

ESTUDIO DE LA REPERCUSIÓN DEL COLOR EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LAS ZANAHORIAS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

MD. Raigón^{1*}, T. Zambrano², P. Esteve Ciudad¹, MD. García-Martínez¹

¹Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana/Departamento de Química. Universitat Politècnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022. Valencia. España. Teléfono: +34963877347

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Salud Pública. Escuela de Gastronomía.

Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba-Ecuador.

Corresponding author*: mdraigon@upv.edu.es

<https://doi.org/10.59187/revistaagroecologia.v17.88>

Resumen

La zanahoria (*Daucus carota*) es una hortaliza ampliamente consumida y apreciada en todo el mundo. Su importancia no solo radica en su versatilidad culinaria y su sabor dulce y terroso, sino también en su valor nutricional y sus beneficios para la salud. La zanahoria está muy valorada por su abundante contenido en β -caroteno, un precursor de la vitamina A. La diversidad de colores de las zanahorias, va desde el naranja clásico hasta el morado o púrpura, el amarillo y el blanco. La zanahoria naranja es conocida como tipo Nantes, el resto se conocen por su color (blanco, amarillo y morado). Cada color indica la presencia de diferentes compuestos fitoquímicos, que pueden tener beneficios específicos para la salud. Por lo tanto, comprender la relación entre el color, la cuantificación de los compuestos y las propiedades nutricionales de las zanahorias es fundamental para aprovechar al máximo su potencial nutricional y saludable. El principal objetivo de este trabajo es evaluar cómo el color de las zanahorias producidas mediante técnicas ecológicas influye en su contenido nutricional y en sus posibles beneficios para la salud. Los resultados indican que el color no influye en las concentraciones de fibra y grasa, pero sí condiciona los contenidos en hidratos de carbono, proteína, vitamina C, carotenoides y antocianos. Además, mientras que la concentración en polifenoles totales no se ve influenciada por el color de la zanahoria, la capacidad antioxidante total es mayor en las zanahorias de color morado.

Palabras clave: análisis proximal, capacidad antioxidante, carotenoides, polifenoles totales, vitamina C.

Abstract

The carrot (*Daucus carota*) is a widely consumed and appreciated vegetable around the world. Its importance lies not only in its culinary versatility and sweet, earthy flavor but also in its nutritional value and health benefits. Carrots are highly valued for their abundant β -carotene content, a precursor of vitamin A. The diversity of carrot colors ranges from the classic orange to purple, yellow, and white. The orange carrot is known as the Nantes type, while the others are known by their color (white, yellow, and purple). Each color indicates the presence of different phytochemical compounds, which can have specific health benefits. Therefore, understanding the relationship between color, the quantification of compounds and the nutritional properties of carrots is essential to maximize their nutritional and health potential. The main objective of this study is to evaluate how the color of carrots produced using ecological techniques influences their nutritional content and potential health benefits. The results indicate that color does not influence the concentrations of fiber and fat, but it does affect the contents of carbohydrates, protein, vitamin C, carotenoids, and anthocyanins. Furthermore, while the concentration of total polyphenols is not influenced by carrot color, the total antioxidant capacity is higher in purple carrots.

Keywords: antioxidant capacity, carotenoids, proximal analysis, total polyphenols, vitamin.

Introducción

La zanahoria (*Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Thell) es una especie originaria de Asia Central, particularmente de Afganistán, y los primeros indicios de su domesticación se encuentran en Irán y Afganistán 3000 años aC. Sin embargo, fue a partir del siglo XVI cuando se expandió por toda Europa y al resto del mundo.

Es una hortaliza perteneciente a la familia de las umbelíferas, mundialmente conocida por el consumo de sus raíces. En su estado silvestre es una raíz diminuta y amarga, muy poco atractiva como alimento, pero los años de cultivo y domesticación la han convertido en un vegetal extremadamente versátil, que aparece en varios colores, formas y tamaños. Las zanahorias silvestres son de color blanco o amarillo pálido, mientras que las primeras zanahorias domesticadas eran de color violeta y amarillo. Una de las consecuencias de la domesticación de la zanahoria ha sido la pérdida de los aceites volátiles, lo que ha afectado plenamente en el sabor (Stolarczyk & Janick, 2011).

Originalmente la zanahoria se utilizaba sólo como planta medicinal (Prohens *et al.* 2008), en el momento actual es una de las hortalizas de raíz más importantes del mundo, siendo los principales países productores, China, Rusia y Estados Unidos. Las raíces maduras de zanahoria se consumen tanto crudas como cocidas, en platos dulces y salados, y son conocidas por su alto contenido en β -caroteno, que es el precursor de la vitamina A. Las zanahorias son también un importante constituyente de la industria de transformación alimentaria, incluso de la industria cosmética y su imagen se ha utilizado durante mucho tiempo para simbolizar una alimentación saludable (Singh *et al.* 2021). Las hojas también se consumen en ensaladas y las semillas se preparan en té de hierbas.

Las zanahorias son comúnmente conocidas por su color naranja, pero originalmente la zanahoria presentaba una raíz de color negra, blanca, roja y púrpura (Nagraj *et al.* 2020). La zanahoria naranja se desarrolló en los Países Bajos durante el siglo XVII, en gran parte como tributo a la Casa de Orange, una importante familia noble holandesa. Los agricultores de la época seleccionaban y cultivaban zanahorias con tonalidades anaranjadas más intensas para conmemorar el color de la casa real. Este cambio cuajó y se convirtió en la variedad dominante que se extendió por todo el mundo, conocida como zanahoria tipo Nantes.

En la década de 1960, la presencia de zanahorias en los mercados se caracterizó por una mayor estandarización de tamaños, formas e incluso colores, como respuesta a la alta exigencia de uniformidad por las ya incipientes cadenas de distribución. El auge de los supermercados continuó durante los años 1970 y prevalece en la actualidad.

Incluso la mejora genética concentra sus esfuerzos en producir variedades con color naranja y tamaño uniforme, sabor tierno y mayor rendimiento (Simon, 2000). Una mayor resistencia a la floración es otro objetivo de

los mejoradores, junto con la resistencia a la mosca de la zanahoria y el aumento de la tolerancia al calor y la sequía.

Los tipos de zanahorias que más se cultivan en climas templados son 'Danvers', 'Imperator', 'Nantes' y 'Chantenay', mientras que en áreas subtropicales son populares 'Kuroda', 'Brasilia' y 'Nantes'. En China y Japón, sin embargo, los tipos amarillo y rojo son muy populares. Las variedades de zanahoria morada y amarilla están regresando y están resultando populares en algunos mercados de agricultores y en mercados especializados. En concreto, la zanahoria morada ha dado un giro completo en cuanto a su posicionamiento en el mercado y consumo, estando presente en los mercados ecológicos, ya que es una hortaliza cuya semilla se ha ido transmitiendo a través de los intercambios de semillas entre agricultores, logrando su popularidad (Gracia *et al.*, 2020).

Las zanahorias presentan un alto contenido de fitoquímicos, incluidos carotenoides, antocianinas y otros compuestos fenólicos (Ma *et al.* 2020). Esto hace que la zanahoria sea una fuente importante de antioxidantes dietéticos, cuando se incluye en la dieta. Los compuestos antioxidantes más abundantes que se encuentran en las zanahorias son el α y β caroteno, la vitamina E y las antocianinas. Los niveles de estos pigmentos antioxidantes que se encuentran en diferentes cultivares son también los responsables de la coloración de las zanahorias. Estos pigmentos confieren, además del color de raíz, propiedades beneficiosas para la salud, siendo la capacidad antioxidante uno de los principales efectos nutraceuticos de esta hortaliza.

El principal objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del color de las zanahorias producidas mediante técnicas ecológicas sobre el contenido nutricional y la concentración de sustancias nutraceuticas, y relacionarlo con los posibles beneficios para la salud. La hipótesis que se plantea en este trabajo es que los diferentes colores de zanahorias cultivadas bajo técnicas de agricultura ecológica condicionan la composición de estos alimentos.

Material y Métodos

El cultivo de zanahoria se realizó en una parcela de agricultura ecológica certificada, situada en Alboraya (Horta Nord de Valencia), cuyas coordenadas son 39°49'58"45 N; 0,34°49'94" W. El suelo se caracteriza por tener una textura franco arenosa, con valores de pH que varían de 8,18 a 8,65, posiblemente debido al alto contenido en carbonatos, que permite diagnosticar a este suelo como moderadamente básico, aunque sin influencia para el óptimo crecimiento del cultivo de la zanahoria. El contenido en nitrógeno total del suelo es normal y los niveles de materia orgánica son bajos (inferiores al 2%), mientras que el resto de los elementos minerales del suelo presentan concentraciones adecuadas. El cultivo de zanahoria se desarrolla bajo una rotación

de cultivos hortícolas donde se alternan los cultivos de raíz con los de hoja y frutos (como tomate o pimiento). El clima de la zona es mediterráneo, caracterizado por veranos calurosos y secos e inviernos suaves y húmedos. La temperatura media anual es de 22 °C (julio es el mes más cálido del año, con temperaturas medias de 30 °C, y enero es el mes más frío, con temperaturas medias de 15 °C). La precipitación acumulada anual es de 156 mm con 303 días secos al año y 62 días con lluvia y un elevado número de horas de sol anuales.

La siembra se realiza a principios de septiembre. Las semillas empleadas en el cultivo proceden de diferentes intercambios de semillas. Se realizó una siembra directa, sobre dos caballones distanciados 60 cm entre sí, empleando una sembradora manual que distribuye las semillas a dos chorrillos a una distancia de unos 10-15 cm entre semillas. La profundidad de siembra es de 1-1,5 cm. La densidad de siembra es de 1-1,2 kg de semilla ha⁻¹. Un gramo de semilla contiene alrededor de 1250 semillas. El ciclo de cultivo ha sido aproximadamente de unos 125 días. La cosecha comenzó a finales de diciembre y permite la recolección escalonada hasta mayo.

Las zanahorias estudiadas se han agrupado en tres grupos, naranjas, amarillas y moradas (Figura 1). Las accesiones de zanahoria morada no están completamente saturadas de color púrpura en todos los tejidos de la raíz, sino que muestran el color morado en los tejidos más externos de la zanahoria.

La medición del color de la zanahoria se realizó en cinco individuos, tomando dos puntos aleatorios por cada uno, realizando la medición en el interior de la raíz, una vez eliminada la parte más superficial de la misma. La determinación se realiza empleando un medidor del color (Konica Minolta CR-300, Photo Imaging Inc., Mahwah, NJ, USA) para superficies alimentarias (Pathare *et al.* 2013), que permite determinar el color mediante la obtención de tres coordenadas representadas por los parámetros L*, a* y b*, dentro de la escala CIELAB, donde L* es la luminosidad o claridad (L*=0 corresponde a colores muy oscuros y L*= 100 corresponde a colores muy claros); a* es el parámetro que se acerca o aleja del rojo y verde (valores negativos de a* indican verde mientras valores positivos indican rojo) y b* es el parámetro que se acerca o aleja del amarillo y azul (valores negativos de b* indican azul y valores positivos indican amarillo). Con los parámetros de a* y b* se determina el croma (C*) y la tonalidad (h*), empleando las fórmulas siguientes:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h^* = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

El tono o matiz es la propiedad del color asociada con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas de luz. La saturación es el parámetro que muestra la pureza relativa o la cantidad de luz blanca mezclada con un tono dado.



Figura 1. Ejemplares de zanahorias de color morado, naranja y amarillo.

El análisis proximal se realizó siguiendo los estándares oficiales: humedad (AOAC 984.25), proteína cruda (AOAC 984.13), grasa (AOAC 983.23), fibra cruda (AOAC 991.43) y cenizas (AOAC 923.03). El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia. Los resultados se expresaron en g·100 g⁻¹ de peso fresco (pf).

La vitamina C o ácido ascórbico se determina mediante un reflectómetro portátil RQflex plus de Merck y un test de ácido ascórbico (Reflectoquant de 25-450 mg L⁻¹) (Ribes-Moya *et al.* 2018). La medida se realizó directamente sobre el licuado de zanahoria homogeneizado. Los resultados se expresan en mg de vitamina C por 100 g de materia fresca de zanahoria.

El contenido polifenólico total se determinó mediante espectrofotometría UV/V a la longitud de onda de 750 nm, medida en una alícuota del extracto metanólico mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Arnous *et al.* 2002). Los resultados se expresan como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg EAG 100 g⁻¹ pf). La capacidad antioxidante total se llevó a cabo según el método modificado de Brand-Williams *et al.* (1995), basado en la captura del radical libre DPPH. Los extractos hidroalcohólicos de la muestra se utilizaron para medir la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm, en un espectrofotómetro UV/V, extrapolando el resultado en la curva de calibrado de DPPH y expresado como μmol equivalente de Trolox (ET) por 100 g de peso fresco (μmol ET·100 g⁻¹ pf).

La determinación del contenido total de antocianinas se determinó con el método desarrollado por Fuleki y Francis (1968), donde las muestras se maceran con 5 mL de una disolución ácida de HCl en metanol y agua (1:50:49) durante 24 h a 4 °C y en oscuridad. La disolución resultante se mide a la absorbancia de 532 nm, usando un espectrofotómetro (JENWAY 6715/UV-Vis). Los resultados se expresan como mmol de equivalentes de cianidina-3-glucósido por cm².

El contenido en carotenoides en las zanahorias se determinó mediante espectrofotometría UV/V siguiendo el protocolo de Zscheille y Porter (1947) con modificación

de Rousseaux *et al.* (2005). Las medidas se realizan en el espectrofotómetro, haciendo lecturas del blanco para calibrarlo. Las lecturas se realizan a las longitudes de onda de 510, 452 y 485 nm. Los resultados se expresan en mg/100 g de zanahoria fresca.

Se realizó un análisis de la varianza simple para cada parámetro, comparando el color como factor. La discriminación entre las medias se basó en la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher (a un nivel de significación del 95%).

Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra los resultados de los parámetros de color, los valores de desviación estándar y el valor del estadístico (*p-value*), este parámetro prueba la significancia estadística de cada uno en las diferentes zanahorias en función del color. Cuando el valor de *p* es inferior a 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo para cada parámetro con un nivel de confianza del 95,0%. Las letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre el tipo de zanahoria (*p-value*<0,05).

Las zanahorias más luminosas son las de color amarillo, seguidas de las naranjas y por último las zanahorias moradas son las menos luminosas, siendo las diferencias encontradas estadísticamente significativas. Los valores de *a** son mayores para las zanahorias moradas y naranjas, pero las diferencias no son significativas, lo que pone de manifiesto que el valor del rojo prevalece en los tres tipos de zanahorias. El parámetro *b** indica la

presencia de los colores amarillos, observando mayores valores para las zanahorias amarillas y los menores para las moradas, las diferencias son estadísticamente significativas. Diferencias que son similares a las encontradas para el croma (*C**), mientras que la saturación es mayor en las zanahorias naranja y amarilla, diferenciándose de los valores de las zanahorias moradas.

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio (g/100 g) de la humedad, materia seca, contenido en minerales totales o cenizas, contenido en grasa, proteína bruta, fibra bruta y los hidratos de carbono de los tres tipos de zanahorias. Además, se muestra el error estándar y el valor del estadístico (*p-value*). Las letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre el tipo de zanahoria (*p-value* < 0,05). Se observa que el contenido en proteína, fibra y los niveles de hidratos de carbono se ven afectados por el tipo de color de la zanahoria, siendo la zanahoria de color amarillo las que muestran las mayores concentraciones de estos macronutrientes.

Los valores encontrados en la bibliografía (Stolarczyk & Janick, 2011; Wang *et al.* 2008; Vergara *et al.* 2019) coinciden, en general, con los obtenidos en el presente estudio, si bien se han encontrado ligeras diferencias de proteínas e hidratos de carbono respecto a los resultados de Stolarczyk y Janick (2011), del contenido mineral y de proteína frente a los resultados de Wang *et al.* (2008), probablemente debidas al empleo de fertilizantes. Por último, Vergara *et al.* (2019) que presentan resultados referidos solo a la zanahoria morada, sus resultados difieren más de los encontrados en el presente trabajo, lo que puede estar relacionado con la zona de

Tabla 1. Parámetros de color en las zanahorias#.

Tipo de zanahoria	L*	a*	b*	C*	h*
Morada	69,82 ^c ±0,733	3,160 ^a ±0,572	7,88 ^c ±1,002	8,67 ^c ±0,951	1,160 ^b ±0,053
Naranja	80,60 ^b ±0,620	3,043 ^a ±0,483	21,43 ^b ±0,847	21,69 ^b ±0,804	1,432 ^a ±0,049
Amarilla	85,37 ^a ±0,670	1,717 ^a ±0,522	26,18 ^a ±0,915	26,25 ^a ±0,868	1,504 ^a ±0,053
<i>p-value</i>	0,000	0,132	0,000	0,000	0,002

#L*=luminosidad o claridad; a*=parámetro que se acerca o aleja del rojo y verde; b*=parámetro que se acerca o aleja del amarillo y azul; C*=croma; h*=tonalidad.

Tabla 2. Composición proximal de las zanahorias en función del color.

Tipo de zanahoria	Humedad (%)	Materia seca (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Morada	88,19 ^a ±2,044	11,81 ^a ±2,044	0,33 ^b ±0,112	1,27 ^a ±0,146	0,09 ^a ±0,1722	2,05 ^b ±0,328	15,55 ^b ±2,184
Naranja	88,53 ^a ±1,4465	11,46 ^a ±1,446	0,40 ^b ±0,114	1,16 ^a ±0,103	0,42 ^a ±0,1217	1,97 ^b ±0,232	15,77 ^b ±1,544
Amarilla	84,15 ^a ±1,446	15,85 ^a ±1,446	0,81 ^a ±0,103	1,46 ^a ±0,868	0,42 ^a ±0,1218	5,42 ^a ±0,232	23,96 ^a ±1,545
<i>p-value</i>	0,113	0,113	0,004	0,150	0,279	0,000	0,005

producción y, especialmente, con el ciclo de cultivo, ya que transcurrieron 38 días más que en el caso del presente estudio, desde la siembra hasta la recolección, lo que puede influir en mayor absorción de minerales y con ello, la diferencia en composición.

La Tabla 3 muestra los valores promedio del contenido en polifenoles (mg EAG 100 g⁻¹ pf), la capacidad antioxidante total (μmol ET·100 g⁻¹ pf), el contenido en antocianos (mmol de equivalentes de cianidina-3-glucósido por cm²), contenido en carotenoides totales (mg 100 g⁻¹ pf) y el contenido en vitamina C (mg 100 g⁻¹ pf). Además, se muestra el error estándar y el valor del estadístico (p-value). Las letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre el tipo de zanahoria (*p-value* < 0.05).

Se observa que las zanahorias moradas presentan las mayores concentraciones de polifenoles, con diferencias estadísticamente significativas frente a las zanahorias naranjas y amarillas. Los contenidos en polifenoles de las zanahorias amarillas también difieren de los que se encuentran en las zanahorias naranjas de producción ecológica. También las zanahorias moradas son las de mayor capacidad antioxidante y las de mayor contenido en antocianos totales y de vitamina C. Curiosamente el contenido en carotenoides totales es mayor en las zanahorias de color amarillo y también estas zanahorias amarillas contienen mayores niveles de vitamina C que las de color naranja, algo que puede influir en la mayor capacidad antioxidante que muestran estas zanahorias frente a las de color naranja.

La zanahoria morada se caracteriza por su alto contenido de antocianinas según lo descrito por varias fuentes (Akhtar *et al.* 2017; Cuevas Montilla *et al.* 2011). Las antocianinas responsables de su coloración roja a morada representan el grupo más importante de pigmentos hidrosolubles, los cuales poseen capacidad colorante y antioxidante. Según los estudios de Cuevas Montilla *et al.* (2011) realizados sobre cuatro cultivares diferentes de zanahorias moradas, se muestra que el contenido polifenólico varió significativamente entre los cuatro cultivares de zanahoria, oscilando entre 17,9 y 97,9 mg EAG/100 g de peso fresco. Estos valores son más bajos que los encontrados en el presente estudio para la zanahoria morada y están en el rango para los encontrados en la zanahoria amarilla.

Para la comparación de los contenidos en antocianos se realiza una transformación de los resultados obtenidos (mmol equivalentes de cianidina-3-glucósido por cm²) a (mg por 100 g pf de zanahoria) (Tabla 4). Para ello se tienen en cuenta las características de la zanahoria (Bettin *et al.* 2024) que presenta una forma semejante a un cilindro de cuerpo geométrico, cuyo volumen real promedio es de 178,57 mL y el área superficial real promedio es de 215 cm², con una densidad real promedio de 1,037 g/mL.

Lo que significa que 178,57 x 1,037=185,17709 proporciona la masa (g) que presenta una zanahoria de 215 cm² de superficie. Por lo que una unidad de superficie (cm²) tiene 0,861 g de zanahoria. Teniendo en cuenta que el peso molecular de la cianidina-3-glucósido es

Tabla 3. Composición en polifenoles totales, capacidad antioxidante total, antocianos, carotenoides totales y vitamina C de las zanahorias en función del color.

Tipo de zanahoria	Polifenoles ¹	Capacidad antioxidante ²	Antocianos ³	Carotenoides ⁴	Vitamina C ⁵
Morada	102,19 ^a ±4,597	98,36 ^a ±5,507	121,57 ^a ±10,434	0,463 ^b ±0,303	31,33 ^a ±1,855
Naranja	46,49 ^c ±3,251	43,97 ^b ±3,894	1,14 ^b ±7,378	1,147 ^{ab} ±0,214	8,03 ^b ±1,3129
Amarilla	83,63 ^b ±3,251	34,24 ^b ±3,894	0,741 ^b ±7,378	1,695 ^a ±0,214	11,58 ^b ±1,312
p-value	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000

¹. mg EAG 100 g⁻¹ pf; ². μmol ET·100 g⁻¹ pf; ³. mmol de equivalentes de cianidina-3-glucósido por cm²; ⁴. mg 100 g⁻¹ pf; ⁵. mg 100 g⁻¹ pf.

Tabla 4. Transformación del contenido en antocianos.

Tipo de zanahoria	Antocianos ^a	Antocianos ^b	Antocianos ^c
Morada	121,57	141,196	6,848
Naranja	1,14	1,324	0,064
Amarilla	0,741	0,861	0,042

^a. mmol equivalentes de cianidina-3-glucósido por cm²; ^b. mmol equivalentes de cianidina-3-glucósido por g; ^c. mg por 100 g pf de zanahoria

de 484,83 g por mol, los cálculos permiten transformar los resultados y pasarlos a mg de antocianos por 100 g pf de zanahoria.

Según los estudios de Cuevas Montilla *et al.* (2011), el contenido en antocianos también muestra variación en función del cultivar de la zanahoria morada, oscilando entre 1,5 y 17,7 mg de antocianos/100 g de peso fresco de zanahoria. Los contenidos de la zanahoria morada del presente estudio están en el rango que indican estos autores. Estos valores de antocianos fueron comparables a los informados anteriormente para varios genotipos de patatas de pulpa morada (Rodríguez-Saona *et al.* 1998). Los contenidos de antocianinas de la zanahoria morada en cualquier caso son inferiores a los reportados para la grosella negra y los arándanos (476-365 mg/100 g pf), pero fueron similares a los valores de otros alimentos como la ciruela (19-124 mg/100 g pf), fresas (21-40 mg/100 g pf), cebolla morada (49 mg/100 g pf) y uvas rojas (27 mg/100 g pf) (Wu *et al.*, 2006).

La principal antocianina detectada en la zanahoria morada se corresponde con un derivado de cianidina, la cual de acuerdo con identificación sugerida mediante HPLC-DAD (Vergara *et al.* 2019) es cianidina-3-xilósil-glucosil-galactósido acetilada con ácido sinápico, a diferencia de lo observado con otras materias primas como los frutos de calafate y de patata morada, que poseen mayoritariamente antocianinas del grupo delfinidinas, malvinidinas y petunidinas. Es importante destacar que las antocianinas detectadas en la zanahoria morada han sido asociadas con efectos beneficiosos en enfermedades como diabetes, enfermedades cardiovasculares y estrés oxidativo, entre otros (Pereira-Caro *et al.*, 2021).

Los trabajos de Nagraj *et al.* (2020) muestran que 100 g de zanahoria fresca aportan 5,9 mg de

vitamina C. Este valor está próximo a los encontrados para el caso de las zanahorias naranjas y amarillas, pero las zanahorias moradas aportan significativamente más vitamina C. Los altos valores en vitamina C de la zanahoria morada la configuran como un alimento rico en esta vitamina.

Los carotenoides de las zanahorias son responsables de la pigmentación amarilla, naranja y roja (Simon & Wolff, 1987). Los carotenoides están presentes en pequeñas cantidades en la zanahoria silvestre, y su contenido ha ido aumentando gracias a la evolución, domesticación y selección. Representan una parte importante de los compuestos bioactivos de las zanahorias y se han estudiado desde hace años por sus beneficios para la salud, incluida la protección contra ciertos cánceres y enfermedades cardiovasculares (Arscott & Tanumihardjo, 2010). Estos componentes están en mayor concentración en las zanahorias naranjas y amarillas, aunque los niveles encontrados en las zanahorias moradas no difieren de los presentes en las zanahorias naranjas, pero sí de las amarillas. A excepción de los carotenoides, el resto de componentes bioactivos son superiores en la zanahoria morada, incluso las concentraciones de carotenoides totales en estas zanahorias moradas son también importantes. Todo ello se refleja en la mayor capacidad antioxidante total de estas zanahorias moradas frente a las zanahorias naranjas o amarillas.

Para estudiar el efecto que la composición de las zanahorias presenta sobre la capacidad antioxidante se realiza una regresión múltiple, mediante el método de Pearson, entre cada par de variables (Tabla 5).

El rango de los coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. El valor de p-value indica el nivel de significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores inferiores de p-value a 0,05 indican correlaciones

Tabla 5. Tabla de correlaciones entre parámetros en las zanahorias.

Parámetro	Estadístico	MS	Proteína	Cenizas	Grasa	Fibra	HdC	Polifenoles	C Antioxidante	Antocianos	Carotenoides
Proteína	Coef. regresión	0,7065									
	p-value	0,0032									
Cenizas	Coef. regresión	0,9270	0,5721								
	p-value	0,0000	0,0258								
Grasa	Coef. regresión	0,2696	-0,0025	0,3313							
	p-value	0,3311	0,9931	0,2278							
Fibra	Coef. regresión	0,4220	0,6655	0,3740	0,2215						
	p-value	0,1172	0,0068	0,1697	0,4276						
HdC	Coef. regresión	0,9497	0,7963	0,8823	0,3357	0,6806					
	p-value	0,0000	0,0004	0,0000	0,2212	0,0052					
Polifenoles	Coef. regresión	0,3141	0,2747	0,3813	-0,2357	0,3229	0,3467				
	p-value	0,2543	0,3217	0,1608	0,3977	0,2404	0,2055				
C Antioxidante	Coef. regresión	-0,3785	-0,5612	-0,2399	-0,5137	-0,5472	-0,5128	0,4177			
	p-value	0,1642	0,0295	0,3890	0,0501	0,0348	0,0506	0,1214			
Antocianos	Coef. regresión	-0,2078	-0,3823	-0,0806	-0,4176	-0,3841	-0,3165	0,6452	0,8568		
	p-value	0,4575	0,1597	0,7752	0,1214	0,1575	0,2505	0,0094	0,0000		
Carotenoides	Coef. regresión	0,2394	0,5496	0,1438	0,2254	0,4877	0,3726	-0,1095	-0,5046	-0,6078	
	p-value	0,3901	0,0338	0,6091	0,4193	0,0651	0,1714	0,6976	0,0551	0,0162	
Vitamina C	Coef. regresión	-0,1078	-0,3142	0,0124	-0,3723	-0,2793	-0,2012	0,6635	0,9063	0,8730	-0,3993
	p-value	0,7021	0,2541	0,9649	0,1718	0,3134	0,4722	0,0070	0,0000	0,0000	0,1403

significativas, con un nivel de confianza del 95,0%. Se observa que la materia seca se relaciona estadísticamente y de forma positiva con el contenido en proteína, los minerales totales y los hidratos de carbono. Además, el contenido mineral o cenizas se relaciona positivamente con la concentración en hidratos de carbono. Estas relaciones están justificadas por el nivel de minerales que se alcanzan en las zanahorias como consecuencia de la adecuada fertilización y nutrición de la planta (Jesus et al. 2021). Cuando no existe deficiencia en la nutrición mineral, los procesos de respiración y fotosíntesis contribuyen a la producción y acumulación de carbohidratos y a la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas en los tejidos de las raíces de zanahorias. Esto también justifica la relación positiva entre el contenido en proteínas con las cenizas o minerales totales, fibra y el contenido en hidratos de carbono.

Los niveles de vitamina C de las raíces de zanahoria estudiadas presentan una fuerte correlación con los polifenoles totales, el contenido en antocianos y la actividad antioxidante total. Las vías metabólicas que conducen a la producción de fitonutrientes de naturaleza antioxidante, como los carotenoides, la vitamina C y los ácidos fenólicos totales, dependen del ambiente y de la genética (Singh et al., 2012). La carga genética vinculada a la producción de estos compuestos en las raíces de zanahoria se relaciona estrechamente con el color de la zanahoria, así en las zanahorias anaranjadas, los cromoplastos de la raíz acumulan carotenoides en plastoglobulos compuestas de lípidos y proteínas (Gong et al. 2024), estos compuestos se relacionan negativamente con los antocianos, lo que demuestra que cuando la zanahoria sintetiza carotenoides, no sintetiza antocianos

y viceversa. Además, según Pérez et al. (2023), la carga de antocianos es la parte más influyente en la capacidad antioxidante de las zanahorias, lo que coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo. El hecho de que los carotenoides se relacionen negativamente con la capacidad antioxidante de las zanahorias se ha puesto de manifiesto en otros trabajos (Sun et al. 2009; Yoo et al. 2020; Pérez et al. 2023), algo que puede ser justificado por la realización de extractos hidrofílicos en la capacidad antioxidante, mientras que los carotenoides presentan un marcado carácter lipofílico.

Para completar el estudio se evalúa qué grupo de componentes de la composición nutricional de las zanahorias estudiadas están relacionados entre sí, empleando un análisis factorial. El análisis factorial es una técnica multivariante que utiliza un procedimiento que permite descomponer una matriz de correlaciones en unos pocos factores que son combinación lineal de los componentes analizados en los frutos, y que explican las correlaciones entre dichos parámetros. Es decir, el análisis factorial se utiliza para evaluar e interpretar las correlaciones encontradas entre un grupo de parámetros, con la finalidad de descubrir los posibles factores comunes a todos ellos. Los parámetros que tienen la máxima correlación entre sí y que son además suficientemente independientes de otros, se agrupan en factores. Cada factor está constituido por una combinación lineal de un subconjunto de los parámetros originales y es independiente de los otros factores. En este caso, se ha obtenido un modelo con tres factores principales que han obtenido un eigenvalor mayor o igual a 1,0. Con estos tres factores se consigue explicar el 85,01% de la variabilidad en los datos originales (Tabla 6).

Tabla 6. Tabla de correlaciones entre parámetros en las zanahorias.

Componente	Eigenvalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	5,13407	46,673	46,673
2	3,05657	27,787	74,460
3	1,16004	10,546	85,006
4	0,71623	6,511	91,517
5	0,532348	4,840	96,357
6	0,191496	1,741	98,098
7	0,0891265	0,810	98,908
8	0,0604711	0,550	99,458
9	0,0470346	0,428	99,885
10	0,0126179	0,115	100,000
11	-3,64292E-16	0,000	100,000

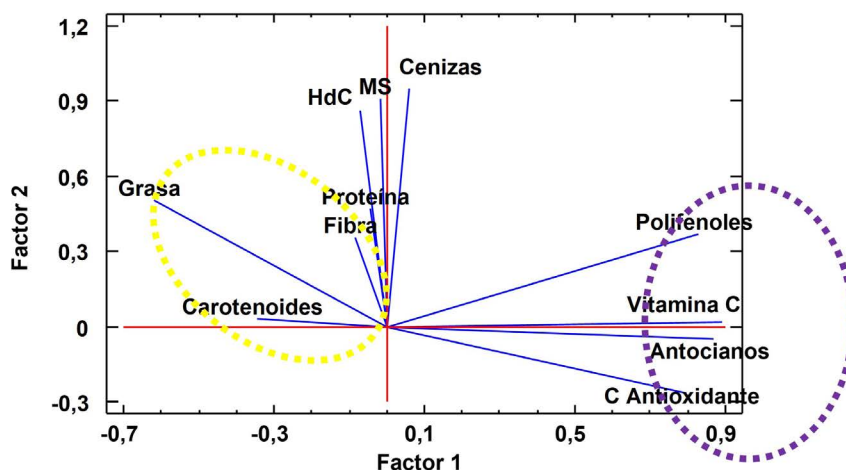


Figura 2. Gráfico de dispersión de los pesos de los factores principales de los componentes nutricionales de la zanahoria.

La distribución de cargas de este modelo factorizado se muestra en la Figura 2. Las muestras estudiadas en este trabajo permiten la clasificación en dos categorías. Por un lado, están las zanahorias que presentan altos valores del factor 1 y bajos del factor 2, se caracteriza principalmente por su alto contenido en compuestos polifenólicos, alto contenido en antocianos, alto contenido en vitamina C y alto valor de la capacidad antioxidante, en este grupo se englobaría principalmente las zanahorias moradas, observándose que el contenido en antocianos y la vitamina C contribuyen positivamente al incremento de la capacidad antioxidante de las zanahorias. El segundo grupo está caracterizado por zanahorias que presentan bajos valores del factor 1 y altos valores del factor 2, en este grupo se encuadran las raíces que presentan altos valores de carotenoides. Los carotenoides se caracterizan por ser sustancias que en su mayoría son solubles en solventes apolares, como la grasa. Curiosamente este segundo grupo se caracteriza por agrupar a los parámetros de la grasa y los carotenoides. En este grupo se agrupan principalmente las zanahorias de color amarillo.

Estos resultados corroboran los valores de relaciones y permiten establecer relaciones entre los parámetros de naturaleza antioxidante y entre estos y alguna variable de la composición proximal de las zanahorias bajo condiciones de producción ecológica.

Conclusiones

La zanahoria morada bajo condiciones de producción ecológica se ha caracterizado por su alto contenido de antocianos, que además de ser responsables del color característico de esta zanahoria, son el grupo más importante de pigmentos hidrosolubles que influyen en la capacidad antioxidante de las zanahorias. Las zanahorias amarillas de producción ecológica se han caracterizado por presentar mayores contenidos en carotenoides. Bioquímicamente ocurre que cuando la zanahoria sintetiza antocianos se minimiza la síntesis

de carotenoides y viceversa. Las correlaciones positivas encontradas entre los fitonutrientes de naturaleza antioxidante sugieren que los antocianos y los compuestos polifenólicos en las zanahorias de producción ecológica son los contribuyentes más importantes a la capacidad antioxidante. El arcoíris en las zanahorias es un buen complemento para incidir en alimentos que pueden tener un consumo en fresco importante. La mezcla de estas zanahorias de producción ecológica son un aporte nutricional y contribuyen a combatir el estrés oxidativo y fortalecen el sistema inmunológico.

Este trabajo se presentó al XV Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica realizado en Cáceres en abril de 2024.

Bibliografía

- Akhtar S., Rauf A., Imran M., Qamar M., Riaz M., Mubarak M.S. (2017). Black carrot (*Daucus carota* L.), dietary and health promoting perspectives of its polyphenols: A review. Trends in Food Sci. & Technol. 66, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.004>.
- AOAC (2005). Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists. Edited by William Horwitz and George W. Latimer. 18th ed. Washington, DC, USA. http://sutlib2.sut.ac.th/sut_contents/H125800.pdf (accessed 13 March 2023).
- Arnous A., Makris D.P., Kefalas P. (2002). Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant properties in selected aged regional wines from Greece. J. Food Compos. Anal. 15, 655–665. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1070>.
- Arscott S.A., Tanumihardjo S.A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as functional foods. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 9, 223–239.
- Bettin M., Martínez E.S., Pérez A.F. (2024). Determinación de las características físicas y morfológicas de

- la zanahoria (*Daucus carota*). Disponible en: <https://es.scribd.com/document/435047864/Caracteristicas-de-La-Zanahoria> (accessed 14 April 2024).
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci. Technol.* 28, 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Cuevas Montilla E., Rodríguez Arzaba M., Hillebrand S., Winterhalter P. (2011). Anthocyanin composition of black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) cultivars Antonina, Beta Sweet, Deep Purple, and Purple Haze. *J. Agric. Food Chem.* 59(7), 3385–3390. <https://doi.org/10.1021/jf104724k>.
- Fuleki T., Francis F.J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *J. Food Sci.* 33, 72–77.
- Gong J. *et al.* (2024). Diversity in plastids contributes to variation in fruit color. *Scientia Horticulturae* 337, 113471. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113471>.
- Gracia A., Sánchez A.M., Jurado F., Mallor C. (2020). Making use of sustainable local plant genetic resources: Would consumers support the recovery of a traditional purple carrot?. *Sustainability* 12, 6549. <https://doi.org/10.3390/su12166549>.
- Jesus P.M.M *et al.* (2021). Yield and phosphorus use efficiency of carrot cultivars. *Bioscience Journal* 37, e37085. <https://doi.org/10.14393/BJ-v37n0a2021-54095>.
- Ma J., Chen C., Ma J., Ma W., Yang J. (2020). Analysis of bioactive compounds and antioxidant capacities in different varieties of carrots. *J. Phys. Conf. Ser.* 1549, 032054. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/3/032054>.
- Nagraj G.S., Jaiswal S., Harper N., Jaiswal A.K. (2020). Carrot. In: *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables*. Academic Press, pp. 323–337. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9>.
- Pathare P.B., Opara U.L., Al-Said F.A.J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food Bioproc. Tech.* 6, 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>.
- Pereira-Caro G. *et al.* (2021). Antioxidant activity and bio-accessibility of polyphenols in black carrot (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) and two derived products during simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation. *Foods* 10, 457. <https://doi.org/10.3390/foods10020457>.
- Pérez M.B. *et al.* (2023). Characterization of Purple Carrot Germplasm for Antioxidant Capacity and Root Concentration of Anthocyanins, Phenolics, and Carotenoids. *Plants* 12, 1796. <https://doi.org/10.3390/plants12091796>.
- Prohens J., Nuez F., Carena M.J. (2008). Vegetables II. In: *Handbook of plant breeding*. New York: Springer, pp. 327–357.
- Ribes-Moya A.M., Raigón M.D., Moreno-Peris E., Fita A., Rodríguez-Burruezo A. (2018). Response to organic cultivation of heirloom Capsicum peppers: Variation in the level of bioactive compounds and effect of ripening. *PloS one*, 13(11), e0207888. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207888>.
- Rodríguez-Saona L., Giusti M., Wrolstad R. (1998). Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes. *J. Food Sci.* 63, 458–465.
- Rousseaux M.C. *et al.* (2005). QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theor Appl Genet.* 111, 1396–1408. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-0071-7>.
- Simon P.W., Wolff X.Y. (1987). Carotenes in typical and dark orange carrots. *J. Agric. Food Chem.* 35, 1017–1022.
- Singh M.N., Srivastava R., Yadav I. (2021). Study of different varieties of carrot and its benefits for human health: a review. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 10, 1293–1299. <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i1r.13529>.
- Singh D.P., Beloy J., McInerney J.K., Day L. (2012). Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). *Food chemistry* 132, 1161–1170. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.045>.
- Stolarczyk J., Janick J. (2011). Carrot: history and iconography. *Chronica Horticulturae* 51, 13–14.
- Sun T., Simon P.W., Tanumihardjo S.A. (2009). Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of bio-fortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *J. Agric. Food Chem.* 57, 4142–4147. <https://doi.org/10.1021/jf9001044>.
- Vergara C., Zamora O., Álvarez F., Kehr E., Pino M.T. (2019). Zanahoria morada: potencial materia prima para color y antioxidante en Chile. Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias, Informativo n° 38.
- Wang Z.H., Li S.X., Malhi S. (2008). Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *J. Agric. Food Chem.* 88, 7–23.
- Wu X. *et al.* (2006). Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *J. Agric. Food Chem.* 54, 4069–4075. <https://doi.org/10.1021/jf060300>.
- Yoo K.S. *et al.* (2020). Comparing carotene, anthocyanins, and terpenoid concentrations in selected carrot lines of different colors. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 61, 385–393. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00225-6>.
- Zscheille F., Porter J.W. (1947). Analytical methods for carotenes of *Lycopersicon* species and strains. *Anal. Chem.* 19, 47–51. <https://doi.org/10.1021/ac60001a013>