria farmacéutica, cosmética y nutraceutica, principalmente como fragancia para cosméticos y perfumes, así como un saborizante ali-

mentario. Este aceite es una fuente importante de carotol, un alcohol sesquiterpénico que es el constituyente principal, además posee α -pineno, sabineno, mirceno, limoneno, acetato de geranilo, bisaboleno, óxido de cariofileno y daucol como componentes importantes. A su vez, el aceite esencial se ha reportado por sus actividades analgésicas y antiinflamatorias a nivel del tratamiento de afecciones articulares, y por sus efectos antimicrobianos y antioxidantes (Sieniawska et al., 2016).



Por otro lado, el aceite fijo derivado de las semillas de zanahoria, obtenido mediante la extracción con solventes, es un ingrediente asociado con formulaciones cosméticas para la piel y cabello, debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hidratantes, antienviejimiento y fotoprotectoras (Aksu et al., 2020; Musnaini et al., 2022; Singh et al., 2019). Si bien ambos aceites se utilizan en diversas aplicaciones, la disponibilidad de las semillas no es tan alta y se limita a pocos países, concentrándose en aquellos con gran producción como China, Rusia, Estados Unidos, India y Francia. En el resto del mundo, la materia prima con mayor disponibilidad y utilizada industrialmente sigue siendo la raíz (Kataria et al., 2016), a partir de la cual se obtienen extractos mediante diferentes tecnologías y solventes, dependiendo de los metabolitos y aplicaciones de interés.

La zanahoria seca en polvo, además de ser utilizada como aditivo en suplementos dietarios, se usa como colorante natural (Castro et al., 2019). Así, las zanahorias moradas han sido propuestas como pigmentos alimentarios y para textiles por su contenido de antocianinas, brindando color a diversos productos (Batoool et al., 2019; Iorizzo et al., 2020). En cosméticos, se han empleado como colorantes en formulaciones de labiales (Rasheed et al., 2020; Westfall, 2015).

En el campo de la biotecnología, se han usado cultivos de células o tejidos vegetales de zanahoria para promover la producción de algunos metabolitos de interés (Bapat et al., 2023; Georgiev et al., 2018; Trehan et al., 2017). De esta forma, se ha investigado la biosíntesis de carotenoides y antocianinas en biorreactores de células vegetales para aplicaciones cosméticas y alimentarias, donde se ha avanzado en el

aumento de los rendimientos, pero aún deben superarse las barreras de producción que conduzcan a la viabilidad comercial (Almagro et al., 2022; Bianconi et al., 2020; Deroles, 2008; Hanchinal et al., 2008). También se han aplicado procesos de fermentación para enriquecer algunos compuestos como los carotenoides o producir otros, donde se utiliza la zanahoria como biomasa, mediante el empleo de diferentes microorganismos (Müjdeci, 2022; Ramos-Andrés et al., 2021).

En su aplicación industrial, con frecuencia se realizan procesos de extracción para la obtención de los metabolitos, y por lo general son los carotenoides los compuestos de mayor interés. Debido a su naturaleza apolar, es necesario el uso de solventes orgánicos poco polares que garanticen una buena solubilidad de estos compuestos. Usualmente, solventes como el hexano, el éter de petróleo o el tetrahidrofurano (THF) son altamente recomendables para extraer carotenos no polares o xantófilas esterificadas. Por otro lado, los solventes polares como la acetona, el etanol y el acetato de etilo son los más adecuados para la extracción de carotenoides polares (Hempel et al., 2016). Sin embargo, los carotenoides tienden a agregarse en ambientes hidrofílicos.

Se debe tener en cuenta que la mayoría de los solventes utilizados en la extracción, como el etanol, el hexano y la acetona, presentan riesgos ambientales (afectan el aire, el agua y la persistencia en el medio ambiente), riesgos para la salud (toxicidad crónica y aguda, así como irritación) y riesgos de seguridad (descomposición y explosión). Por eso, el etanol es el solvente preferido en comparación con los demás solventes petroquímicos y solventes halogena-

dos como el diclorometano y el cloroformo, en especial cuando los extractos son destinados para aplicaciones en alimentos, cosméticos y farmacéuticos. También se ha optado por procesos de “extracciones verdes” (Yara-Varón et al., 2017), utilizando productos de fuentes naturales y renovables, como es el caso de algunos aceites vegetales y tecnologías alternativas de extracción como el ultrasonido (Das et al., 2022; Kultys & Kurek, 2022).

La extracción de carotenoides mediante el uso de aceites vegetales presenta ventajas útiles

en aplicaciones industriales en comparación con los métodos tradicionales basados en solventes. Esto se debe a que la fracción de aceite vegetal que contiene una alta concentración de carotenoides puede ser utilizada directamente en formulaciones alimentarias y cosméticas. No obstante, los rendimientos al utilizar aceites vegetales son mucho menores que con solventes tradicionales; además, pueden presentar problemas técnicos debido a la alta viscosidad (Purohit & Gogate, 2015). Dentro de las aplicaciones cosméticas, en la tabla 14.7 se recogen algunas investigaciones llevadas a cabo recientemente:

Tabla 14.7. Investigaciones sobre la zanahoria en cosmética

Aplicación	Resultado	Referencia
Jabón antibacterial de semilla de zanahoria.	El jabón que contenía extracto de zanahoria disminuyó significativamente los niveles bacterianos en comparación con los jabones de flor de <i>Punica granatum</i> (PGF) y lavanda (LV, <i>Lavandula officinalis</i> L.)	Nadaroglu & Baran (2020)
Emulsión cosmética de aceite de semilla de zanahoria.	El estudio evaluó emulsiones cosméticas con diferentes concentraciones de aceite de semilla de zanahoria. Se encontró que las emulsiones eran estables, con potenciales zeta entre -43,2 y -48,3 y un índice de polidispersidad de 0,353 a 0,816. Los resultados mostraron que algunas formulaciones presentaron potente actividad antioxidante con un alto factor de protección solar. Los hallazgos histopatológicos y bioquímicos respaldan el potencial de estas emulsiones como preparaciones rejuvenecedoras para la piel.	Singh et al. (2019)

Continúa en la siguiente página ▼





Labial de semillas de rambután con cúrcuma, paprika y zanahoria.	Los resultados revelaron que la formulación preparada era lo suficientemente buena y cumplía las características generales de los lápices labiales ideales. La grasa de la semilla de rambután aporta suficiente dureza y brillo a las preparaciones.	Dash et al. (2018)
Protector solar a base de amalika, zanahoria, papaya, granada y aloe.	Los resultados mostraron que el valor de SPF para los extractos herbales varió, siendo el más alto para la papaya (2.794), seguido de la zanahoria (2.527), y el más bajo para el <i>Aloe vera</i> (0.349). Los geles formulados mostraron valores de SPF entre 3.537 y 5.293. Después de estudios de estabilidad acelerada, se concluyó que el protector solar formulado mantuvo su eficacia.	Roy et al. (2022)
Crema antienvjecimiento polihierbal	Al combinar extractos de <i>Curcuma longa</i> , <i>Solanum lycopersicum</i> , <i>Carica papaya</i> y aceite de semilla de zanahoria en diversas proporciones, se puede lograr un impacto multipropósito que incluye efectos iluminadores, antiarrugas, antienvjecimiento y de protección solar en la piel. Aunque la productividad de los extractos de una sola planta es baja, su combinación mejora la eficiencia del producto. En este estudio, se crearon mezclas de extractos para potenciar y sinergizar sus propiedades cosméticas en comparación con los extractos individuales. Además, el aceite de semilla de zanahoria resultó útil en la reducción de arrugas y mostró propiedades antienvjecimiento.	Giradkar (2021)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mencionan algunos ingredientes comerciales elaborados a base de diversas materias primas (figura 14.15) obtenidas a partir de zanahoria (prospector)

(tabla 14.8). Estos ingredientes son ampliamente utilizados debido a sus aplicaciones cosméticas, las cuales se resumen en la figura 14.16.

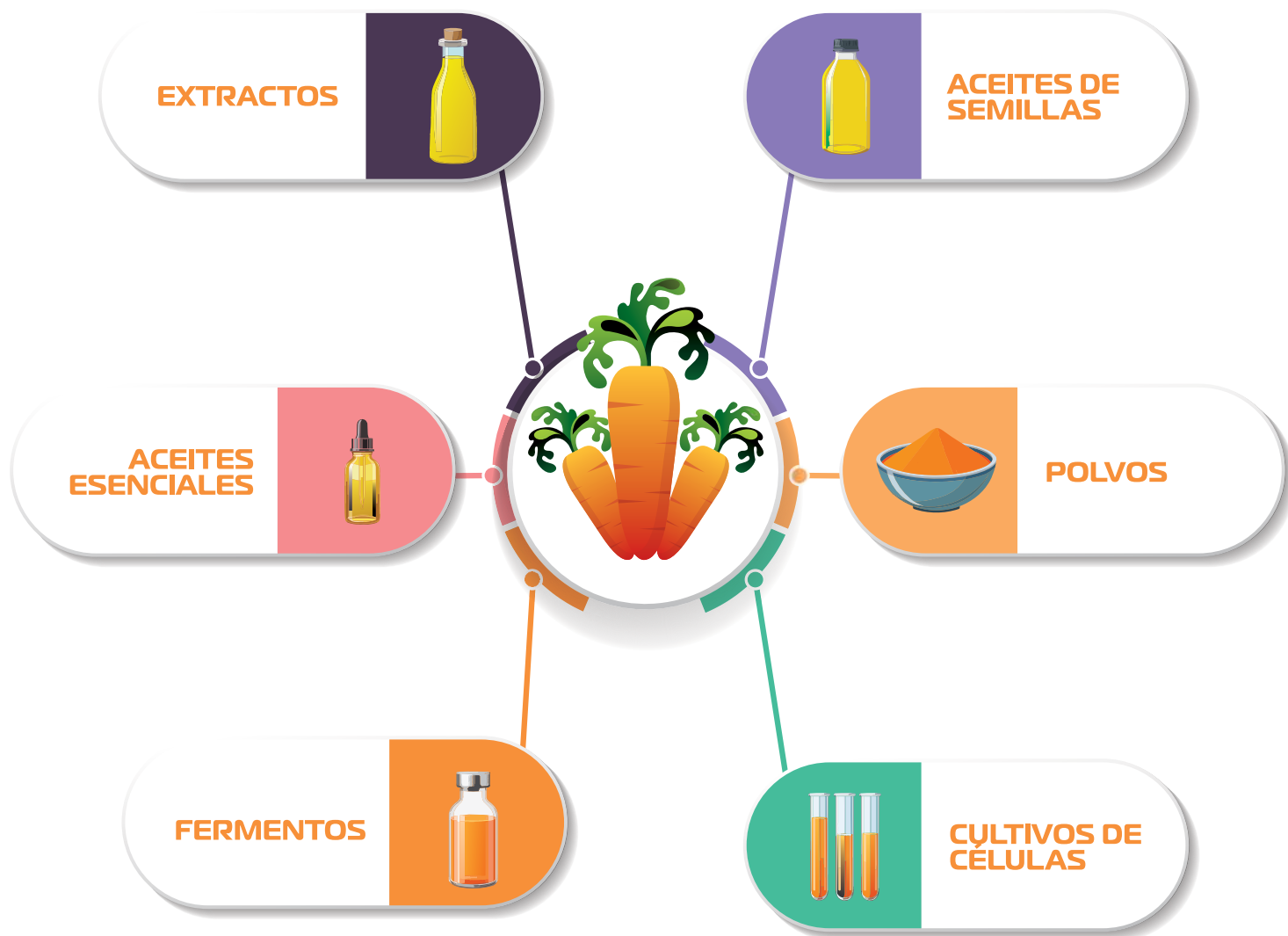


Figura 14.15. Materias primas de zanahoria para uso en cosmética.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.8. Productos cosméticos comerciales a base de zanahoria

Producto	Empresa	Componentes	Uso indicado por el fabricante
Carrot Oil	Provital	Aceite de girasol, aceite de semilla de zanahoria, extracto de zanahoria, palmitato ascorbilo y β -caroteno.	Protector cutáneo. antirradicalario. Mejora el bronceado. Protección de la piel y el cabello frente a procesos oxidativos. Antienvjecimiento. Mejora las arrugas y la rugosidad de la piel madura. Reparador cutáneo y capilar. Repara la función barrera. Emoliente. Suavizante.
Carrot Seed Oil	Botanic Innovations	Aceite de semilla de zanahoria.	Contiene carotenoides y diversas propiedades antioxidantes. Posee esteroides vegetales y ácidos grasos, como el omega-9 que tiene propiedades emolientes. El aceite de semilla de zanahoria se recomienda como ingrediente en cuidado de la piel, para nutrir, tensar, revitalizar y refrescar su apariencia.
Carrot Oil - BCE1072	Biocosmethic	Aceite de girasol y extracto de zanahoria.	Este producto se puede utilizar en aplicaciones cosméticas como preparaciones para el cuerpo y las manos, la cara y el cuello, y otras preparaciones para el cuidado de la piel.
Carrot Water Herbasome®	Lipoid Kosmetik AG	Glicerina, agua de zanahoria, lecitina y tocoferol.	Es una materia prima aprobada por Ecocert y Cosmos. Proporciona a la piel una cantidad máxima de humedad. Herbasome es un producto 100 % natural. Es ideal para su uso en cosmética natural, formulaciones hidratantes, productos de belleza revitalizantes y refrescantes, tónicos y sueros faciales.
Carrot Oil CLR	CLR Chemisches Laboratorium Dr. Kurt Richter GmbH	Aceite de glicina de soya, extracto de zanahoria, β -caroteno y tocoferol.	Contiene carotenoides y otros ingredientes solubles en lipoides de la zanahoria. Se utiliza para la aplicación en piel y el cuero cabelludo seco, agrietado y descamado, y para el cuidado preventivo del cabello.
Fresh Cells™ Carrot PFE	Gattefossé	Agua y extracto de zanahoria.	Suspensión celular acuosa de raíz de zanahoria. Las células de zanahoria son ricas en sales minerales como el potasio y magnesio, e imparten buena actividad antioxidante, debido al contenido de caroteno. Este producto es adecuado para geles, emulsiones, lociones o en el cuidado del sol, de protección o de tratamientos de suavidad.
Phytelene EG 428 Carrot	Greentech	Propilenglicol, agua y extracto de zanahoria.	Uso en leches, lociones, cremas, sueros, geles, champús, acondicionadores, jabones y productos para el baño.

Continúa en la siguiente página ▼



Kopcarotol (Natural Carrot Ferment)	Kumar Organic Products Limited	Filtrado de fermento de zanahoria con bacilos.	Potente antioxidante natural elaborado a partir de la fermentación (biofermento) de zanahorias. Es rico en vitaminas A, B, C y K, minerales y fitonutrientes, y ha demostrado ser incluso más eficaz que los extractos típicos de zanahoria. Es suave, seguro e inofensivo para la piel. Aporta luminosidad, dada su actividad antitirrosinasa, y revitaliza y tonifica, previniendo las arrugas. También puede mejorar las formulaciones para el cuidado del cabello.
LIP-18: Carrot Oil Nanome	NanoVec	Agua, fosfolípidos, aceite de semilla de zanahoria y acetato de tocoferilo.	Compuesto de fosfolípidos purificados no transgénicos. Estos sistemas de administración naturales encapsulan y transportan el aceite de zanahoria a las células objetivo. Efectos antioxidantes antienvjecimiento y calmantes para la piel. El aceite de zanahoria infunde humedad y ayuda a suavizar los tejidos de la piel.
Carrot Callus Stem Cell Extract	Sandream Specialties	Extracto de tejido de células de zanahoria, lecitina, hialuronato de sodio, fenoxietanol y agua.	El extracto de células madre de callos de zanahoria es una solución cremosa de color amarillo claro. El callo de células es una masa de células no diferenciadas y puede rediferenciarse en los tejidos especializados de una planta entera al agregar reguladores de crecimiento adecuados. Se recomienda el uso de células madre de callos de zanahorias en aplicaciones humectantes.
Ancynor CTS	Orginor Chemical S.A.C.	Extracto acuoso de zanahorias negras.	Agua extraída de la zanahoria negra para ayudar a mantener el color en aplicaciones de alimentos y cuidado personal. Es un polvo fino de color rojo oscuro soluble tanto en agua como en alcohol.
Anti-Age Sun Oil with Dedraflow® (SPF 30)	The Innovation Company®	Extracto de aceite de zanahoria.	Aceite solar suave para tomar el sol de forma segura y obtener buenos resultados de bronceado. El aceite se combina con materiales fotoestables, que garantizan su seguridad y estabilidad, además de aportar emolencia y suavidad a la piel. Dedraflow® 5 es un emoliente hipoalergénico y completamente fotoestable, que puede utilizarse como sustituto de la ciclometicona.
Bicohair® UP	Bicosome SL	Agua, fosfatidilcolina, cloruro de pantenil hidroxipropil estearidamonio, extracto de zanahoria y β-caroteno.	Bicohair® Anti-Urban Pollution es un sistema de transporte capilar que se adhiere a la cutícula del cabello actuando como un escudo protector que repele las partículas contaminantes. Protege las proteínas del cabello de la degradación y disminuye la pérdida de color causada por la exposición a los rayos UV y los lavados diarios. Está indicado en champús, acondicionadores, mascarillas capilares y fórmulas sin aclarado ni sulfatos. Se adhiere a la cutícula del cabello mediante interacciones electrostáticas. Las estructuras de vesículas cubren el tallo del cabello y repelen las partículas contaminantes, mientras que las estructuras de discos penetran a través de los espacios intercuticulares, transportando moléculas de caroteno a la corteza, lo que previene la oxidación de los pigmentos y la pérdida de color causada por la exposición a los rayos UV y los lavados diarios.

Fuente: Elaboración propia con base en Ulprospector (2023)



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia



Figura 14.16. Usos de la zanahoria en cosmética.

Fuente: Elaboración propia con base en Ulprospecto (2023)

Para no olvidar...



- » La zanahoria es mucho más que alimento: es un laboratorio de compuestos bioactivos, pues contiene carotenoides, flavonoides, antocianinas, terpenos y poliacetilenos, con propiedades antioxidantes, regenerativas, fotoprotectoras y antiinflamatorias.
- » Los llamados residuos pueden ser el ingrediente activo del mañana. Las cáscaras, hojas, raíces irregulares y tallos de zanahoria conservan compuestos funcionales valiosos que pueden usarse en cosmética y nutracéutica.
- » La industria cosmética explora ingredientes naturales y sostenibles, por lo que los residuos de zanahoria pueden transformarse en cremas, filtros solares, labiales y tratamientos antienviejecimiento.
- » Las zanahorias moradas y oscuras son más ricas en antioxidantes y tienen mayores niveles de antocianinas y flavonoides que las naranjas o amarillas.
- » La zanahoria ya está en productos comerciales. En la actualidad existen aceites, extractos, fermentos, aguas celulares y nanopartículas de zanahoria en productos cosméticos certificados y en mercados globales.



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente departamento de Antioquia

Conclusiones y perspectivas de los autores

- Las aplicaciones de la zanahoria, más allá de su uso en alimentos, han venido en aumento a la par que el desarrollo de tecnologías alternativas y las tendencias actuales del consumo de productos más naturales, así como de procesos sostenibles. A partir de estas necesidades, han surgido nuevas estrategias de aprovechamiento de las diferentes partes de la zanahoria, sus variedades y desechos como una fuente prometedora de una amplia variedad de compuestos bioactivos de alto interés industrial.
- Las investigaciones, proyectos y productos comerciales generados dan cuenta del éxito de la zanahoria como materia prima de gran proyección, debido a la versatilidad de sus aplicaciones, que abarcan un campo cada vez más amplio. En este sentido, la dirección en la que se encamina la zanahoria debe estar enfocada al desarrollo, optimización y sostenibilidad de los procesos productivos, así como a la generación de productos con alta especificidad con un enfoque diferencial respecto a los existentes.
- La investigación ha sido base fundamental para la generación de valor agregado y es la herramienta que permitirá identificar nuevas oportunidades para la zanahoria, entre ellas la cosmética.
- Los residuos de zanahoria representan una valiosa fuente de fitoquímicos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y fotoprotectoras. A medida que la industria cosmética busca alternativas sostenibles y eficientes, el aprovechamiento de estos subproductos puede contribuir significativamente a la creación de productos innovadores y ecológicos.
- La valorización de los residuos de zanahoria no solo reduce el impacto ambiental asociado a su desperdicio, sino que también ofrece una oportunidad económica para las agroindustrias, particularmente en países como Colombia, donde la producción de zanahoria es significativa. Así, los avances en la extracción y formulación de ingredientes a partir de estos residuos podrían posicionar a la zanahoria como un recurso clave para la cosmética natural y de bajo impacto ambiental.

Referencias

- Adadi, P., Barakova, N. V., & Krivoshapkina, E. F. (2018). Selected methods of extracting carotenoids, characterization, and health concerns: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(24), 5925–5947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01407>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021). *Fortalecimiento de la cadena productiva de la zanahoria mediante la creación de prototipos de productos innovadores en el oriente del departamento de Antioquia*.
- Ahmad, T., Cawood, M., Iqbal, Q., Ariño, A., Batool, A., Sabir Tariq, R. M., Azam, M., & Akhtar, S. (2019). Phytochemicals in *Daucus carota* and their health benefits—review article. *Foods*, 8(9), 424. <https://doi.org/10.3390/foods8090424>
- Aksu, M., Incegul, Y., Kiralan, S. S., Kiralan, M., & Ozkan, G. (2020). Cold pressed carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) seed oil. En M. F. Ramadan (Ed.), *Cold Pressed Oils* (pp. 335–343). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00030-X>
- Alasalvar, C., Grigor, J. M., Zhang, D., Quantick, P. C., & Shahidi, F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1410–1416. <https://doi.org/10.1021/jf000595h>
- Alfurayhi, R., Huang, L., & Brandt, K. (2023). Pathways affected by falcarinol-type polyacetylenes and implications for their anti-inflammatory function and potential in cancer chemoprevention. *Foods*, 12(6), 1192. <https://doi.org/10.3390/foods12061192>
- Algarra, M., Fernandes, A., Mateus, N., de Freitas, V., Esteves da Silva, J. C. G., & Casado, J. (2014). Anthocyanin profile and antioxidant capacity of black carrots (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) from Cuevas Bajas, Spain. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.005>
- Almagro, L., Correa-Sabater, J. M., Sabater-Jara, A. B., & Pedreño, M. Á. (2022). Biotechnological production of β -carotene using plant in vitro cultures. *Planta*, 256(2), 41. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03953-9>
- Arcscott, S. A., & Tanumihardjo, S. A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 223–239. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00103.x>
- Ashokkumar, V., Flora, G., Sevanan, M., Sripriya, R., Chen, W. H., Park, J.-H., Rajesh banu, J., & Kumar, G. (2023). Technological advances in the production of carotenoids and their applications – A critical review. *Bioresource Technology*, 367, 128215. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128215>
- Bandara, S., Thomas, L. D., Ramkumar, S., Khadka, N., Kiser, P. D., Golczak, M., & von Lintig, J. (2021). The structural and biochemical basis of apocarotenoid processing by β -carotene oxygenase-2. *ACS Chemical Biology*, 16(3), 480–490. <https://doi.org/10.1021/acscchembio.0c00832>
- Bapat, V. A., Kavi Kishor, P. B., Jalaja, N., Jain, S. M., & Penna, S. (2023). Plant cell cultures: biofactories for the production of bioactive compounds. *Agronomy*, 13(3), 858. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030858>
- Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura [FAOSTAT]. (2023). *Food loss and waste database*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Batool, F., Iqbal, N., Azeem, M., Adeel, S., & Ali, M. (2019). Sustainable dyeing of cotton fabric using black carrot (*Daucus carota* L.) plant residue as a source of natural colorant. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(5), 3081–3087. <https://doi.org/10.15244/pjoes/93712>



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de
la cadena de valor de zanahoria en el
Oriente departamento de Antioquia

- Beltrán-de-Miguel, B., Estévez-Santiago, R., & Olmedilla-Alonso, B. (2015). Assessment of dietary vitamin A intake (retinol, α -carotene, β -carotene, β -cryptoxanthin) and its sources in the National Survey of Dietary Intake in Spain (2009-2010). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(6), 706-712. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1077787>
- Ben-Othman, S., Jôudu, I., & Bhat, R. (2020). Bioactives from agri-food wastes: present insights and future challenges. *Molecules*, 25(3), 510. <https://doi.org/10.3390/molecules25030510>
- Bianconi, M., Ceriotti, L., Cuzzocrea, S., Esposito, E., Pressi, G., Sgaravatti, E., Bertaiola, O., Guarnerio, C., Barbieri, E., Semenzato, A., Negri, S., Commisso, M., Avesani, L., & Guzzo, F. (2020). Red carrot cells cultured *in vitro* are effective, stable, and safe ingredients for skin care, nutraceutical, and food applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.575079>
- Bigdeloo, M., Teymourian, T., Kowsari, E., Ramakrishna, S., & Ehsani, A. (2021). Sustainability and circular economy of food wastes: waste reduction strategies, higher recycling methods, and improved valorization. *Materials Circular Economy*, 3, 3. <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00017-3>
- Bohn, T., Desmarchelier, C., El, S. N., Keijer, J., Van Schothorst, E., Rühl, R., & Borel, P. (2019). β -Carotene in the human body: metabolic bioactivation pathways - from digestion to tissue distribution and excretion. *Proceedings of the Nutrition Society*, 78(1), 68-87. <https://doi.org/10.1017/S0029665118002641>
- Bres, P., Beily, M. E., Young, B. J., Gasulla, J., Butti, M., Crespo, D., Candal, R., & Komilis, D. (2018). Performance of semi-continuous anaerobic co-digestion of poultry manure with fruit and vegetable waste and analysis of digestate quality: a bench scale study. *Waste Management*, 82, 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.041>
- Bushue, N., & Wan, Y.-J. Y. (2010). Retinoid pathway and cancer therapeutics. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 62(13), 1285-1298. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2010.07.003>
- Busta, L., Yim, W. C., LaBrant, E. W., Wang, P., Grimes, L., Malyszka, K., Cushman, J. C., Santos, P., Kosma, D. K., & Cahoon, E. B. (2018). Identification of Genes Encoding Enzymes Catalyzing the Early Steps of Carrot Polyacetylene Biosynthesis. *Plant Physiology*, 178(4), 1507-1521. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01195>
- Cao, J., Chen, W., Zhang, Y., Zhang, Y., & Zhao, X. (2010). Content of selected flavonoids in 100 edible vegetables and fruits. *Food Science and Technology Research*, 16(5), 395-402. <https://doi.org/10.3136/fstr.16.395>
- Castro, G. A., Coelho, A. L. L. R., Oliveira, C. A., Bohórquez Mahecha, G. A., Oréfice, R. L., & Ferreira, L. A. M. (2009). Formation of ion pairing as an alternative to improve encapsulation and stability and to reduce skin irritation of retinoic acid loaded in solid lipid nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 381(1), 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.07.025>
- Castro, M., Tatuszka, P., Cox, D. N., Bowen, J., Sanguansri, L., Augustin, M. A., & Stonehouse, W. (2019). Effects on plasma carotenoids and consumer acceptance of a functional carrot-based product to supplement vegetable intake: a randomized clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 60, 103421. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103421>
- Cataldo, V. F., López, J., Cárcamo, M., & Agosin, E. (2016). Chemical vs. biotechnological synthesis of C13-apocarotenoids: current methods, applications and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(13), 5703-5718. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7583-8>
- Cecilia, J. A., García-Sancho, C., Maireles-Torres, P. J., & Luque, R. (2019). Industrial food waste valorization: a general overview. En J. R. Bastidas-Oyanedel, & J. Schmidt J. (Eds.), *Biorefinery* (pp. 253-277). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10961-5_11

- Cheng, H. M., Koutsidis, G., Lodge, J. K., Ashor, A. W., Siervo, M., & Lara, J. (2019). Lycopene and tomato and risk of cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 141-158. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1362630>
- Choi, E. H., Daruwalla, A., Suh, S., Leinonen, H., & Palczewski, K. (2021). Retinoids in the visual cycle: role of the retinal G protein-coupled receptor. *Journal of Lipid Research*, 62, 100040. <https://doi.org/10.1194/jlr.TR120000850>
- Costa-Rodrigues, J., Pinho, O., & Monteiro, P. R. R. (2018). Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease? *Food Chemistry*, 245, 1148-1153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.055>
- Das, P., Nayak, P. K., & Kesavan, R. K. (2022). Ultrasound assisted extraction of food colorants: Principle, mechanism, extraction technique and applications: a review on recent progress. *Food Chemistry Advances*, 1, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100144>
- Dash, G. K., Majeed, S., & Zubir, N. Q. B. M. (2018). Formulation and evaluation of lipsticks containing *Nephelium lappaceum* seed fat and other natural ingredients. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 11(10), 474-476. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i10.26634>
- Dawid, C., Dunemann, F., Schwab, W., Nothnagel, T., & Hofmann, T. (2015). Bioactive C₁₇-polyacetylenes in carrots (*Daucus carota* L.): current knowledge and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(42), 9211-9222. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04357>
- Deroles, S. (2008). Anthocyanin biosynthesis in plant cell cultures: a potential source of natural colourants. En C. Winefield, K. Davies, & K. Gould (Eds.), *Anthocyanins* (pp. 108-167). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77335-3_5
- Dong, R., Liu, S., Zheng, Y., Zhang, X., He, Z., Wang, Z., Wang, Y., Xie, J., Chen, Y., & Yu, Q. (2020). Release and metabolism of bound polyphenols from carrot dietary fiber and their potential activity in *in vitro* digestion and colonic fermentation. *Food & Function*, 11(7), 6652-6665. <https://doi.org/10.1039/D0FO00975J>
- Dong, R., Yu, Q., Liao, W., Liu, S., He, Z., Hu, X., Chen, Y., Xie, J., Nie, S., & Xie, M. (2021). Composition of bound polyphenols from carrot dietary fiber and its *in vivo* and *in vitro* antioxidant activity. *Food Chemistry*, 339, 127879. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127879>
- Du, C., Abdullah, J. J., Greetham, D., Fu, D., Yu, M., Ren, L., Li, S., & Lu, D. (2018). Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. *Journal of Cleaner Production*, 187, 273-284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.211>
- Eggersdorfer, M., & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 652, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001>
- Esposito, B. S., Pinho, S. G. B., Thomazini, M., Ramos, A. P., Tapia-Blácido, D. R., & Martelli-Tosi, M. (2022). TPP-chitosomes as potential encapsulation system to protect carotenoid-rich extract obtained from carrot by-product: a comparison with liposomes and chitosomes. *Food Chemistry*, 397, 133857. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133857>
- Espro, C., Paone, E., Mauriello, F., Gotti, R., Uliassi, E., Bolognesi, M. L., Rodríguez-Padrón, D., & Luque, R. (2021). Sustainable production of pharmaceutical, nutraceutical and bioactive compounds from biomass and waste. *Chemical Society Reviews*, 50(20), 11191-11207. <https://doi.org/10.1039/D1CS00524C>
- Ganesh, K. S., Sridhar, A., & Vishali, S. (2022). Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities - A review. *Chemosphere*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132221>



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de
la cadena de valor de zanahoria en el
Oriente departamento de Antioquia

- Gao, Q., Li, Y., Li, Y., Liang, Y., & Zhang, Z. (2022). Profile of anthocyanins in purple vegetables commonly consumed in China and their relationship with antioxidant abilities. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(2), 1659-1673. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01267-0>
- Georgiev, V., Slavov, A., Vasileva, I., & Pavlov, A. (2018). Plant cell culture as emerging technology for production of active cosmetic ingredients. *Engineering in Life Sciences*, 18(11), 779-798. <https://doi.org/10.1002/elsc.201800066>
- Gill, R., Nadeem, Q.-U.-A., Nadeem, R., Nazir, R., & Nawaz, S. (2014). Biosorption capacity of vegetable waste biomass for adsorption of lead and chromium. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(2), 306-317. <https://www.innspub.net/wp-content/uploads/2023/02/JBES-V5-No2-p306-317.pdf>
- Giordano, E., & Quadro, L. (2018). Lutein, zeaxanthin and mammalian development: metabolism, functions and implications for health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 647, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.04.008>
- Giradkar, P. (2021). Formulation and evaluation of poly herbal anti aging face creams. *Journal of Medical Pharmaceutical and Allied Sciences*, 10(3), 2920-2923. <https://doi.org/10.22270/jmpas.V10I3.1048>
- Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005>
- Gonçalves de Moura, I., Vasconcelos de Sá, A., Lemos Machado Abreu, A. S., & Alves Machado, A. V. (2017). Bioplastics from agro-wastes for food packaging applications. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Food Packaging* (pp. 223-263). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804302-8.00007-8>
- Gonçalves, S., & Romano, A. (2017). Inhibitory properties of phenolic compounds against enzymes linked with human diseases. En M. Soto-Hernández, M. Palma-Tenango, & M. R. García-Mateos (Eds.), *Phenolic Compounds - Biological Activity*. InTech Open. <https://doi.org/10.5772/66844>
- Guldiken, B., Gibis, M., Boyacioglu, D., Capanoglu, E., & Weiss, J. (2018). Physical and chemical stability of anthocyanin-rich black carrot extract-loaded liposomes during storage. *Food Research International*, 108, 491-497. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.071>
- Hampel, D., Mosandl, A., & Wüst, M. (2005). Biosynthesis of mono- and sesquiterpenes in carrot roots and leaves (*Daucus carota* L.): metabolic cross talk of cytosolic mevalonate and plastidial methylerythritol phosphate pathways. *Phytochemistry*, 66(3), 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.12.010>
- Hanchinal, V. M., Survase, S. A., Sawant, S. K., & Annapure, U. S. (2008). Response surface methodology in media optimization for production of β -carotene from *Daucus carota*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 93, 123-132. <https://doi.org/10.1007/s11240-008-9350-8>
- Heinrich, U., Wiebusch, M., Tronnier, H., Gärtner, C., Eichler, O., Sies, H., & Stahl, W. (2003). Supplementation with β -Carotene or a Similar Amount of Mixed Carotenoids Protects Humans from UV-Induced Erythema. *The Journal of Nutrition*, 133(1), 98-101. <https://doi.org/10.1093/jn/133.1.98>
- Hempel, J., Schädle, C. N., Leptihn, S., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2016). Structure related aggregation behavior of carotenoids and carotenoid esters. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 317, 161-174. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.10.024>



- Hideg, É., Jansen, M. A. K., & Strid, Å. (2013). UV-B exposure, ROS, and stress: inseparable companions or loosely linked associates? *Trends in Plant Science*, 18(2), 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.003>
- Iorizzo, M., Curaba, J., Pottorff, M., Ferruzzi, M. G., Simon, P., & Cavagnaro, P. F. (2020). Carrot anthocyanins genetics and genomics: status and perspectives to improve its application for the food colorant industry. *Genes*, 11(8), 906. <https://doi.org/10.3390/genes11080906>
- Jacobo-Velázquez, D. A. (2023). Transformation of carrots into novel food ingredients and innovative healthy foods. *Applied Food Research*, 3(1), 100303. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100303>
- Jang, H.-J., Ha, B.-K., Zhou, J., Ahn, J., Yoon, S.-H., & Kim, S.-W. (2015). Selective retinol production by modulating the composition of retinoids from metabolically engineered *E. coli*. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(8), 1604-1612. <https://doi.org/10.1002/bit.25577>
- Jang, H.-J., Yoon, S.-H., Ryu, H.-K., Kim, J.-H., Wang, C.-L., Kim, J.-Y., Oh, D.-K., & Kim, S.-W. (2011). Retinoid production using metabolically engineered *Escherichia coli* with a two-phase culture system. *Microbial Cell Factories*, 10(1), 59. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-59>
- Jiménez-Moreno, N., Esparza, I., Bimbela, F., Gandía, L. M., & Ancín-Azpilicueta, C. (2020). Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(20), 2061-2108. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694819>
- Jonasson, L., Wikby, A., & Olsson, A. G. (2003). Low serum β -carotene reflects immune activation in patients with coronary artery disease. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 13(3), 120-125. [https://doi.org/10.1016/S0939-4753\(03\)80170-9](https://doi.org/10.1016/S0939-4753(03)80170-9)
- Kammerer, D., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Quantification of anthocyanins in black carrot extracts (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) and evaluation of their color properties. *European Food Research and Technology*, 219(5), 479-486. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0976-4>
- Kataria, D., Chahal, K. K., Kaur, P., & Kaur, R. (2016). Carrot plant-a potential source of high value compounds and biological activities: A Review. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 82(4), 1237-1248. <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2016/48573>
- Kaulmann, A., & Bohn, T. (2014). Carotenoids, inflammation, and oxidative stress-implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. *Nutrition Research*, 34(11), 907-929. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2014.07.010>
- Kaur, G. J., Kumar, D., Orsat, V., & Singh, A. (2022). Assessment of carrot rejects and wastes for food product development and as a biofuel. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(3), 757-768. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01096-z>
- Kim, Y.-S., & Oh, D.-K. (2010). Biotransformation of carotenoids to retinal by carotenoid 15,15'-oxygenase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 88(4), 807-816. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2823-9>
- Kimiz-Gebologlu, I., & Oncel, S. S. (2022). Exosomes: large-scale production, isolation, drug loading efficiency, and biodistribution and uptake. *Journal of Controlled Release*, 347, 533-543. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.05.027>
- Kirilovsky, D. (2015). Modulating energy arriving at photochemical reaction centers: orange carotenoid protein-related photoprotection and state transitions. *Photosynthesis Research*, 126(1), 3-17. <https://doi.org/10.1007/s11120-014-0031-7>



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de
la cadena de valor de zanahoria en el
Oriente departamento de Antioquia

- Kobaek-Larsen, M., Baatrup, G., Khataei Notabi, M., El-Houri, R. B., Pipó-Ollé, E., Christensen Arnspang, E., & Christensen, L. P. (2019). Dietary Polyacetylenic oxylipins falcariol and falcariindiol prevent inflammation and colorectal neoplastic transformation: a mechanistic and dose-response study in a rat model. *Nutrients*, 11(9), 2223. <https://doi.org/10.3390/nu11092223>
- Koley, T. K., Singh, S., Khemariya, P., Sarkar, A., Kaur, C., Chaurasia, S. N. S., & Naik, P. S. (2014). Evaluation of bioactive properties of Indian carrot (*Daucus carota* L.): a chemometric approach. *Food Research International*, 60, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.006>
- Kreutzmann, S., Thybo, A. K., Edelenbos, M., & Christensen, L. P. (2008). The role of volatile compounds on aroma and flavour perception in coloured raw carrot genotypes. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(9), 1619-1627. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01662.x>
- Krga, I., & Milenkovic, D. (2019). Anthocyanins: from sources and bioavailability to cardiovascular-health benefits and molecular mechanisms of action. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(7), 1771-1783. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06737>
- Krinsky, N. I., & Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(6), 459-516. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.10.001>
- Kultys, E., & Kurek, M. A. (2022). Green Extraction of Carotenoids from Fruit and Vegetable Byproducts: A Review. *Molecules*, 27(2), 518. <https://doi.org/10.3390/molecules27020518>
- Kumar, K., Yadav, A. N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>
- Kumar, S., Abedin, Md. M., Singh, A. K., & Das, S. (2020). Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. En R. Lone, R., Shuab, & A. Kamili (Eds.), *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture* (pp. 517-532). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_22
- Lacatusu, I., Istrati, D., Bordei, N., Popescu, M., Seciu, A. M., Panteli, L. M., & Badea, N. (2020). Synergism of plant extract and vegetable oils-based lipid nanocarriers: Emerging trends in development of advanced cosmetic prototype products. *Materials Science and Engineering: C*, 108, 110412. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110412>
- Landrum, J. T., & Bone, R. A. (2001). Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385(1), 28-40. <https://doi.org/10.1006/abbi.2000.2171>
- Leja, M., Kamińska, I., Kramer, M., Maksylewicz-Kaul, A., Kammerer, D., Carle, R., & Baranski, R. (2013). The content of phenolic compounds and radical scavenging activity varies with carrot origin and root color. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(2), 163-170. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0351-3>
- Lessin, W. J., Catigani, G. L., & Schwartz, S. J. (1997). Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10), 3728-3732. <https://doi.org/10.1021/jf960803z>
- Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., & Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1729-1741. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>

- Liang, M.-H., He, Y.-J., Liu, D.-M., & Jiang, J.-G. (2021). Regulation of carotenoid degradation and production of apocarotenoids in natural and engineered organisms. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 513-534. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873242>
- Liu, S., Grierson, D., & Xi, W. (2024). Biosynthesis, distribution, nutritional and organoleptic properties of bitter compounds in fruit and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(7), 1934-1953. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2119930>
- Long, Z., Zhao, Y., Xue, Y., Wang, M., Li, J., Su, Z., Sun, J., Liu, Q., Liu, H., Mao, D., & Wei, T. (2021). A novel thermophilic β -carotene 15,15'-monooxygenase with broad substrate specificity from the marine bacterium *Candidatus pelagibacter* sp. HTCC7211. *Biotechnology Letters*, 43(12), 2233-2241. <https://doi.org/10.1007/s10529-021-03188-w>
- Lyu, Y., Chen, Q., Gou, M., Wu, X., & Bi, J. (2023). Influence of different pre-treatments on flavor quality of freeze-dried carrots mediated by carotenoids and metabolites during 120-day storage. *Food Research International*, 170, 113050. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113050>
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
- Marzocco, S., Singla, R. K., & Capasso, A. (2021). Multifaceted Effects of Lycopene: A Boulevard to the Multitarget-Based Treatment for Cancer. *Molecules*, 26(17), 5333. <https://doi.org/10.3390/molecules26175333>
- Meléndez-Martínez, A. J. (2019). An Overview of Carotenoids, Apocarotenoids, and Vitamin A in Agro-Food, Nutrition, Health, and Disease. *Molecular Nutrition & Food Research*, 63(15), 1613-4125. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201801045>
- Miean, K. H., & Mohamed, S. (2001). Flavonoid (Myricetin, Quercetin, Kaempferol, Luteolin, and Apigenin) Content of Edible Tropical Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 3106-3112. <https://doi.org/10.1021/jf000892m>
- Mikłasińska-Majdanik, M., Kępa, M., Wojtyczka, R., Idzik, D., & Wąsik, T. J. (2018). Phenolic compounds diminish antibiotic resistance of staphylococcus aureus clinical strains. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2321. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102321>
- Mínguez-Alarcón, L., Mendiola, J., López-Espín, J. J., Sarabia-Cos, L., Vivero-Salmerón, G., Vioque, J., Navarrete-Muñoz, E. M., & Torres-Cantero, A. M. (2012). Dietary intake of antioxidant nutrients is associated with semen quality in young university students. *Human Reproduction*, 27(9), 2807-2814. <https://doi.org/10.1093/humrep/des247>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, septiembre 29). *Minambiente, interesado en ayudar a disminuir el desperdicio de alimentos*. <https://www.minambiente.gov.co/minambiente-interesado-en-ayudar-a-disminuir-el-desperdicio-de-alimentos/>
- Mondal, J., Pillarisetti, S., Junnuthula, V., Saha, M., Hwang, S. R., Park, I. K., & Lee, Y.-K. (2023). Hybrid exosomes, exosome-like nanovesicles and engineered exosomes for therapeutic applications. *Journal of Controlled Release*, 353, 1127-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.12.027>
- Moreno, J. C., Mi, J., Alagoz, Y., & Al-Babili, S. (2021). Plant apocarotenoids: from retrograde signaling to interspecific communication. *The Plant Journal*, 105(2), 351-375. <https://doi.org/10.1111/tpj.15102>
- Mrowicka, M., Mrowicki, J., Kucharska, E., & Majsterek, I. (2022). Lutein and zeaxanthin and their roles in age-related macular degeneration—neurodegenerative disease. *Nutrients*, 14(4), 827. <https://doi.org/10.3390/nu14040827>



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de
la cadena de valor de zanahoria en el
Oriente departamento de Antioquia

- Muchlinski, A., Ibdah, M., Ellison, S., Yahyaa, M., Nawade, B., Laliberte, S., Senalik, D., Simon, P., Whitehead, S. R., & Tholl, D. (2020). Diversity and function of terpene synthases in the production of carrot aroma and flavor compounds. *Scientific Reports*, 10(1), 9989. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66866-1>
- Müjdeci, G. N. (2022). Experimental modeling and optimization of melanin production by *Aureobasidium pullulans* NBRC 100716 in carrot peel extract. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 41(6). <https://doi.org/10.1002/ep.13919>
- Mukherjee, S., Date, A., Patravale, V., Korting, H. C., Roeder, A., & Weindl, G. (2006). Retinoids in the treatment of skin aging: an overview of clinical efficacy and safety. *Clinical Interventions in Aging*, 1(4), 327-348. <https://doi.org/10.2147/ciia.2006.1.4.327>
- Müller, H. (1997). Determination of the carotenoid content in selected vegetables and fruit by HPLC and photodiode array detection. *Zeitschrift Für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 204(2), 88-94. <https://doi.org/10.1007/s002170050042>
- Musnaini, M., Fransisca, S., & Leslie, W. (2022). Effectiveness of cream formulation of carrot seed oil as anti-aging. *International Journal of Health and Pharmaceutical (IJHP)*, 3(2), 331-340. <https://doi.org/10.51601/ijhp.v3i3.170>
- Nadaroglu, H., & Baran, A. (2020). The antimicrobial activity of herbal soaps against selected human pathogens. *Tenside Surfactants Detergents*, 57(5), 354-360. <https://doi.org/10.3139/113.110707>
- Nagraj, G. S., Jaiswal, S., Harper, N., & Jaiswal, A. K. (2020). Carrot. En A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 323-337). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9>
- Nawkar, G. M., Maibam, P., Park, J. H., Sahi, V. P., Lee, S. Y., & Kang, C. H. (2013). UV-Induced Cell Death in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(1), 1608-1628. <https://doi.org/10.3390/ijms14011608>
- Nicolle, C., Simon, G., Rock, E., Amouroux, P., & Rémésy, C. (2004). Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(4), 523-529. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.4.0523>
- O'Byrne, S. M., & Blaner, W. S. (2013). Retinol and retinyl esters: biochemistry and physiology. *Journal of Lipid Research*, 54(7), 1731-1743. <https://doi.org/10.1194/jlr.R037648>
- Pinto, F., de Barros, D. P. C., Reis, C., & Fonseca, L. P. (2019). Optimization of nanostructured lipid carriers loaded with retinoids by central composite design. *Journal of Molecular Liquids*, 293, 111468. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111468>
- Przybylska, S., & Tokarczyk, G. (2022). Lycopene in the prevention of cardiovascular diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 1957. <https://doi.org/10.3390/ijms23041957>
- Purohit, A. J., & Gogate, P. R. (2015). Ultrasound-assisted extraction of β -carotene from waste carrot residue: effect of operating parameters and type of ultrasonic irradiation. *Separation Science and Technology*, 50(10), 1507-1517. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.978472>
- Qasim, M., Xiao, H., He, K., Noman, A., Liu, F., Chen, M.-Y., Hussain, D., Jamal, Z. A., & Li, F. (2020). Impact of landfill garbage on insect ecology and human health. *Acta Tropica*, 211, 105630. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105630>
- Ramos-Andrés, M., Aguilera-Torre, B., & García-Serna, J. (2021). Biorefinery of discarded carrot juice to produce carotenoids and fermentation products. *Journal of Cleaner Production*, 323, 129139. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129139>

- Rasheed, N., Rahman, S. A., & Hafsa, S. (2020). Formulation and Evaluation of Herbal Lipsticks. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 13(4), 1693. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2020.00306.6>
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., Zayadan, B. K., Bruce, B. D., Hou, H. J. M., & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125>
- Rowles, J. L., & Erdman, J. W. (2020). Carotenoids and their role in cancer prevention. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865(11), 158613. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158613>
- Roy, P. K., Lalrempuii, Zairempuii, C., Lallawmzuali, E., Laldinchhana, Debbarma, A., Hmangaihkhimi, A., & Lahlenmawia, H. (2022). Formulation and evaluation of cost effective herbal sunscreen gel from aqueous extracts of different fruits of Mizoram, India. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology (IJPSN)*, 15(6), 6229-6233. <https://doi.org/10.37285/ijpsn.2022.15.6.5>
- Rueda, D., Arias, V., Zhang, Y., Cabot, A., Agudelo, A. C., & Cadavid, D. (2020). Low-cost tangerine peel waste mediated production of titanium dioxide nanocrystals: synthesis and characterization. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 13, 100285. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100285>
- Sciubba, F., Tomassini, A., Giorgi, G., Brasili, E., Pasqua, G., Capuani, G., Aureli, W., & Miccheli, A. (2020). NMR-based metabolomic study of purple carrot optimal harvest time for utilization as a source of bioactive compounds. *Applied Sciences*, 10(23), 8493. <https://doi.org/10.3390/app10238493>
- Shah, A., & Smith, D. L. (2020). Flavonoids in agriculture: chemistry and roles in, biotic and abiotic stress responses, and microbial associations. *Agronomy*, 10(8), 1209. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081209>
- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot - A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 22-32. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7>
- Sharma, S., Chatterjee, S., Kataria, S., Joshi, J., Datta, S., Vairale, M. G., & Veer, V. (2017). A review on responses of plants to uv-b radiation related stress. En V. P. Singh, S. Singh, S. Mohan, & P. Parihar (Eds.), *UV-B Radiation: from environmental stressor to regulator of plant growth* (pp. 75-97). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119143611.ch5>
- Shin, K. C., Seo, M. J., Kim, Y. S., & Yeom, S. J. (2022). Molecular properties of β -carotene oxygenases and their potential in industrial production of vitamin A and its derivatives. *Antioxidants*, 11(6), 1180. <https://doi.org/10.3390/antiox11061180>
- Sieniawska, E., Świątek, Ł., Rajtar, B., Kozioł, E., Polz-Dacewicz, M., & Skalicka-Woźniak, K. (2016). Carrot seeds essential oil - Source of carotol and cytotoxicity study. *Industrial Crops and Products*, 92, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.001>
- Silva, E. L., Carneiro, G., Caetano, P. A., Goulart, G., Ferreira Costa, D., de Souza-Fagundes, E. M., Gomes, D. A., & Ferreira, L. A. M. (2015). Nanostructured lipid carriers loaded with tributyrin as an alternative to improve anticancer activity of *all-trans* retinoic acid. *Expert Review of Anticancer Therapy*, 15(2), 247-256. <https://doi.org/10.1586/14737140.2015.1000868>
- Simkin, A. J. (2021). Carotenoids and apocarotenoids in planta: their role in plant development, contribution to the flavour and aroma of fruits and flowers, and their nutraceutical benefits. *Plants*, 10(11), 2321. <https://doi.org/10.3390/plants10112321>



CAROTA
360°

Modelo integral para el desarrollo de
la cadena de valor de zanahoria en el
Oriente departamento de Antioquia

- Singh, B. K., Koley, T. K., Maurya, A., Singh, P. M., & Singh, B. (2018). Phytochemical and antioxidative potential of orange, red, yellow, rainbow and black coloured tropical carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus* Schubl. & Martens). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(5), 899-907. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0574-8>
- Singh, S., Lohani, A., Mishra, A. K., & Verma, A. (2019). Formulation and evaluation of carrot seed oil-based cosmetic emulsions. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, 21(2), 99-107. <https://doi.org/10.1080/14764172.2018.1469769>
- Sridhar, A., Kapoor, A., Senthil Kumar, P., Ponnuchamy, M., Balasubramanian, S., & Prabhakar, S. (2021). Conversion of food waste to energy: a focus on sustainability and life cycle assessment. *Fuel*, 302, 121069. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121069>
- Srivastava, N. S. L., Narnaware, S. L., Makwana, J. P., Singh, S. N., & Vahora, S. (2014). Investigating the energy use of vegetable market waste by briquetting. *Renewable Energy*, 68, 270-275. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.047>
- Statista. (2023). *Global production of vegetables in 2021, by type*. <https://www.statista.com/statistics/257345/per-capita-consumption-of-fresh-vegetables-in-the-us-by-type/>
- Sun, T., Simon, P. W., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4142-4147. <https://doi.org/10.1021/jf9001044>
- Syukri, D., Rini, Wellyalina, Yanti, N. R., & Jaswandi. (2021). Effect of degradation time on carotene content in crude carotene extract of carrot for the formation of its derivative aromatic compounds. *Indian Journal of Agricultural Research*, 56(2), 157-161. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-649>
- Tardy, A.-L., Pouteau, E., Marquez, D., Yilmaz, C., & Scholey, A. (2020). Vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: a narrative review of the biochemical and clinical evidence. *Nutrients*, 12(1), 228. <https://doi.org/10.3390/nu12010228>
- Trehan, S., Michniak-Kohn, B., & Beri, K. (2017). Plant stem cells in cosmetics: current trends and future directions. *Future Science OA*, 3(4), FSO226. <https://doi.org/10.4155/fsoa-2017-0026>
- Tsuda, T. (2012). Dietary anthocyanin-rich plants: Biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Molecular Nutrition & Food Research*, 56(1), 159-170. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100526>
- Uray, I. P., Dmitrovsky, E., & Brown, P. H. (2016). Retinoids and rexinoids in cancer prevention: from laboratory to clinic. *Seminars in Oncology*, 43(1), 49-64. <https://doi.org/10.1053/j.seminoncol.2015.09.002>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2019). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA 2019*. <https://upra.gov.co/es-co/eva/eva-2019>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias EVA 2023*. <https://upra.gov.co/es-co/eva/eva-2023>
- Vargas-Murga, L., de Rosso, V. V., Mercadante, A. Z., & Olmedilla-Alonso, B. (2016). Fruits and vegetables in the Brazilian Household Budget Survey (2008-2009): carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, 50, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.012>
- Von Lintig, J. (2012). Metabolism of carotenoids and retinoids related to vision. *Journal of Biological Chemistry*, 287(3), 1627-1634. <https://doi.org/10.1074/jbc.R111.303990>

- Walk, A. M., Khan, N. A., Barnett, S. M., Raine, L. B., Kramer, A. F., Cohen, N. J., Moulton, C. J., Renzi-Hammond, L. M., Hammond, B. R., & Hillman, C. H. (2017). From neuro-pigments to neural efficiency: the relationship between retinal carotenoids and behavioral and neuroelectric indices of cognitive control in childhood. *International Journal of Psychophysiology*, 118, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.05.005>
- Wan, L., Tan, H.-L., Thomas-Ahner, J. M., Pearl, D. K., Erdman, J. W., Moran, N. E., & Clinton, S. K. (2014). Dietary tomato and lycopene impact androgen signaling- and carcinogenesis-related gene expression during early tramp prostate carcinogenesis. *Cancer Prevention Research*, 7(12), 1228-1239. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-14-0182>
- Wang, J. Y., Lin, P.-Y., & Al-Babili, S. (2021). On the biosynthesis and evolution of apocarotenoid plant growth regulators. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 109, 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2020.07.007>
- Wang, Z., Li, S., Ge, S., & Lin, S. (2020). Review of distribution, extraction methods, and health benefits of bound phenolics in food plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(11), 3330-3343. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06574>
- Westfall, A. (2015). *Evaluation of the efficacy of anthocyanins as biologically active ingredients in lipstick formulations* [Tesis de maestría, Universidad de Ohio]. Ohio LINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1429170218
- Xu, T., Zhang, J., Jin, R., Cheng, R., Wang, X., Yuan, C., & Gan, C. (2022). Physicochemical properties, antioxidant activities and *in vitro* sustained release behaviour of co-encapsulated liposomes as vehicle for vitamin E and β -carotene. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(13), 5759-5767. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11925>
- Yaashikaa, P. R., Senthil Kumar, P., & Varjani, S. (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: a critical review. *Bioresource Technology*, 343, 126126. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126>
- Yamaguchi, M. (2012). Role of carotenoid β -cryptoxanthin in bone homeostasis. *Journal of Biomedical Science*, 19(1), 36. <https://doi.org/10.1186/1423-0127-19-36>
- Yara-Varón, E., Li, Y., Balcells, M., Canela-Garayoa, R., Fabiano-Tixier, A.-S., & Chemat, F. (2017). Vegetable oils as alternative solvents for green oleo-extraction, purification and formulation of food and natural products. *Molecules*, 22(9), 1474. <https://doi.org/10.3390/molecules22091474>
- Yusuf, E. H., Wojdyło, A., Lech, K., Masztalerz, K., & Nowicka, P. (2023). The effect of combined drying process (OD-CD-VMD) on nutritional, phytochemical, and sensory profiles, and biological activities of colored dried carrot. *LWT*, 173, 114231. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114231>
- Yusuf, E., Wojdyło, A., Oszmiański, J., & Nowicka, P. (2021). Nutritional, phytochemical characteristics and *in vitro* effect on α -amylase, α -glucosidase, lipase, and cholinesterase activities of 12 coloured carrot varieties. *Foods*, 10(4), 808. <https://doi.org/10.3390/foods10040808>
- Zasada, M., & Budzisz, E. (2019). Retinoids: active molecules influencing skin structure formation in cosmetic and dermatological treatments. *Advances in Dermatology and Allergology*, 36(4), 392-397. <https://doi.org/10.5114/ada.2019.87443>
- Zhou, Y., Tian, Y., & Yang, B. (2023). Root vegetable side streams as sources of functional ingredients for food, nutraceutical and pharmaceutical applications: the current status and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 137, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.006>

