

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



**“VALORIZACIÓN DE LOS COPRODUCTOS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA REMOLACHA:
DESARROLLO DE PRODUCTOS CÁRNICOS HÍBRIDOS”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2023

Autora: Ana Micaela Solivella Poveda

Tutora: Juana Fernández López

Co-tutora: Carmen M^a Botella Martínez

TÍTULO: Valorización de los coproductos de la industrialización de la remolacha: desarrollo de productos cárnicos híbridos.

RESUMEN

La creciente concienciación de los consumidores en relación a una alimentación saludable y el esfuerzo de la industria por satisfacer el patrón de demanda actual, motivan el desarrollo de alimentos funcionales. Así mismo, es necesario incrementar la sostenibilidad del sector alimentario y la valorización de coproductos es una herramienta favorable para ello. Este trabajo se centra en la valorización del orujo de remolacha roja, coproducto de la industrialización de este vegetal. A partir de él se obtuvo un producto tipo harina (HCR). Se incorporó en distintas proporciones a un producto cárnico tipo hamburguesa y se determinó la composición proximal, propiedades físico-químicas y de cocinado de las mismas, así como su aceptación sensorial. Por su contenido en fibra y color rojo, la HCR es idónea para enriquecer productos cárnicos y desarrollar productos cárnicos híbridos.

Palabras clave: coproductos, remolacha roja, productos cárnicos híbridos, fibra dietética, producto tipo harina

TITLE: Valorization of the co-products of beet industrialization: development of hybrid meat products.

ABSTRACT

The growing awareness of consumers in relation to healthy eating and the industry's efforts to satisfy the current pattern of demand motivate the development of functional foods. It is also necessary to increase the sustainability of the food sector and the valorization of co-products is a favorable tool for this purpose. This work focuses on the valorization of red beet pomace, a co-product of the industrialization of this vegetable. A flour-like product (HCR) was obtained from it. It was incorporated in different proportions into a hamburger-type meat product and its proximal composition, physicochemical and cooking properties, as well as its sensory acceptability, were determined. Due to its fiber content and red color, HCR is suitable for enriching meat products and developing hybrid meat products.

Keywords: coproducts, red beet, hybrid meat product, dietary fiber, flour-type product

ÍNDICE

1. INTRODUCCCIÓN.....	6
1.1. La remolacha	6
1.1.1. Definición, características y producción.....	6
1.1.2. Valor nutricional y aptitud funcional de la remolacha	7
1.1.3. La remolacha en la industria alimentaria	9
1.2. Del desperdicio a la valorización de coproductos vegetales	11
1.3. Productos cárnicos funcionales	13
1.4. Productos cárnicos híbridos	15
1.5. Justificación del presente trabajo	16
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos particulares	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Materias primas	17
3.2. Métodos analíticos para la caracterización de harina del coproducto de remolacha roja	18
3.2.1. Rendimiento	18
3.2.2. pH	18
3.2.3. Color	18
3.2.4. Humedad	19
3.2.5. Fibra dietética total	19
3.3. Proceso de elaboración del producto cárnico híbrido (hamburguesas)	20
3.4. Métodos analíticos para la caracterización del producto cárnico híbrido (hamburguesas).....	21
3.4.1. Composición proximal	21
3.4.2. Propiedades físico-químicas	23
3.4.3. Propiedades de cocinado.....	24

3.4.4.	Análisis sensorial	25
3.4.5.	Análisis estadístico	26
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1.	Caracterización de la harina del coproducto de remolacha roja	27
4.1.1.	Rendimiento	27
4.1.2.	Propiedades físico-químicas	27
4.1.3.	Humedad y fibra dietética total.....	31
4.2.	Producto cárnico híbrido (hamburguesas)	31
4.2.1.	Composición proximal de las hamburguesas	31
4.2.2.	Propiedades físico-químicas de las hamburguesas	34
4.2.3.	Propiedades de cocinado de las hamburguesas.....	44
4.2.4.	Análisis sensorial de las hamburguesas	46
5.	CONCLUSIONES	49
6.	BIBLIOGRAFÍA	50

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La remolacha

1.1.1. Definición, características y producción

La remolacha es una planta herbácea bienal perteneciente a la familia *Amaranthaceae*, subfamilia *Betoideae* y designada como *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*, que se cultiva desde la antigua Grecia. Derivan del ancestro silvestre *Beta vulgaris* subsp. *maritima*, una planta halófila de origen próximo al mar Mediterráneo. La parte comestible y de interés comercial de la remolacha es la raíz, donde la planta almacena la mayor parte de sus reservas (Rattin *et al.*, 2022).

En lo que respecta a la clasificación de las remolachas, se han producido frecuentes modificaciones. Existen tres grupos cultivares principales: *conditiva*, *altissima* y *crassa* (Figura 1). A pesar de las características que presentan en común, la subespecie botánica a la que pertenecen y el órgano de interés, conforman tres cultivos muy distintos (Rattin *et al.* 2022).



Figura 1. Principales cultivares de remolacha: *conditiva*, *altissima* y *crassa* (de izquierda a derecha). Fuente: Imágenes obtenidas de Google – [conditiva](#), [altissima](#) y [crassa](#).

La remolacha roja o remolacha de mesa es una forma cultivada de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *conditiva*, con una raíz engrosada comestible (Figura 2), que se cultiva en América, Europa y Asia (Wruss *et al.*, 2015). Las cifras de producción mundial en 2017 se encuentran en torno a 301 millones de toneladas, siendo Europa Occidental la mayor productora generando aproximadamente el 70% de la producción total (200 millones de toneladas) (Domínguez *et al.*, 2020).

Cabe destacar que, su contenido en azúcar es dos veces menor al de su subespecie congénere *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima*, conocida como remolacha azucarera. Por lo tanto, mientras que *altissima* es cultivada para la producción de azúcar, la remolacha *conditiva*, se cultiva para su empleo en elaboraciones alimenticias como encurtidos, ensalada, zumo, etc. En este sentido, es interesante mencionar que, el azúcar principal de la remolacha es la sacarosa, presentando pequeñas cantidades de glucosa y fructosa (Wruss *et al.*, 2015).



Figura 2. *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *conditiva*.

Fuente: Imagen obtenida de [Google](#)

1.1.2. Valor nutricional y aptitud funcional de la remolacha

En lo que respecta a la composición nutritiva de la remolacha cabe destacar que presenta elevadas cantidades de fibra dietética y un importante contenido de compuestos biológicamente activos, como son las betalaínas, los carotenoides, alcaloides, glucósidos, ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, cumarinas, saponinas, vitaminas, fitoesteroles, minerales y nitrato inorgánico. En la Figura 3 se muestran los principales compuestos bioactivos presentes en la remolacha (Domínguez *et al.*, 2020):

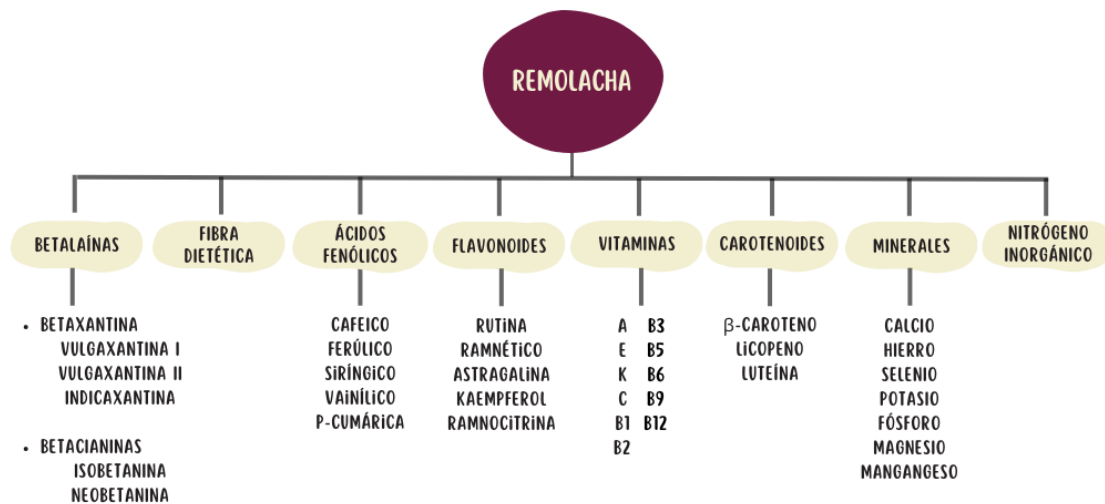


Figura 3. Principales compuestos bioactivos presentes en la remolacha (esquema adaptado de Domínguez *et al.* (2020).

Debido a la presencia de estos componentes la remolacha se reconoce como un alimento promotor de la salud, promoviéndose su consumo en todo el mundo, tanto cruda como cocinada. Concretamente, en el este de Europa es muy popular la sopa de remolacha; en cambio, en el sur de América es más tradicional la remolacha en escabeche. Así mismo, en Australia la remolacha se emplea como ingrediente de sándwiches (Figura 4) (Chhikaraa *et al.*, 2019).



Figura 4. Tipología tradicional de consumo de remolacha roja en ciertas zonas geográficas. Fuente: Imágenes obtenidas de Google - [remolacha en escabeche](#), [América del sur](#), [sopa de remolacha](#) y [este de Europa](#).

En relación con las betalaínas, cabe destacar que se trata un grupo de metabolitos fenólicos secundarios de las plantas, de las que deriva el color rojo de las remolachas, como se comentará más adelante. Se ha visto que éstas poseen posibles beneficios para la salud humana, especialmente por sus actividades antioxidantes y antiinflamatorias,

pero también destaca la capacidad inhibitoria de la peroxidación lipídica, una mayor resistencia a la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad y efectos quimiopreventivos (Wruss *et al.*, 2015).

Es imprescindible tener en cuenta que la composición química y nutricional de la remolacha difiere en función de diversas variables, como son las condiciones edafoclimáticas, el estado de maduración o las condiciones de recolección, entre otras. Así mismo, será fundamental tener en cuenta la fracción de interés de este producto, pues, de acuerdo a la parte anatómica de la planta la composición también varía, incluso se pueden encontrar diferencias entre la piel y la pulpa, presentado la primera una mayor proporción de pigmentos que la pulpa y la mitad del contenido fenólico total (Marrone *et al.*, 2021; Domínguez *et al.*, 2020).

1.1.3. La remolacha en la industria alimentaria

Debido a sus características sensoriales, nutricionales, funcionales y tecnológicas, el uso de la remolacha ha despertado un gran interés tanto por los investigadores como por las industrias alimentarias (Chhikara *et al.*, 2019). Uno de los factores que realzan el interés por la remolacha en aplicaciones alimentarias es su contenido en betaninas, la forma 5-glucosilada de la betanidina (Figura 5), principales responsables del color rojo de este alimento. En este sentido, cabe destacar que el uso del colorante alimentario natural denominado rojo remolacha se encuentra autorizado tanto en la Unión Europea, con el código E162, como en Estados Unidos, autorizado por la FDA con el número 73.40 (Botella-Martínez *et al.*, 2023).

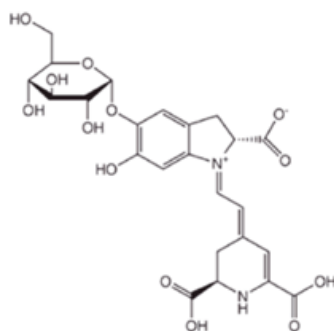


Figura 5. Estructura química de la betanina presente en la remolacha.

Su uso como colorante (tanto la remolacha como sus extractos) en la industria alimentaria ya está extendido y hay muchos estudios referentes a los factores que afectan a su estabilidad a lo largo de la vida útil de los diferentes alimentos a los que se incorpora (Botella-Martínez *et al.*, 2023). Los pigmentos extraídos a partir de la remolacha también se emplean para potenciar el color de otros productos como las pastas de tomate, sopas, salsas, postres, mermeladas, jaleas, helados, yogures, queso procesado o cereales de desayuno, pues, además de las ventajas tecnológicas que puede suponer su uso frente a otros colorantes, se puede aprovechar como técnica de marketing en la publicidad aportándole un valor añadido al producto (Chhikara *et al.*, 2019).

Actualmente, debido al auge en la demanda de análogos cárnicos (productos elaborados con vegetales que imitan a los productos cárnicos) se ha visto que la remolacha (y/o sus extractos) se puede usar en estos productos para aportar el color característico de la carne (rojo brillante). Estos extractos deben cumplir con una serie de características, entre las que destaca la capacidad tanto de simular la apariencia de la carne cruda (color rojo) como de virar hacia el color característico obtenido tras el proceso de cocinado (color marrón). Así pues, el zumo de remolacha es uno de los colorantes que más se están incorporando en las formulaciones de análogos cárnicos (Figura 6) (Botella-Martínez *et al.*, 2023).



Figura 6. Aplicación del zumo de remolacha como colorante en formulaciones de hamburguesas veganas. Fuente: [Veganista Blog, 2018](#).

Pero la remolacha también ejerce un papel antioxidante y antimicrobiano interesante en los productos cárnicos. Éstos, son percederos, siendo la principal causa de deterioro el estrés oxidativo y el crecimiento microbiano. La oxidación de lípidos y mioglobina se encuentran estrechamente relacionadas, son responsables de la reducción de la calidad

de la carne y la aceleración de los cambios de color. Además, en lo que respecta a la limitación de crecimiento microbiano, cabe destacar que los extractos de remolacha poseen actividad antibacteriana contra una amplia gama de bacterias, aunque no se han encontrado evidencias de que ejerzan actividad inhibidora contra hongos (Domínguez *et al.*, 2020). Así pues, se está dedicando especial esfuerzo a mantener la calidad del producto a lo largo de su vida útil y extender esta última. En este sentido, el empleo de compuestos naturales (como la remolacha) con el fin de reducir los procesos de oxidación y controlar el crecimiento microbiano ha sido el núcleo de investigación de recientes estudios (Domínguez *et al.*, 2020).

Teniendo en cuenta el contenido en betalaínas de la remolacha, que como se ha visto presentan actividad antioxidante, además de conferir el color característico de la remolacha roja, el empleo tanto de zumos, como de pulpa de remolacha, remolacha en polvo o sus extractos se puede considerar una técnica con gran interés para incrementar la vida útil de los productos cárnicos, sustituyendo o limitando la adición de aditivos sintéticos, así como desarrollar análogos cárnicos con el color típico de la carne fresca e incluso de la carne cocinada.

En la aplicación de la remolacha en productos cárnicos también cabe destacar las ventajas que aporta su contenido en nitrato inorgánico, pues, como se sabe el empleo de nitratos y nitritos en la industria cárnica es de gran interés debido a sus efectos antioxidantes, protectores del color y conservantes. Sin embargo, su adición es un aspecto sometido a una gran controversia y se está tratando de reducir su aplicación en la industria alimentaria. Así pues, el uso de extractos naturales ricos en nitrato y/o nitrito puede considerarse una alternativa al uso de nitratos y/o nitritos como aditivos, que cumple con los requisitos tecnológicos. De manera que se podrían emplear productos obtenidos a partir de la remolacha como aporte de nitratos inorgánicos. Sin embargo, se deberá tener en cuenta que, de acuerdo al producto escogido se tendrá un mayor o menor aporte de nitrato, habiendo por ejemplo en zumo una concentración de 4965 mg/L mientras que en remolacha en polvo sería de 14,037 mg/kg (Domínguez *et al.*, 2020).

1.2. Del desperdicio a la valorización de coproductos vegetales

Se estima que cada año se generan 1300 millones de toneladas de residuos alimentarios en todo el mundo, lo que representa un tercio de la producción total de la industria

alimentaria (ONU, 2019). Los residuos suponen un riesgo para alcanzar el doceavo Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas: consumo y producción responsables. Entre el desperdicio de alimentos, los residuos de frutas y hortalizas suponen la parte principal (42 %) (Ganesh *et al.*, 2022). Los residuos se componen generalmente de cáscaras, orujo, semillas, tallos, hojas y vainas (Choo & Saik, 2021). Estos restos vegetales se suelen eliminar como residuo o se emplean como subproductos para la alimentación animal, el compostaje o la producción de energía. Sin embargo, esta forma convencional de gestionar los restos de frutas y hortalizas originan una pérdida de biomasa valiosa, pues, los restos del procesado de vegetales son una fuente potencial de compuestos bioactivos, un aspecto importante en el contexto de una economía circular (Ganesh *et al.*, 2022).

Se ha reportado que el rendimiento de obtención de zumo a partir de remolacha fresca se encuentra en torno al 54,7 % (Botella-Martínez *et al.*, 2023). Generándose, por tanto, alrededor de un 45,3 % de orujo que puede catalogarse convencionalmente como residuo. Sin embargo, como se ha citado previamente, la remolacha roja es muy conocida por su contenido en compuestos bioactivos y nutricionalmente interesantes, como son los compuestos fenólicos, la fibra, las vitaminas y las betalaínas, entre otros. Concretamente, la fracción de orujo resultante tras la extracción del zumo es rica en carbohidratos (Del Amo-Mateos *et al.*, 2023); aproximadamente la mitad de la composición del orujo es fibra dietética (50,8 %) (Tabla 1), en su mayor parte insoluble (40,1 %). Uno de los constituyentes de la fibra dietética es la pectina. Cabe destacar que, su masa molar, su viscosidad y la forma de espiral aleatoria extendida asociada a la proteína, el ácido ferúlico y los maltooligosacáridos sugieren que puede actuar como ingrediente alimentario espesante y estabilizante, lo que es interesante para el desarrollo e innovación de ciertos productos. Además, de acuerdo con los resultados de recientes investigaciones, la arabinosa de la pectina de remolacha roja y los oligosacáridos pécticos ricos en galactosa confieren actividad prebiótica (Hotchkiss *et al.*, 2022). Sin embargo, existen pocos estudios tratando de valorizar los carbohidratos de este coproducto (Del Amo-Mateos *et al.*, 2023).

Tabla 1. Composición de la fracción de orujo de remolacha roja (Hotchkiss *et al.*, 2022).

	%
Proteína	10,2
Humedad	14,0
Grasa	0,8
Cenizas Totales	4,4
Fibra Dietética Total	50,8
Azúcares Totales	11,5
Fructosa	1,1
Glucosa	2,3
Sacarosa	8,1

Por lo tanto, el porcentaje residual de materia vegetal obtenida en la elaboración del zumo de remolacha puede servir potencialmente como una fuente viable de compuestos bioactivos que podrían tener impactos positivos tanto a nivel tecnológico como nutricional en la elaboración, desarrollo e innovación de productos alimenticios.

1.3. Productos cárnicos funcionales

A lo largo de los siglos la percepción de la alimentación ha cambiado. Debido a la evolución de la ciencia de la nutrición, los alimentos ya no se consideran únicamente como un medio de obtención de energía y nutrientes, sino que se conciben como un factor clave para el crecimiento, desarrollo y bienestar físico y mental, que influye en la prevención de algunas enfermedades relacionadas con la dieta. Así pues, debido a la creciente concienciación de los consumidores, la industria alimentaria ha concentrado gran parte de su esfuerzo en desarrollar productos con beneficios potenciales para la salud, principalmente adicionando sustancias funcionales (Manassi *et al.*, 2022).

La carne y los productos derivados de la misma se consideran una fuente importante de proteínas y de ciertos compuestos bioactivos beneficiosos para la salud humana, como

vitaminas, minerales, péptidos o ácidos grasos (Pogorzelska-Nowicka *et al.*, 2022). Por el contrario, destaca la ausencia de fibra y la presencia de grasas saturadas (Kausar *et al.*, 2019).

Para cumplir con las expectativas del consumidor y hacer frente a la intensificación de la competencia mundial entre productores de derivados cárnicos, la industria cárnica concentra grandes esfuerzos en el desarrollo e innovación de productos cárnicos más sanos (Pogorzelska-Nowicka *et al.*, 2022). En este sentido, el empleo de ingredientes funcionales ofrece a la industria la oportunidad de mejorar el valor funcional y nutricional de los productos cárnicos. Entre dichos ingredientes funcionales destacan los subproductos de cereales, frutas, legumbres, así como fibra dietética o bacterias ácido lácticas entre otros (Kausar *et al.*, 2019).

Una de las líneas de investigación con gran impacto actualmente apunta a la incorporación de fibra dietética y antioxidantes en productos cárnicos. La incorporación de fibra dietética es muy codiciada debido a las ventajas que aporta, tanto a nivel tecnológico como en lo referente a la salud humana. El consumo de alimentos con una elevada proporción de fibra dietética se relaciona con una reducción del riesgo de obesidad, cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares, entre otros (Kausar *et al.*, 2019).

Existen diversas fuentes de fibra dietética como el salvado de trigo, avena, la soja o la remolacha azucarera, que se han incorporado a las formulaciones de determinados productos cárnicos, entre ellos hamburguesas. Se ha visto que la incorporación de fibra dietética en productos cárnicos mejora la textura y el rendimiento del cocinado (menores pérdidas), ya que, brinda mejoras en la capacidad de retención de agua y grasa, lo que a su vez mejora la palatabilidad (Kausar *et al.*, 2019).

Como se ha mencionado previamente, la remolacha roja y los extractos obtenidos a partir de ella, presentan numerosos compuestos bioactivos que, además de sus beneficios para la salud humana, presentan un elevado valor industrial como consecuencia principalmente de su actividad antibacteriana, antioxidante (betalaínas, ácidos fenólicos y flavonoides), colorante (betalaínas) y estabilizadora (nitratos y nitritos). Pese a este gran potencial, la aplicación de la remolacha o los productos derivados de la misma en la industria cárnica

es muy limitada. En este sentido, la mayoría de los estudios existentes se enfocan en los procesos de extracción y purificación de betalaínas y compuestos fenólicos, siendo muy pocos los estudios realizados sobre la aplicación de la remolacha roja o sus coproductos como ingredientes alimentarios. Entre otras dificultades para llevar a cabo estos estudios destaca la complejidad a la hora de comparar los principales efectos de la adición de la remolacha sobre los productos cárnicos propiamente dichos, debido fundamentalmente a dos factores: la variabilidad de productos cárnicos empleados en las investigaciones y las diversas estrategias posibles empleadas en la adición de remolacha (en polvo, como zumo, como extracto fermentado o no, líquido o deshidratado, encapsulado etc.). Sin embargo, cabe destacar que estos últimos años se ha mostrado un crecimiento del interés por la aplicación de la remolacha en la reformulación de productos cárnicos funcionales y de sus análogos vegetales (Domínguez *et al.*, 2020).

1.4. Productos cárnicos híbridos

Los productos cárnicos híbridos combinan ingredientes cárnicos y vegetales, encontrándose como salchichas, hamburguesas o carne picada, entre otros formatos. No existen proporciones determinadas de ingredientes cárnicos y vegetales, ni limitaciones específicas para el componente vegetal, que puede ser tanto legumbres como frutas u hortalizas, así como mezclas de las mismas. En este sentido, los productos cárnicos híbridos podrían ser adecuados para cerrar la brecha entre los productos de origen animal y los de origen vegetal. El uso de materias primas vegetales en los productos cárnicos se encuentra generalmente enfocado en generar beneficios tanto nutritivos como ecológicos (Grasso *et al.*, 2022).

Debido al incremento de la proporción de la población que practica una dieta flexitariana (Derbyshire, 2016), basada principalmente en el consumo de productos de origen vegetal y en un consumo ocasional de productos cárnicos (Grasso *et al.*, 2022), estos productos híbridos constituyen una estrategia viable para responder a este patrón de consumo.

Además, se ha visto que la incorporación en productos cárnicos de coproductos de la industria alimentaria, como el salvado de arroz o los granos de cervecería reciclados entre otros, reemplazando algunos o todos los aglutinantes tradicionales e incluso sustituyendo la carne magra, resulta beneficioso en términos nutricionales, tecnológicos, económicos e incluso, en algunos casos, sensoriales (Aviles *et al.*, 2023; Talens *et al.*, 2022).

1.5. Justificación del presente trabajo

Actualmente, las tendencias en el sector cárnico están apuntando hacia la elaboración, desarrollo e innovación de productos más saludables y una de sus vertientes son aquellos productos con mayor cantidad de compuestos funcionales como la fibra dietética. Además, el interés por una producción más sostenible es cada vez mayor, por ello, la valorización de coproductos presenta un papel destacable en la industria alimentaria. Por todo ello, se plantea el presente trabajo sobre el desarrollo de hamburguesas híbridas con incorporación de un producto tipo harina obtenido a partir del orujo de la remolacha roja, un coproducto generado en la obtención de zumo de remolacha.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar y caracterizar hamburguesas con incorporación de un producto tipo harina obtenido a partir de los coproductos de la industrialización de la remolacha roja.

2.2. Objetivos particulares

- ✓ Determinar la composición proximal de las hamburguesas control y con incorporación de harina de coproducto de remolacha roja.
- ✓ Determinar las propiedades físico-químicas y de cocinado de las distintas hamburguesas, tanto de la hamburguesa control como de las hamburguesas con harina de coproducto de remolacha roja.
- ✓ Analizar sensorialmente las hamburguesas elaboradas a partir de las distintas formulaciones.
- ✓ Optimizar las condiciones de elaboración de hamburguesas con harina de coproducto de remolacha roja.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materias primas

La harina del coproducto de remolacha roja (HCR) empleada se obtuvo a partir del coproducto generado en la obtención de zumo de remolacha (orujo de remolacha). Para ello se introdujeron en una licuadora (LI-240 de Sammic) la raíz carnosa de la remolacha (incluyendo la piel) y se separó zumo y orujo (coproducto). Este último se desecó a 60 °C durante 22 horas, se llevó a cabo su molienda con un molinillo (Black+Decker, BXCG150E (9CH), 150 W) y el producto resultante se tamizó mediante un tamiz con una luz de malla de 0,020 mm (Figuras 7 y 8).

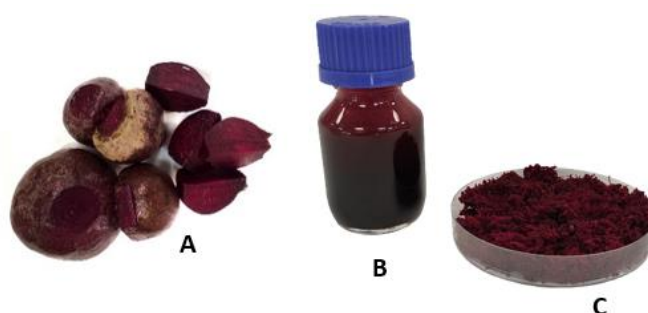


Figura 7. Fracciones obtenidas tras el licuado de la remolacha. (A) Remolacha roja empleada. (B) Zumo obtenido tras el licuado de la remolacha. (C) Coproducto obtenido tras el licuado de la remolacha.



Figura 8. Resultado obtenido tras el secado, molienda y tamizado del orujo de remolacha. (A) Coproducto obtenido tras el licuado de la remolacha. (B) Harina obtenida a partir del coproducto de remolacha roja.

Las materias primas cárnicas (magro de ternera y panceta de cerdo) fueron obtenidas en una carnicería local de Orihuela (España), transportadas a la planta piloto de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) de la Universidad Miguel Hernández y conservadas en refrigeración (4 ± 2 °C) hasta su uso.

3.2. Métodos analíticos para la caracterización de harina del coproducto de remolacha roja

3.2.1. Rendimiento

Para la determinación del rendimiento de obtención de la harina se registraron los pesos tanto del coproducto (orujo) resultante tras la obtención del zumo de remolacha, como tras su secado, molienda y tamizado (Figura 9). Para el cálculo se tuvo en cuenta que el peso del orujo (Pi) era el 100 % y el peso de la harina total obtenida era el peso final (Pf):

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_f}{P_i} \times 100 \text{ (Ec. 1)}$$



Figura 9. Pesada del coproducto de remolacha en fresco (A) y de la harina(B).

3.2.2. pH

Para la determinación del pH, se disolvió 1 gramo de muestra en 10 mL de agua destilada y desionizada. Se determinó el pH de la suspensión mediante un pH-metro (modelo pH/lon, Eutech, Instruments Pte Ltd., Singapur). El ensayo se realizó por triplicado.

3.2.3. Color

Se obtuvieron las coordenadas colorimétricas del espacio de color CIELAB* [Luminosidad (L*), coordenada rojo-verde (a*) y coordenada amarillo-azul (b*)] utilizando un colorímetro Minolta CM-700d (Minolta Camera Co, Osaka, Japón), con los siguientes ajustes: iluminante D₆₅, modo SCI y ángulo de observación 10°. Entre la muestra y el equipo se

colocó un vidrio de baja reflectancia (Minolta CR-A51/1829-752). Se realizaron 6 medidas al coproducto (orujo) de remolacha antes del secado y 6 determinaciones a la harina.

Se consideró de interés calcular y presentar valores de las magnitudes psicofísicas croma (C^*) y tono (h^*), cuyo cálculo se realizó mediante las ecuaciones 2 y 3:

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad (\text{Ec. 3})$$

El índice de rojez (IR) se calculó siguiendo la ecuación 4:

$$\text{IR} = \frac{a^*}{b^*} \quad (\text{Ec. 4})$$

También se obtuvo el espectro de reflectancia de las muestras entre 360 y 740 nm con medidas cada 10 nm.

3.2.4. Humedad

La determinación del contenido de humedad, se llevó a cabo de acuerdo con el método de la AOAC 925.45 (AOAC, 2010). Los resultados se expresaron en g agua / 100 g de muestra. Esta determinación se realizó por triplicado.

3.2.5. Fibra dietética total

Para determinar el contenido de fibra dietética se realizó el método enzimático gravimétrico propuesto por la AOAC (AOAC, 2007). Para ello se emplearon las enzimas alfa-amilasa, proteasa y amiloglucosidasa, además de tampón fosfato y etanol al 95 %. Tras la adición de la primera enzima las muestras se llevaron a un baño a 100 °C; en cambio, la temperatura de los baños en los que se incubaron las muestras tras la adición de las otras dos enzimas fue de 60 °C. Antes de adicionar la solución de proteasa y la de amiloglucosidasa se ajustó el pH con NaOH y HCl, respectivamente. Para la filtración y el enjuague del residuo en el crisol se empleó un equipo de filtración modelo CSF6 (Velp Scientifica, Italia).

3.3. Proceso de elaboración del producto cárnico híbrido (hamburguesas)

Se elaboraron tres formulaciones diferentes de hamburguesas, para evaluar la influencia de la incorporación de HCR: C: muestra control. BR4: hamburguesa híbrida elaborada con un 4 % de HCR. BR8: hamburguesa híbrida elaborada con un 8 % de HCR. Los porcentajes de ingredientes no cárnicos están relacionados con el 100% de carne (Tabla 2).

Tabla 2. Formulaciones de los distintos lotes de hamburguesas (g).

	C	BR4	BR8
MAGRO DE TERNERA	80	80	80
PANCETA DE CERDO	20	20	20
AGUA (HIELO)	6	6	6
HCR	-	4	8
SAL	1,5	1,5	1,5
PIMIENTA	0,05	0,05	0,05

Se elaboró 1 Kg de cada uno de los tres lotes (C, BR4, BR8). Para dicha elaboración, se extrajeron de refrigeración las materias cárnicas y se pesaron. Sobre el magro se adicionó la sal y posteriormente el agua (en forma de hielo). Tras su amasado se incorporó la pimienta y, en el caso de BR4 y BR8, se adicionó en quinto lugar la HCR. Cabe destacar que, durante la elaboración, atendiendo a las características de la HCR, se optimizó la cantidad de agua incorporada, incrementándose el porcentaje normal hasta un 6 % final que permitió que la estructura de la masa cárnica fuese la apropiada. Dicho porcentaje se optimizó primeramente con el lote de mayor concentración de HCR (BR8) y, una vez realizado, se aplicó el mismo porcentaje a los otros lotes para no agregar ninguna otra variable al proceso. En el último momento se incorporó la panceta. Una vez homogeneizada la mezcla, se pesaron porciones de 40 g aproximadamente y, finalmente, se dio forma a las hamburguesas mediante prensas de hamburguesas de 7 cm de diámetro (Figura 10).

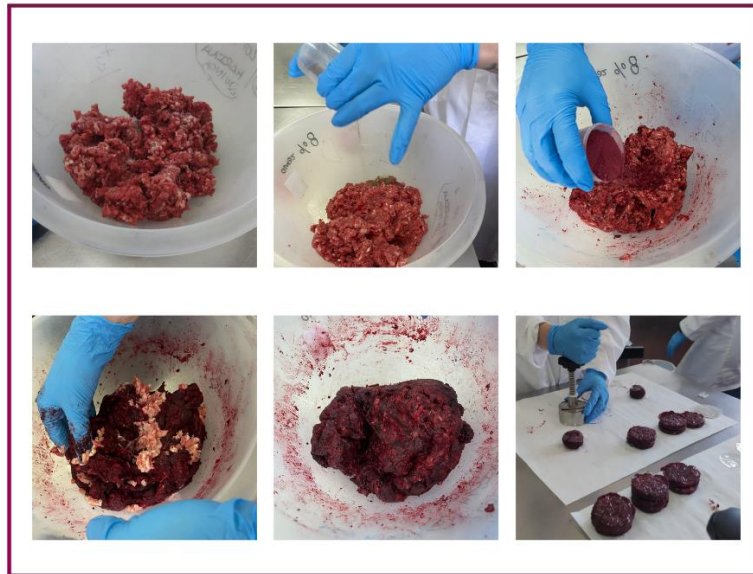


Figura 10. Proceso de elaboración del lote de hamburguesas BR8 (hamburguesa híbrida elaborada con un 8 % de harina de coproducto de remolacha).

Para las determinaciones realizadas sobre las hamburguesas cocinadas, se aplicó el siguiente procedimiento: las muestras se cocinaron sobre una plancha de cocina eléctrica (Figura 11) hasta que el centro de las muestras alcanzó una temperatura superior a los 72 °C.



Figura 11. Cocinado de las muestras.

3.4. Métodos analíticos para la caracterización del producto cárnico híbrido (hamburguesas)

3.4.1. Composición proximal

3.4.1.1. Proteínas

Para la determinación del contenido de proteínas de las muestras crudas, cuyo resultado se expresó en g de proteína / 100 gramos de muestra, se realizó según el método AOAC

24.007 (AOAC, 2000). Utilizando el digestor BüchiDigestionUnit modelo 426 (Figura 12) y el destilador BüchiDestillationUnit modelo B-316 (Büchi, Suiza) (Figura 13). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.



Figura 12. Digestor BüchiDigestionUnit modelo 426.



Figura 13. Destilador BüchiDestillationUnit modelo B-316

3.4.1.2. Grasa

La determinación del contenido lipídico se realizó de acuerdo con el método oficial de la AOAC 24.005 (AOAC, 2000), utilizando el extractor Soxhlet J.O, Selecta Mo.6003286 (J.O Selecta S.A., Abrera, Barcelona, España) (Figura 14). Los resultados se expresaron en g grasa / 100 g de muestra. Las muestras se analizaron por triplicado, tanto crudas como cocinadas.



Figura 14. Extractor Soxhlet J.O, Selecta Mo.6003286.

3.4.1.3. Cenizas

El contenido de cenizas se determinó por triplicado para cada formulación de las hamburguesas crudas según el método de la AOAC 923.03 (AOAC, 2010); las determinaciones se realizaron por triplicado y el resultado fue expresado como g cenizas / 100 g muestra.

3.4.1.4. Humedad

Se aplicó el mismo procedimiento que el descrito para la HCR en el punto 3.2.4., tanto en las muestras crudas como cocinadas.

3.4.1.5. Fibra dietética total

La determinación de la fibra dietética total de las muestras crudas se llevó a cabo siguiendo la metodología recogida en el punto 3.2.5. (Figura 15).



Figura 15. Proceso de filtrado y enjuague del residuo.

3.4.2. Propiedades físico-químicas

3.4.2.1. pH

El pH se determinó tanto en hamburguesas crudas como cocinadas mediante un pHmetro modelo Crison 510 (Barcelona, España) equipado con un electrodo de punción. Las medidas se realizaron en diferentes áreas de dos muestras diferentes de cada formulación, por triplicado en cada una de ellas, obteniendo un total de 18 determinaciones.

3.4.2.2. *Actividad de agua (a_w)*

La medida de la actividad de agua para los tres lotes de muestras se realizó por duplicado en hamburguesas crudas, utilizando un equipo Novasina – Labswift. Las muestras se introducían en cápsulas de Novasina y tras la estabilización se tomó directamente la medida.

3.4.2.3. *Color*

La determinación de los parámetros de color, tanto en muestras crudas como cocinadas, se llevó a cabo siguiendo una metodología similar a la descrita en el apartado 3.2.3. Se tomaron 12 medidas por formulación (6 medidas por muestra, 3 medidas por cada lado de la muestra).

Además, se midieron las diferencias de color totales (ΔE) de cada muestra con adición de HCR (BR4 y BR8) respecto a la hamburguesa control (C), estas diferencias se calcularon con la Ecuación 5:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*BR - L^*C)^2 + (a^*BR - a^*C)^2 + (b^*BR - b^*C)^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

3.4.2.4. *Análisis de perfil textural (TPA)*

El análisis del perfil textural se llevó a cabo en hamburguesas cocinadas empleando un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Las muestras se cortaron uniformemente en porciones de 2 x 2 cm y se sometieron a una doble compresión, a velocidad constante de 1 mm/s, al 75 % de su altura inicial, a través de una secuencia de dos ciclos con una sonda cilíndrica de 10 cm de diámetro. Así, se obtuvo una curva fuerza vs tiempo, de la cual se registraron una serie de parámetros relacionados con la dureza, la adhesividad, la elasticidad, la cohesividad, la gomosidad, la masticabilidad, y la resiliencia (Bourne, 1978).

3.4.3. Propiedades de cocinado

El peso, el grosor y el diámetro de las hamburguesas de cada lote se midieron a temperatura ambiente (~ 25 °C) antes y después del cocinado (Figura 16). Para estimar

los cambios dimensionales, las reducciones en el diámetro y los aumentos de espesor se emplearon las siguientes ecuaciones 6, 7 y 8:

$$\text{Encogimiento (\%)} = \frac{(\text{diámetro crudo}:\text{diámetro cocido})}{(\text{diámetro crudo})} \times 100 \quad (\text{Ec 6})$$

$$\text{Aumento de espesor (\%)} = \frac{(\text{espesor cocido}:\text{diámetro crudo})}{(\text{espesor crudo})} \times 100 \quad (\text{Ec 7})$$

$$\% \text{ de pérdida de peso} = \frac{(\text{peso crudo}-\text{peso cocido})}{(\text{peso crudo})} \times 100 \quad (\text{Ec 8})$$



Figura 16. Hamburguesa control y hamburguesas con incorporación de HCR (crudas y cocinadas). C: hamburguesa de ternera elaborada con una formulación control; BR4: hamburguesa de ternera con una adición del 4% de HCR; BR8: hamburguesa de ternera con una adición del 8% de HCR.

3.4.4. Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial, se realizó una prueba hedónica con 37 catadores no entrenados (estudiantes de la universidad Miguel Hernández, UMH). Los atributos medidos fueron los siguientes: color, dureza, jugosidad, desmenuzabilidad, flavor, sabor,

presencia de sabores extraños y aspecto global de la muestra. Dichos atributos se midieron con una escala hedónica de 9 puntos (1: me disgusta extremadamente a 9: me gusta extremadamente) mediante un cuestionario de cata online. En la parte final del mismo se recopilaron los datos demográficos, frecuencia de consumo y opinión general de la muestra que más y que menos gustó.

Las muestras se presentaron como se muestra en las figuras 17 y 18. La evaluación sensorial, se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la UMH, en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, de acuerdo a los estándares internacionales (ASTM 1986, ISO 1988).

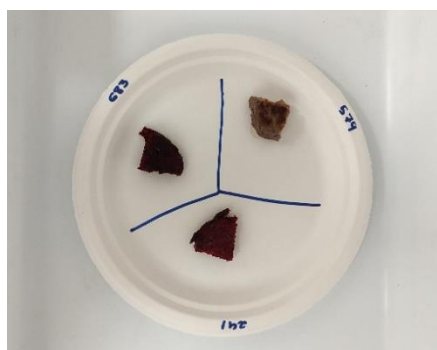


Figura 17. Presentación de las muestras para el análisis sensorial.



Figura 18. Proceso de cata.

3.4.5. Análisis estadístico

Los valores se muestran como media \pm desviación estándar. Se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor (formulación) y cuando resultó significativo se aplicó el test de comparación de medias de Tukey para determinar qué muestras presentaban

diferencias estadísticamente significativas (nivel de significancia > 95 %). Estos análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico SPSS para Windows (versión 24.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la harina del coproducto de remolacha roja

4.1.1. Rendimiento

El rendimiento de obtención de HCR fue de un 20,38 %.

No se han encontrado estudios a cerca del rendimiento de obtención de harina o polvo de remolacha a partir del orujo de la misma. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que éste puede depender de varios factores como la propia composición de la remolacha, la eficacia del secado y de la molienda, de la luz de malla del tamiz e incluso de las posibles pérdidas durante la molienda y el tamizado.

Por otro lado, teniendo en cuenta que Botella-Martínez *et al.* (2023) han reportado un rendimiento de obtención de zumo a partir de remolacha fresca del 54,7 % y del 32,5 % en el caso de remolacha cocida (ambos tipos de remolacha se encontraban peladas), el porcentaje de obtención de orujo sería mayor en el caso de remolacha cocida, por lo tanto, es posible que a partir de este formato de producto se pudiera obtener mayor cantidad de harina de orujo de remolacha a partir de una menor cantidad de remolacha de partida. No obstante, habría que evaluar el efecto del proceso térmico de cocción sobre los componentes del orujo de remolacha, teniendo en cuenta que la harina obtenida habría sido sometida a dos tratamientos térmicos (el de cocción de la remolacha y el del secado del orujo).

4.1.2. Propiedades físico-químicas

El valor de pH perteneciente a la HCR se recoge en la tabla 3. Se trata de un valor que se ajusta en gran medida a los valores reportados por la bibliografía, por ejemplo, Sucu y Turp (2018) obtuvieron un valor de 6,05 para el polvo de remolacha. Además, de acuerdo con la bibliografía el pH de la remolacha puede variar entre 5,72 y 6,46 (Sucu y Turp, 2018).

Tabla 3. Propiedades físico-químicas de la harina de coproducto de remolacha roja.

pH	L*	a*	b*	IR	C*	h*
6,39±0,01	34,73±2,9	21,07±2,4	5,33±0,24	3,95±0,33	21,74±2,4	14,32±1,2
	5	5			2	3

Por otro lado, también se presentan en la tabla 3, los valores de las coordenadas de color de la HCR. De acuerdo con la bibliografía consultada, el orujo de remolacha es rico en pigmentos, por lo que se puede utilizar para enriquecer otros productos con colores rojos (Botella-Martínez *et al.*, 2023; Chhikara *et al.*, 2019). En un estudio en el que caracterizaron el orujo de remolacha roja con y sin pretratamiento y antes y después del secado por liofilización, obtuvieron valores de L* 27,80, a* 24,74 y b* -0,30 para las muestras liofilizadas sin pre-tratamiento (Janiszewska-Turak *et al.*, 2021). Estos resultados varían respecto a los obtenidos por Fijalkowska (2015), que informaron de que los valores de L*, a* y b* de sus muestras sin pre-tratamientos (rodajas de 30 mm de diámetro y 5 mm de grosor, secadas por convección a 70 °C) fueron de 23,8, 21,9 y 2,5, respectivamente. Pese a las diferencias se puede observar una tendencia común en los tres resultados, el valor de a* es considerablemente superior al de b* y L* posee el valor más elevado.

Las diferencias entre los tres resultados pueden ser explicadas por diferentes factores, principalmente por el proceso de obtención aplicado, es decir, el método de secado (convección o liofilización) y o el formato final del producto (polvo o no). Además, se debe tener en cuenta factores básicos como el suelo, el clima y el tiempo de cosecha de la remolacha empleada, ya que, los parámetros físico-químicos de los vegetales dependen en cierta medida de estas variables.

La harina obtenida presentó un índice de rojez de 3,95 y una tonalidad rojiza, de acuerdo con el valor del tono (h*) que, como se puede ver en la Figura 19 se encuentra dentro del rango rojizo del espacio CIELAB*.

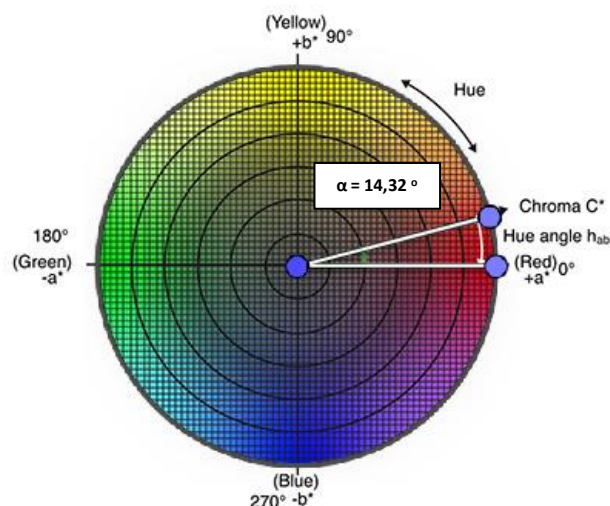


Figura 19. Representación gráfica del valor del tono de la HCR en el espacio CIELAB*.

Por otro lado, se pueden comparar los parámetros de color del coproducto de remolacha roja (orujo de remolacha) (Tabla 4) y el de la harina (HCR).

Tabla 4. Parámetros de color y medidas psicofísicas del coproducto de remolacha roja.

L^*	a^*	b^*	IR	C^*	h^*
$24,10 \pm 1,03$	$9,34 \pm 0,54$	$2,55 \pm 0,63$	$3,86 \pm 0,83$	$9,69 \pm 0,63$	$15,13 \pm 3,16$

En el estudio mencionado previamente, en el que se obtiene polvo de orujo de remolacha por liofilización, obtuvieron que el valor de los parámetros de color para el orujo sin secar eran los siguientes: L^* 10,15, a^* 14,18 y b^* 2,55 (Janiszewska-Turak *et al.*, 2021). Si se compara con los valores obtenidos tras la liofilización, se puede advertir que tras el proceso de liofilización se produce un incremento en el caso de la luminosidad (L^*) y de la coordenada a^* y un descenso en el caso del valor de la coordenada b^* . Esta tendencia respecto a L^* y a^* también se observó en el caso del presente estudio pasando de un valor de 24,10 a 34,73 en el caso de la luminosidad y de 9,34 a 21,07 en el de a^* ; en cambio, b^* sufrió un incremento de 2,55 a 5,33. Por lo tanto, al aumentar a^* en mayor medida que b^* el índice de rojez también incrementó con el secado y, en cambio, el tono (h^*) disminuyó. Así mismo, el croma obtenido fue mayor en el caso de la harina.

Además, como se ha comentado en la introducción, es de las betalaínas de las que deriva el color rojo de las remolachas. En este sentido, Janiszewska-Turak *et al.* (2021) han informado de que la concentración de pigmentos rojos (betacianinas que incluyen betanina e isobetanina) en el orujo de remolacha es mayor tras el secado y la de pigmentos amarillos (betaxantinas, categorizadas como vulgaxantina-I y vulgaxantina-II) menor, aunque estos cambios solamente fueron significativos en el caso de los pigmentos rojos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en este estudio el secado se realizó por liofilización. En el caso del secado convectivo de rodajas de remolacha, la concentración de betalaínas se redujo en un 29,6 y un 26,2% para el pigmento rojo y amarillo, respectivamente (Fijalkowska *et al.*, 2015). Esto último difiere de los resultados obtenidos en el presente estudio, en los que los pigmentos responsables tanto del color rojo como del amarillo parecen incrementar, ya que, a^* y b^* experimentan un ascenso. Sin embargo, no son solo los compuestos responsables de las coloraciones rojas y/o amarillas los responsables de las variaciones de estas coordenadas sino las interacciones que se establecen entre ellos y con el resto de los componentes de la matriz cárnica.

En este sentido, es importante considerar que varias investigaciones han reportado una estabilidad superior de las betacianinas en comparación con las betaxantinas, tanto a temperatura ambiente como al calentarse (Herbach *et al.*, 2006), lo que puede explicar un menor incremento de b^* que de a^* en el presente estudio, ya que, además, el calentamiento puede provocar reacciones de isomerización y descarboxilación (Chaux-Gutiérrez *et al.*, 2020). Así mismo, la bibliografía recoge los intervalos de temperatura en los que la estabilidad de la betalaína puede disminuir de forma considerable. Estos intervalos se establecen en rangos comprendidos entre 50 y 75 °C. Así pues, la temperatura empleada para secar el coproducto de remolacha se encontraba dentro de estos intervalos, por lo que era esperable la disminución de betalaínas. Sin embargo, como se ha comentado previamente, se registró un incremento de a^* y en menor medida de b^* , posiblemente debido a que otros parámetros como el pH no fueron considerablemente adversos para contribuir a la degradación de las betacianinas y las betaxantinas (Herbach *et al.*, 2006). Además, al disminuir el contenido en agua la concentración de estas moléculas pudo aumentar, siendo el efecto más notable en el caso de las betacianinas al ser más estables y sufrir menos pérdidas.

Por lo tanto, se ha visto que con el secado se obtiene un producto que presenta un elevado potencial para ser incorporado en la formulación de productos con coloraciones

rojas. Además, su presentación en formato de polvo facilita su incorporación a los productos al incrementar su capacidad de rehidratación (Janiszewska-Turak *et al.*, 2021).

4.1.3. Humedad y fibra dietética total

Como se ha mencionado en el apartado 3.2.4 y 3.2.5. se determinó el contenido de humedad y de fibra dietética de la HCR obteniendo un resultado de 5,8 % y 55,3 %, respectivamente. Si comparamos estos resultados con los reportados por Hotchkiss *et al.* (2022) para el orujo de remolacha, reflejados en la introducción (Tabla 1), que fueron de un 14 y un 50,8 % para humedad y fibra dietética, respectivamente, vemos como el porcentaje de humedad es menor y el de fibra mayor. Esto se atribuye al propio efecto de secado; con la pérdida de agua se produce una concentración del resto de componentes del producto, entre ellos la fibra dietética.

Además, Janiszewska-Turak *et al.* (2021) informaron que la materia seca presente en el orujo de remolacha roja era del 17,9 %, pero tras su secado (en este caso por liofilización) la materia seca incrementó hasta el 97,5 %. Esto se corresponde con lo descrito, con el secado la humedad desciende y el resto de componentes se concentran, incrementando la proporción de materia seca entre la que se encuentra formando parte la fibra.

Por lo tanto, la HCR presenta características que resaltan su utilidad para el enriquecimiento de productos a nivel nutricional, aportando una dosis de fibra de 55,3 g por cada 100 g de harina y a nivel de color, potenciando las tonalidades rojizas. Así mismo, se ha determinado que el coproducto tras el secado, molienda y tamizado presenta mayor índice de rojez y luminosidad, así como mayor concentración de fibra.

4.2. Producto cárnico híbrido (hamburguesas)

4.2.1. Composición proximal de las hamburguesas

En la Tabla 5 se presenta la composición proximal de las hamburguesas.

Tabla 5. Composición proximal de las hamburguesas con HCR.

	C	BR4	BR8
Humedad	67,69±0,39 ^a	66,32±1,28 ^{ab}	64,21±0,48 ^b
Grasa	8,53±0,92 ^a	7,01±0,25 ^a	6,38±1,18 ^a
Proteína	18,47±0,47 ^a	18,31±0,29 ^a	17,75±0,19 ^a
Fibra	nd	2,20±0,26 ^b	4,51±0,45 ^a
Cenizas	1,91±0,07 ^a	1,98±0,03 ^a	2,02±0,06 ^a

nd: no detectable; C: hamburguesa de ternera elaborada con una formulación control; BR4: hamburguesa de ternera con una adición del 4% de HCR; BR8: hamburguesa de ternera con una adición del 8% de HCR. Letras distintas en la misma fila para muestras crudas y cocinadas por separado, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

La humedad presente en las hamburguesas crudas elaboradas con HCR se recogen en la Tabla 5. Se aprecia una reducción del contenido de humedad con la incorporación de la harina. Este efecto es más destacable en el caso de la muestra BR8, ya que, la BR4 no presenta diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) respecto a la muestra control. Esto se puede atribuir al porcentaje de HCR incorporada, que al ser superior en el caso de BR8, el contenido de humedad disminuye en mayor medida (en términos de proporción).

Además, la fijación de agua de la proteína de la carne se ve afectada por el pH, siendo necesario un pH por encima del punto isoeléctrico (5,0-5,2) para fijar el agua; de hecho, en ciertos estudios se ha visto una correlación lineal entre el incremento de la CRA y el aumento del pH (Swastike *et al.*, 2020). Sin embargo, en el caso del presente estudio el pH superaba el del punto isoeléctrico y no presentó diferencias estadísticamente significativas entre la muestra control y las muestras con HCR, pues, como se verá más adelante, las diferencias de pH entre las muestras no fueron significativas ($p > 0,05$).

Por otro lado, en lo que respecta al contenido de grasa, se puede advertir que su concentración es menor conforme incrementa la adición de HCR, este fenómeno puede relacionarse con las mínimas cantidades de grasa presente en el orujo de remolacha (Hotchkiss *et al.*, 2022) y, por ende, en la harina derivada del mismo. Sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p > 0,05$).

Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas en lo que a proteínas y cenizas refiere. Esto puede relacionarse con la composición del orujo de remolacha previamente detallado (Hotchkiss *et al.*, 2022), fundamentalmente compuesto por agua e hidratos de carbono, con una escasa proporción de proteínas. Además, en salchichas de cerdo con polvo de pulpa de remolacha tampoco se han apreciado diferencias significativas respecto al contenido de este nutriente en el producto cárnico sin tratamiento (Jin *et al.*, 2014). Sin embargo, en dicho estudio las salchichas con polvo de remolacha sí presentaban un incremento significativo en la concentración de cenizas, a diferencia de lo que ocurrió en las hamburguesas con HCR que, a pesar de incrementar el porcentaje de cenizas con la adición de la harina no se dio de forma significativa. Teniendo en cuenta que el porcentaje de cenizas totales presentes en el orujo de remolacha es menor que el de proteínas, el aporte de estas cenizas tampoco genera diferencias significativas entre las muestras.

Finalmente, en cuanto al contenido de fibra dietética se puede observar en la Tabla 5 que la muestra BR4 presentó un valor de 2,20 %, menor que el de BR8, con un 4,51 % de fibra. Como se ha citado en la introducción, la mayoría de los estudios existentes se enfocan en los procesos de extracción y purificación de betalainas y compuestos fenólicos, siendo muy pocos los estudios realizados sobre la aplicación de la remolacha roja al procesado de alimentos, sobre todo en lo que respecta al empleo de los carbohidratos presentes en el orujo de remolacha. Por lo tanto, la labor de contraste de resultados se complica. Sin embargo, se ha encontrado que en un estudio en el que se analiza la incorporación de 10 gramos de distintos polvos vegetales a la formulación de hamburguesas de pavo, se registró una proporción de fibra de 2,43 g por cada 100 g de producto al incorporar polvo seco de remolacha (Duthie *et al.*, 2013). Teniendo en cuenta que las hamburguesas en dicho estudio pesaban aproximadamente 150 gramos y que 10 de éstos eran de polvo de remolacha, el porcentaje incorporado era aproximadamente del 6,67 %. Así pues, teniendo en cuenta estos cálculos y el porcentaje de fibra presente en las hamburguesas del que informaron los autores, es posible que la HCR empleada en el

presente estudio presentara más fibra que el polvo de remolacha incorporado en las hamburguesas de pavo. Como se ha visto previamente esto puede deberse a distintos factores que abarcan desde la procedencia de la remolacha (suelo, clima, condiciones de cosecha...) hasta la propia forma de elaboración del polvo o harina, incluyendo las partes de la remolacha empleadas, por ejemplo, si se incluye la piel o no (Marrone *et al.*, 2021).

Por otro lado, cabe destacar que con este enriquecimiento en fibra dietética no sólo se mejoran aspectos tecnológicos como la CRA, como se ha visto anteriormente, o las propiedades de cocinado, como se explicará más adelante, sino que también se promueven otros atributos deseados para productos cárnicos más saludables. En este sentido, es preciso tener en cuenta que, como se ha comentado en la introducción, el consumo de fibra dietética se relaciona con efectos beneficiosos para la salud y la EFSA establece una ingesta adecuada de fibra de 25 g/día para adultos (EFSA, 2019).

Por lo tanto, teniendo en cuenta los beneficios que aporta la incorporación de fibra de remolacha a los productos cárnicos y la escasa investigación al respecto sería muy útil, tanto para la comunidad científica como para el consumidor, que se estudiara en mayor medida el efecto del aprovechamiento de la fibra presente en la remolacha y en los coproductos procedentes de su industrialización. Así mismo, sería interesante comparar los efectos de la incorporación de coproductos de remolacha con coproductos de otros vegetales con propiedades similares, por ejemplo, el polvo de cáscara de pitahaya (que también presenta betacianinas) posee un porcentaje ligeramente superior de fibra dietética al de la HCR (65,59 %) con una proporción de fibra insoluble similar al orujo de remolacha (41,63 %) (Utpott *et al.*, 2020).

4.2.2. Propiedades físico-químicas de las hamburguesas

En la Tabla 6 se presentan los valores obtenidos para los distintos parámetros que constituyen las propiedades físico-químicas de las hamburguesas en estudio, tanto crudas como cocinadas. Se consideró interesante determinar las propiedades de color de las hamburguesas después de ser cocinadas porque el color es uno de los atributos que más influye a la hora de la decisión de consumo de los alimentos. La actividad de agua no se determinó en las hamburguesas cocinadas porque es un parámetro relacionado con la estabilidad de los alimentos y por lo tanto su interés tras el cocinado previo a su consumo no es relevante.

En el caso del pH no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las muestras con y sin incorporación de HCR, ni entre los distintos grados de adición, tanto en muestras crudas como en cocinadas. Es preciso recordar que el pH de la harina presentaba un valor de 6,39, lo cual puede explicar la ausencia de descenso de este parámetro.

Tabla 6. Propiedades físico-químicas química de las hamburguesas con HCR, crudas y cocinadas.

	CRUDAS			COCINADAS		
	C	BR4	BR8	C	BR4	BR8
pH	5,41±0,06 ^a	5,42±0,03 ^a	5,45±0,03 ^a	5,67±0,07 ^a	5,63±0,02 ^a	5,64±0,05 ^a
a _w	0,968±0,000 ^a	0,966±0,001 ^b	0,963±0,001 ^c	-	-	-
L*	42,72±2,02 ^a	27,52±3,52 ^b	27,20±2,23 ^b	41,71±4,20 ^a	33,44 ±2,87 ^b	27,80±2,46 ^c
a*	14,05±1,52 ^a	11,77±1,40 ^a	8,75± 2,22 ^b	6,43±1,80 ^b	13,56±2,40 ^a	12,79±1,58 ^a
b*	15,15±1,21 ^a	1,97± 0,59 ^b	0,45 ± 0,20 ^c	10,88±1,69 ^a	5,45±2,21 ^b	3,02±0,38 ^b
IR	0,93±0,09 ^b	6,31±1,24 ^b	22,64±7,35 ^a	0,60±0,18 ^c	2,94±1,14 ^b	4,25±0,37 ^a
C*	20,68±1,69 ^a	11,94±1,48 ^b	8,76±2,23 ^c	12,75±1,83 ^a	14,69±2,92 ^a	13,15±1,61 ^a
h*	47,23±2,67 ^a	9,33±1,74 ^b	2,81± 0,89 ^c	59,60±7,41 ^a	20,86±6,17 ^b	13,33±1,07 ^b
ΔE	-	19,67±2,37 ^a	21,76±1,28 ^a	-	12,81±1,95 ^b	17,30±2,24 ^a

C: hamburguesa de ternera elaborada con una formulación control; BR4: hamburguesa de ternera con una adición del 4% de HCR; BR8: hamburguesa de ternera con una adición del 8% de HCR. Letras distintas en la misma fila para muestras crudas y cocinadas (por separado), indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Se ha investigado a cerca del efecto de la incorporación de polvo de remolacha sobre diversos productos cárnicos; sin embargo, debido precisamente a la variación del tipo de producto, así como a las diferentes condiciones que plantea cada estudio, la complejidad para comparar datos incrementa. En un estudio en el que se comparó el efecto de la adición de polvo de remolacha roja, sólo y en solución acuosa, a la mezcla de carne de

hamburguesas Black Angus con hamburguesas control (sin polvo de remolacha) se vio que las hamburguesas con dicha incorporación presentaban un pH más bajo y que además el efecto era dependiente de la dosis (Marrone *et al.*, 2021). También se ha reportado una disminución del pH en salchichas emulsionadas de cerdo (Ha *et al.*, 2015) y en salchichas fermentadas y secas con un 1 % de polvo de remolacha (Ozaki *et al.*, 2021). Por el contrario, en salchichas emulsionadas de cerdo con un 0,5 y un 1 % de inclusión de polvo de remolacha (con y sin adición de un 0,005 % de NaNO₂) se ha detectado un incremento significativo del pH (Jin *et al.*, 2014). Sin embargo, en salchichas de pollo en las que se sustituyó la harina de tapioca por remolacha en polvo en las siguientes proporciones (harina de tapioca:remolacha en polvo) 18:0, 17:1, 16:2, 15:3 (%/%) (Swastike *et al.*, 2020) y en salchichas hervidas con un 0,5 % de polvo de remolacha (con 0,0075 % NaNO₂) y un 1 % de polvo de remolacha (sin NaNO₂), no se han obtenido cambios significativos en las medidas de pH (Jeong *et al.*, 2010).

Por otro lado, se puede apreciar cierto incremento de pH tras el cocinado. La literatura científica lo relaciona con la liberación de imidazolio del aminoácido residuo de histidina, producida con el calentamiento (Choi *et al.*, 2019).

Así pues, se ha visto que la incorporación de HCR no afecta significativamente al pH de la mezcla de ternera empleada en este estudio y que de acuerdo con la literatura científica el valor del pH se ve afectado por otros factores como el tipo de producto cárnico y, por tanto, por la propia fracción cárnica y otros componentes agregados a la misma; así como por el proceso de producción, por ejemplo, picado, emulsión, fermentación, cocción, etc.

La actividad de agua perteneciente a las distintas muestras crudas también se recoge en la Tabla 6. Se pudo observar un efecto claro de la incorporación de la HCR, reduciéndose el valor de este parámetro en las muestras con adición, además, se advirtió un efecto dependiente de la dosis. No obstante, aunque las diferencias entre las diferentes formulaciones fueron significativas, estas variaciones fueron cuantitativamente muy pequeñas (variando solo en el tercer decimal), por lo que no tienen mucho sentido práctico.

Continuando con los resultados reportados por el artículo sobre la incorporación de polvo de remolacha en hamburguesas Black Angus, los autores destacan que, de acuerdo a los valores de a_w obtenidos, este parámetro no se vio condicionado por la integración del extracto de remolacha (Marrone *et al.*, 2021). Así mismo, en el caso de hamburguesas con adición de polvo de albedo de coproductos de maracuyá o de la incorporación de fibra de chufa a hamburguesas de cerdo, el valor de a_w tampoco difirió de forma significativa respecto a las muestras control (López-Vargas *et al.*, 2014; Sánchez-Zapata *et al.*, 2010). De acuerdo con la bibliografía, son varios los estudios que han reportado que la incorporación de diferentes fibras dietéticas a varios productos cárnicos no causa efectos significativos sobre la a_w (López-Vargas *et al.*, 2014). Únicamente se ha encontrado una disminución de la a_w con la adición de polvo de remolacha para salchichas secas fermentadas, pero durante la transformación. Durante la vida útil de las salchichas en almacenamiento, la a_w de todos los tratamientos fue estable, sin diferencias significativas (Ozaki *et al.*, 2021).

Finalmente, en lo que respecta al color, se puede apreciar en la Tabla 6 que, para las muestras crudas, existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para los valores de luminosidad y b^* entre las muestras con incorporación de HCR y la control, siendo éstos menores en las muestras tratadas. El valor del parámetro a^* también sufrió disminución con la adición de la harina, pero, en este caso el efecto únicamente fue significativo cuando se adicionó un 8 % de HCR, es decir, la muestra control y la BR4 no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para este parámetro. Este efecto no coincide con la información reportada por Marrone *et al.* (2021) con incorporación de remolacha en polvo en hamburguesas Black Angus, Kim y Shand (2022) que adicionan polvo de remolacha en mortadela de cerdo o por Ozaki *et al.* (2021) que añaden polvo de remolacha en salchichas secas fermentadas, entre otros.

Además de L^* , a^* y b^* , con la adición de HCR también disminuyeron ($p < 0,05$) el croma y el tono, en este caso se vio un efecto dependiente de la dosis. El único parámetro que incrementó con la adición de HCR fue el índice de rojez. Este incremento se explica por los valores más bajos del parámetro b^* respecto a a^* y el descenso que experimenta conforme se adicionaba la harina. De modo que, a pesar de que en base a los resultados reportados por otros autores cabía esperar que las muestras con mayor concentración de HCR presentaran un mayor valor de a^* , se debe tener en cuenta que este parámetro mide los componentes que contribuyen al rojo, no el color de la muestra en sí mismo, y que,

además, sí se ha visto el efecto de la adición de harina mediante el incremento del IR. En este sentido, cabe destacar que las muestras tratadas presentaron tonalidades más rojas, como se puede apreciar en la Figura 20, en la que el ángulo señalado representa el valor de tono de BR4 (cruda). La muestra BR8, con un valor de tono de 2,81, se encontraría formando un ángulo más pequeño, sobre el eje de abscisas y entre éste y la línea superior que limita el ángulo de BR4. En cambio, la muestra control se encontraba en el área de tonalidades más amarillas.

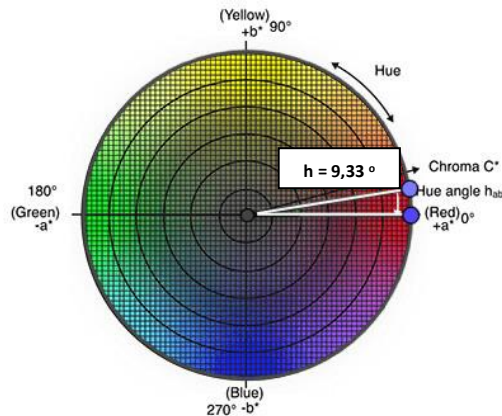


Figura 20. Representación gráfica del valor del tono (h) para la muestra BR4 cruda. El ángulo se encuentra delimitado por las líneas blancas y el valor del mismo se encuentra en el recuadro, también blanco.

En lo referente al croma, se puede advertir un efecto dependiente de la dosis, descendiendo ($p < 0,05$) este parámetro con la incorporación de HCR. Así pues, las muestras tratadas son más “apagadas” en términos colorimétricos.

En cuanto a las diferencias de color (ΔE) se puede observar en la Tabla 6 que la muestra BR8 presenta mayor diferencia respecto a la muestra control (estándar); sin embargo, las diferencias entre la BR4 y la BR8 no son significativas ($p > 0,05$). Por lo tanto, se puede decir que la incorporación de HCR generó diferencias de color respecto a la muestra control; sin embargo, el incremento de la dosis no ha generado diferencias significativas del valor de ΔE entre las muestras tratadas.

En la Tabla 6 también se muestran los valores de las distintas coordenadas y parámetros colorimétricos pertenecientes a las muestras cocinadas. Es preciso tener en cuenta que

con el tratamiento térmico la carne sufre una serie de cambios, entre ellos variaciones de color. En este sentido, destacan las reacciones de Maillard, entre los aminoácidos de las proteínas y los azúcares, que producen un color marrón característico. Además, con el tratamiento térmico se producen diversas modificaciones de la mioglobina, pasando a la forma miohemocromógeno Fe^{2+} con un color pardo claro, y si continua el tratamiento a miohemicromógeno Fe^{3+} adquiriendo un color pardo oscuro. Estos cambios de color se reflejan en las coordenadas y parámetros colorimétricos. En este caso, si se atiende a las muestras control, tanto crudas como cocinadas, se puede apreciar un descenso de todos los parámetros excepto del valor del tono, ya que, el valor de la coordenada b^* , que continúa siendo superior al de a^* , ha disminuido su valor en menor proporción que a^* . Estos resultados difieren de los obtenidos en otros estudios, por ejemplo, Botella-Martínez *et al.* (2021) que analizaron también hamburguesas de ternera y registraron valores superiores de L^* , b^* y C^* en las muestras control cocinadas en comparación con las crudas. Cabe destacar que el método de cocción empleado tiene un efecto significativo en estas variaciones de las coordenadas de color.

Por otro lado, como se ha comentado previamente en las muestras crudas, para la luminosidad, las muestras con HCR presentaban diferencias estadísticamente significativas respecto a la muestra control, pero no entre ellas. En cambio, con la cocción sí se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras tratadas, siendo la luminosidad menor en el caso de la muestra BR8.

En lo que respecta a la coordenada colorimétrica a^* mientras que entre las muestras crudas tratadas solo la BR8 presentaba diferencias significativas respecto a la muestra control, en el caso de las cocinadas tanto la BR4 como la BR8 se diferenciaban significativamente ($p < 0,05$) de la muestra control, siendo éstas las que presentaban un valor más elevado.

En el caso de b^* , mientras que todas las muestras crudas presentaban diferencias ($p < 0,05$) entre ellas, de las muestras cocinadas únicamente se detectó diferencias significativamente entre la muestra control y las muestras con harina.

La incorporación de HCR también tuvo efectos durante el cocinado sobre el IR, ya que, pese a que en crudo únicamente difirió la muestra BR8 respecto a la control, tras el cocinado también lo hizo la muestra BR4. Además, se vio como la muestra con mayor porcentaje de adición (BR8) presentaba un IR superior a la BR4 y ésta mayor a la muestra control.

Por su parte, el valor del tono perdió las diferencias significativas entre las muestras BR4 y BR8; sin embargo, las diferencias respecto a la muestra control permanecieron. Finalmente, en cuanto al croma, las diferencias significativas entre todas las muestras variaron, desapareciendo todas ellas.

Así pues, se ha visto que con el cocinado ninguna de las muestras con HCR presentó similitudes entre los parámetros colorimétricos estudiados con la muestra control y el efecto del porcentaje de adición se pudo apreciar en el caso de la luminosidad y el índice de rojez. Además, cabe destacar que las muestras con HCR presentaron valores superiores de a^* que las muestras control e inferiores de luminosidad, b^* y tono, siendo éstas menos luminosas y más rojizas.

En la Figura 21 (A) se presenta el espectro de reflectancia de las muestras crudas y de la HCR. Desde el punto de vista espectral no se dieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras BR4 y BR8. Desde los 360 a los 400 nm tampoco existieron entre la muestra BR4 y la control, lo que refleja el menor porcentaje de adición de la harina en el caso de la muestra BR4.

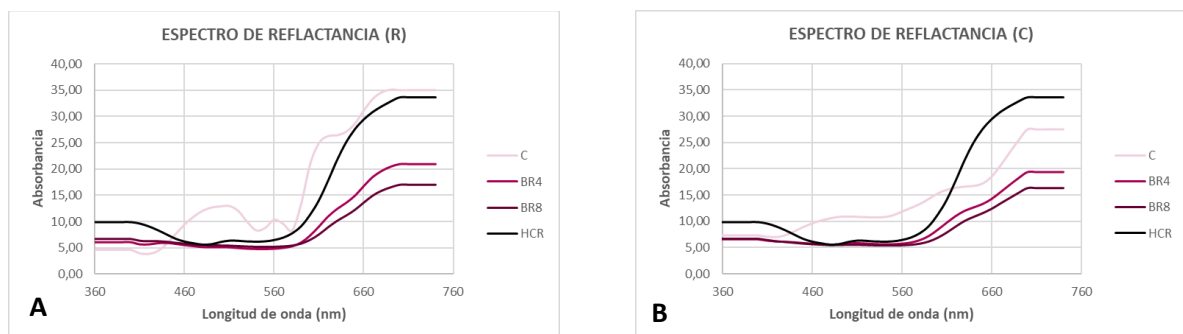


Figura 21. (A) Espectro de reflectancia de las muestras crudas y la HCR. (B) Espectro de reflectancia de las muestras cocinadas y la HCR.

A longitudes de onda intermedias de entre 450 y 550 nm las muestras tratadas con la HCR y la harina propiamente dicha fueron isobéticas, es decir, presentaron valores muy similares de reflectancia ($p > 0,05$) lo que reflejó el efecto de la presencia de la harina en las muestras BR4y BR8 y, por ende, de una mezcla de compuestos que se comportaban igual en la harina y las muestras tratadas.

Posteriormente, esta tendencia cambió, desde los 560 a los 640 nm, difiriendo significativamente ($p < 0,05$) todas las muestras de la HCR, a excepción de lo que ocurrió a los 580 nm en los que la muestra control presentó valores de absorbancia muy similares a los de la HCR ($p > 0,05$).

Finalmente, al alcanzar los 640 nm y hasta los 740 nm la muestra control no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) desde el punto de vista espectral respecto a HCR, lo que puede informar de la presencia de compuestos en la mezcla de carne de ternera con un comportamiento similar a ciertos compuestos presentes en la HCR.

Por otro lado, en la Figura 21 (B) se presenta el espectro de reflectancia de las muestras cocinadas, así como de la HCR. Desde el inicio (360 nm) hasta los 420 nm, no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) desde el punto de vista espectral entre las muestras tratadas y la control, pero sí entre éstas y la harina. De los 430 a los 450 nm existió un cambio de esta tendencia, cuyo resultado se pudo apreciar claramente a partir de los 460 nm. A esta longitud de onda y hasta los 600 nm las muestras con incorporación de HCR no presentaron diferencias significativas respecto a la harina propiamente dicha. Así pues, para ese rango (460-600 nm) las muestras tratadas y la harina fueron isobéticas y, por lo tanto, se refleja la similitud composicional en lo que respecta a compuestos con un comportamiento espectral similar. Sin embargo, se puede apreciar como posteriormente los valores de la harina y la muestra control coincidieron, aproximadamente a los 620 nm. Posteriormente, la harina difirió significativamente de todas las muestras, siendo sus valores de absorbancia los más elevados. Finalmente, a partir de los 700 nm las diferencias entre la muestra control y la harina ya no eran significativa, como ocurría al final del espectro para las muestras crudas.

Por lo tanto, se han visto diferencias en el comportamiento espectral entre las muestras crudas y cocinadas; sin embargo, a longitudes de onda medias en ninguno de los casos existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras con incorporación de HCR y la propia harina. Además, aunque observando la Figura 21 A y B, a simple vista, parece asemejarse en mayor grado la muestra BR4 a la harina, la similitud de BR4 o BR8 respecto a la harina no fue significativamente diferente.

Por otro lado, en la Figura 22 representa los valores del perfil de textura de las hamburguesas. No se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) entre C, BR4 y BR8 para la dureza, elasticidad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad. Sin embargo, algunas propiedades texturales sí fueron modificadas de forma significativa por la adición de HCR. Esta adición disminuyó ($p < 0,05$) tanto la cohesividad como la resiliencia.



Figura 22. Análisis del perfil textural de las hamburguesas cocinadas control (C) y con una incorporación de HCR en un 4 % (BR4) y 8 % (BR8).

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

La fibra dietética produce cierto impacto sobre la textura del producto al que se incorpora y el efecto depende de la fibra dietética específica (Choi *et al.*, 2019). Como se ha descrito con anterioridad, la fibra del orujo de remolacha roja se encuentra constituida principalmente por fibra insoluble. Ésta también es mayoritaria en el caso de los coproductos de maracuyá y del grano de cacao. La incorporación del coproducto de maracuyá en hamburguesas de cerdo incrementó ($p < 0,05$) tanto la dureza como la gomosidad y la masticabilidad (López-Vargas *et al.*, 2014). Por su parte, la incorporación de polvo de cáscara de grano de cacao en salchichas de cerdo produjo un aumento significativo de todos los valores del análisis del perfil de textura (dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad) determinados en las salchichas cocidas a medida que aumentaba la dosis ($p < 0,05$) (Choi *et al.*, 2019). En el caso de las hamburguesas con coproducto de remolacha la dureza también aumentó en las muestras con la incorporación (C < BR4 < BR8), posiblemente debido a que la incorporación de partículas en la matriz proteica fortaleció la unión (López-Vargas *et al.*, 2014). Sin embargo, el cambio no fue significativo estadísticamente ($p > 0,05$), lo que coincide con las conclusiones de otros autores que incorporan fibra de chufa en hamburguesas de cerdo (Sánchez-Zapata *et al.*, 2010) o de limón en hamburguesas de ternera (Aleson-Carbonell *et al.*, 2005). Además, en el caso de las hamburguesas de ternera con HCR tanto la gomosidad como la masticabilidad, al contrario de lo que ocurrió en las hamburguesas de cerdo con coproducto de maracuyá, disminuyeron, pero tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las muestras tratadas y la control.

En lo que respecta a la cohesividad, la adición del polvo de coproducto de maracuyá produjo una disminución de este parámetro, aunque no significativamente ($p > 0,05$) (López-Vargas *et al.*, 2014) como sí fue en las hamburguesas con HCR ($p < 0,05$). Teniendo en cuenta que la cohesividad es el grado en que la muestra podría deformarse antes de la ruptura, los resultados reflejan que la muestra control presenta un mayor grado de deformación mayor antes de su ruptura y, por tanto, mayor resistencia a la ruptura. Así mismo, la resiliencia también disminuyó significativamente ($p < 0,05$) con la adición de HCR y lo hizo de manera dependiente de la concentración. Por lo tanto, se ha

visto que la incorporación de HCR reduce la capacidad de la muestra para recuperarse de la deformación y volver a su forma original.

4.2.3. Propiedades de cocinado de las hamburguesas

Las propiedades de cocinado de las hamburguesas elaboradas con HCR se recogen en la Tabla 7. En términos de acortamiento o contracción, la muestra control tuvo los valores más altos, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ésta y las muestras BR4 y BR8. De forma similar, ocurre con la pérdida de peso, que fue significativamente mayor en el caso de la muestra control. En cuanto a los aumentos en el espesor, se puede observar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

Tabla 7. Características de cocinado de las hamburguesas elaboradas con harina de coproducto de remolacha.

	C	BR4	BR8
Acortamiento (%)	23,64±0,20 ^a	16,88±0,89 ^b	14,17±1,77 ^b
Pérdida de peso (%)	30,45±1,61 ^a	22,86±0,81 ^b	19,56±0,74 ^b
Aumento del espesor (%)	10,37±0,52 ^a	10,74±9,09 ^a	12,73±5,14 ^a

Letreas distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En este sentido, se ha encontrado que durante el tratamiento térmico la carne se contrae, pierde agua y cambia su ternura (Vaskoska *et al.*, 2020). Dicha contracción se produce bidimensionalmente, es decir, entre los 35 y 45 °C comienza a darse un encogimiento transversal (perpendicular a la dirección de la fibra muscular) que se completa a los 60-62 °C, mientras que una vez que se alcanzan los 55-64 °C comienza la contracción longitudinal (paralela a la dirección de las fibras musculares) que se completa a los 90 °C (Vaskoska *et al.*, 2020). Este fenómeno de contracción se ha relacionado con la desnaturalización de las proteínas miofibrilares y del tejido conectivo, inducida por el calor durante el cocinado, lo que produce la pérdida de agua que se encontraba retenida dentro de las estructuras de las proteínas por fuerzas capilares (Domínguez *et al.*, 2014; Vaskoska *et al.*, 2020). Factores como la fuerza iónica o el pH pueden influir a estos fenómenos,

aunque cabe destacar que en este caso el pH no presentaba diferencias estadísticamente significativas entre las distintas muestras (Domínguez *et al.*, 2014; Vaskoska *et al.*, 2020).

Sin embargo, como se mencionaba con anterioridad, la incorporación de fibra dietética en productos cárnicos mejora el rendimiento del cocinado, reduciendo las pérdidas al mejorar la capacidad de retención de agua debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre la fibra dietética y las moléculas de agua (Kausar *et al.*, 2019; Botella-Martinez *et al.*, 2021). Las pérdidas que se produce durante el cocinado de la carne y de los productos cárnicos se atribuyen no solo a las pérdidas de agua sino también de grasa, por la fusión de las mismas a las temperaturas de cocinado. En este sentido, los resultados de un estudio en el que se añade polvo de remolacha, procedente de la pulpa de remolacha roja liofilizada, a salchichas de cerdo emulsionadas y cocinadas hasta los 75 °C de temperatura interna, señalan que las muestras con polvo de remolacha presentaban un contenido mayor de humedad que las muestras control y que, además, este efecto correspondía a la dosis incorporada, es decir, las muestras con tratamientos con polvo de remolacha roja al 1,0 % tuvieron un mayor contenido de humedad que aquellos con polvo de remolacha roja al 0,5 % (Jin *et al.*, 2014). Este efecto también se ha visto con la adición de polvo de remolacha a salchichas emulsionadas de pollo cocinadas, en las que incrementa la capacidad de retención de agua (Swastike *et al.*, 2020). En el caso del presente trabajo, se determinó que el porcentaje de humedad de las muestras cocinadas era de 58,53±0,18 % en la muestra control, 57,73±0,02 % en BR4 y 57,76±0,17 % en BR8. Apreciándose, por tanto, una reducción significativa ($p < 0,05$) del contenido de humedad con la incorporación de la harina. Sin embargo, esta tendencia se asimila a los resultados obtenidos en las muestras crudas y si se comparan los porcentajes de humedad entre las muestras antes y tras el cocinado existen menos diferencias entre las muestras con incorporación de HCR que entre las muestras control. Es decir, mientras que las pérdidas de humedad por cocinado en la muestra control fue del 13,53 %, en las muestras con HCR fue del 12,95 % en el caso de BR4 y del 10,05 % en el de BR8. Así pues, se puede apreciar el papel que ejerce la fibra de la HCR sobre la retención de agua y las mejoras de los rendimientos de cocinado.

Además, la adición de fibra dietética a productos cárnicos también puede incrementar la capacidad de retención de grasa (Kausar *et al.*, 2019), evitando que se pierda durante su cocinado. Si se compara el contenido graso antes y después del cocinado se puede advertir un incremento del mismo, concretamente con una diferencia de un 3,61 % para la

muestra control, del 4,78 % para la BR4 y del 4,08 % para la BR8. Estos incrementos se relacionan fundamentalmente con la pérdida de agua (humedad) durante el cocinado y consecuente concentración del resto de componentes.

Además, en este sentido, cabe destacar que en este caso la concentración de grasa fue menor conforme incrementaba la adición de HCR (C: 12,14±0,14 %; BR4: 11,79±0,15 %; BR8: 10,46±0,24 %), existiendo diferencias estadísticamente significativas para la muestra BR8 respecto a la BR4 y la control. La tendencia de los resultados coincide con los datos registrados para las salchichas emulsionadas de cerdo con adición de polvo de remolacha, mencionadas anteriormente, cuyo porcentaje de grasa bruta disminuyó con la adición y con el incremento de concentración de extracto de remolacha roja (Jin *et al.*, 2014). Como se ha comentado previamente para las muestras crudas, este fenómeno puede relacionarse con las mínimas cantidades de grasa presente en el orujo de remolacha (Hotchkiss *et al.*, 2022) y, por ende, en la harina derivada del mismo.

Por lo tanto, a pesar de producirse pérdidas de agua y grasa por acción del calor sobre las proteínas de la carne durante la cocción, la incorporación de la HCR ayudó a minimizar estas pérdidas y, por ende, el porcentaje de acortamiento y de pérdidas de peso en comparación con la muestra control, incrementando así los rendimientos del cocinado. Estos resultados son comparables con los obtenidos por López-Vargas *et al.* (2014) que informaron de que la incorporación de polvo de fibra de albedo obtenida de coproductos de maracuyá amarilla incrementó el rendimiento del cocinado. Así mismo, cabe destacar la importancia de la dosis de fibra empleada, un aspecto muy interesante a tener en cuenta en el planteamiento de futuras investigaciones respecto al empleo de fibra de HCR y es que la adición de una cantidad fibra dietética superior a la cantidad adecuada puede debilitar la capacidad de unión entre las moléculas de agua y causar una mayor pérdida de humedad. Este efecto ha sido registrado por Choi *et al.* (2019); al adicionar polvo de cáscara del haba de cacao a salchichas de cerdo en un porcentaje del 2% se produjo una mayor pérdida por cocinado que las muestras con un tratamiento del 0,75% y el 1%

4.2.4. Análisis sensorial de las hamburguesas

Los resultados relativos a la evaluación sensorial se muestran en las Figuras 23 y 24.

En lo que respecta a la fase visual, tanto el color como la apariencia general de la muestra obtuvieron mayor puntuación en el caso de la muestra control. Como se ha comentado con anterioridad, en el apartado 4.2.2. referente a las propiedades físico-químicas de las hamburguesas y, concretamente, atendiendo a los parámetros de color, existen diferencias estadísticamente significativas entre la muestra control y las muestras BR4 y BR8. La primera presentaba mayor luminosidad y era menos rojiza que las muestras BR4 y BR8. Por lo tanto, a diferencia de los resultados reportados en otros estudios en los que con el uso de remolacha en polvo aumentó las puntuaciones de color para salchichas de pollo (Swastike *et al.*, 2020), en este caso el panel no valoró más positivamente las muestras con la incorporación de la HCR, sino que posiblemente consideraban que la luminosidad y una tonalidad más amarillenta eran atributos más valorados.

Por otro lado, en un estudio en el que se incorporó polvo de remolacha a salchichas de pollo, se determinó la influencia de dicha incorporación en la aceptabilidad del sabor de las muestras, obteniendo puntuaciones más bajas para las muestras con polvo de remolacha (Swastike *et al.*, 2020), lo que podría relacionarse con la menor puntuación para el flavor de las muestras BR4 y BR8. En este sentido, la bibliografía afirma que el uso directo de polvo de remolacha puede tener un efecto negativo en las características sensoriales de los productos cárnicos debido a la presencia de geosmina, un compuesto presente en la remolacha que proporciona un sabor terroso indeseable (Kumar & Brooks, 2017) y/o las saponinas, causantes del sabor amargo de la remolacha roja (Mikołajczyk-Bator, 2022). Así pues, es preciso destacar que algunos jueces identificaron como “sabor extraño” en la muestra BR8 el sabor terroso.

En referencia al sabor, se ha visto que en los productos alimenticios derivados de la remolacha (como los zumos) destaca el sabor dulce (Mikołajczyk-Bator, 2022). Sin embargo, la puntuación relativa a la aceptabilidad del dulzor de la muestra que otorgaron los jueces a las muestras con HCR no difirió significativamente respecto a la muestra control. Aunque algunos jueces sí señalaron en el apartado de comentarios referente a la muestra BR8 que destacaba su sabor dulce y, además, en general mostraron menor aceptabilidad por esta muestra en cuanto a este parámetro.

Por otro lado, no se mostraron diferencias significativas para los atributos de jugosidad ni dureza. Esto último se estuvo de acuerdo con los valores obtenidos en el ensayo

textural que tampoco mostró diferencias significativas de dureza entre las diferentes muestras. Tampoco se encontraron diferencias para la desmenuzabilidad y, aunque este parámetro no se determinó directamente en el análisis de textura, teniendo en cuenta que es un atributo relativo a la fragilidad del producto, se puede relacionar con la cohesividad, ya que, las muestras con menor cohesividad pueden tardar menos en romperse al presentar un menor grado de deformación antes de hacerlo. Sin embargo, como se mostraba anteriormente, la cohesividad sí presentó diferencias significativas, siendo las muestras tratadas las que presentaron un menor grado de deformación antes de romperse.

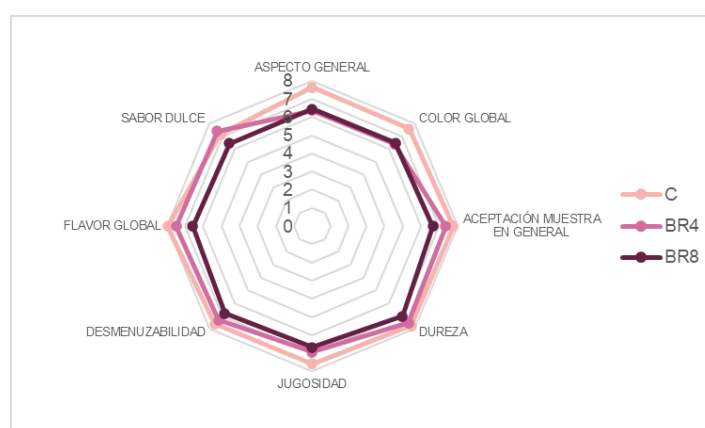


Figura 23. Análisis de perfil sensorial de las hamburguesas.

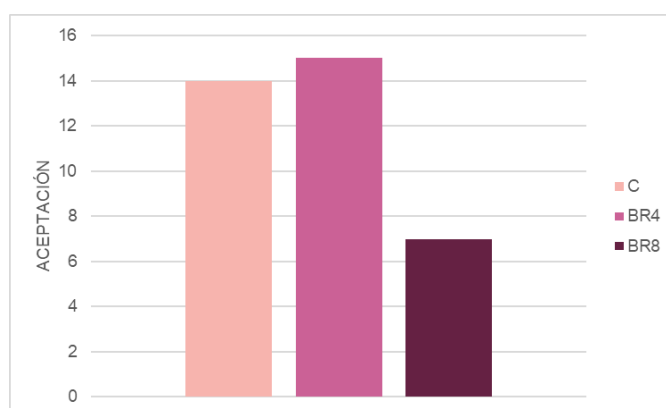


Figura 24. Grado de aceptación total de las distintas muestras.

Como se muestra en la Figura 23, el aspecto general (visual) de las muestras fue significativamente mejor valorado en el caso de la hamburguesa control y el grado de

aceptación general una vez la muestra se encontraba en boca no presentó diferencias considerables entre los resultados obtenidos con las distintas muestras. Sin embargo, la muestra más elegida por el panel cuando debían escoger la que más gustaba fue la BR4 (Figura 24). Esto puede deberse a su mayor semejanza con la hamburguesa convencional de ternera, en comparación con la muestra BR8 (la que menos gustó), y al sabor que genera la incorporación de un 4 % de remolacha, que al ser menor que el 8 % presente en la muestra BR8 es posible que los sabores terroso y dulce identificados por los jueces en la muestra BR8 no se percibieran tanto.

5. CONCLUSIONES

La obtención de harina de remolacha a partir de coproductos de la industrialización de la remolacha es un proceso tecnológicamente viable que permite obtener un producto estable (tipo harina) que puede utilizarse como ingrediente en la elaboración de alimentos. Por su contenido en fibra dietética y su color rojo es un ingrediente idóneo para el enriquecimiento de productos cárnicos y la elaboración de productos cárnicos híbridos.

Con la incorporación de la harina del coproducto de la remolacha roja las hamburguesas adquirieron ventajas tanto nutricionales como tecnológicas. El contenido de fibra dietética aumentó al incrementar la dosis de harina de coproducto de la remolacha roja, lo que supone beneficios a nivel nutricional. Además, este aporte de fibra contribuyó a mejorar las propiedades de cocinado, minimizando las pérdidas de humedad y grasa. Finalmente, a nivel sensorial los catadores prefirieron la muestra con un 4 % de harina de remolacha, frente a la muestra control y la que llevaba un 8 %. Esto refleja que la incorporación de harina del coproducto de la remolacha roja en la formulación de productos cárnicos puede ser aceptada por el consumidor.

Para que la incorporación de harina del coproducto de la remolacha roja a los productos cárnicos sea efectiva deberá realizarse en la proporción adecuada, evitando cantidades excesivas y, por tanto, que se debilite la capacidad de unión entre la matriz del producto y las moléculas de agua, así como que el producto final adquiriera un sabor terroso. Este puede ser un aspecto muy interesante a tener en cuenta en el planteamiento de futuras investigaciones respecto al empleo de harina del coproducto de la remolacha roja.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aviles, M. V., Naef, E. F., Abalos, R. A., Lound, L. H., Gómez, M. L. N., & Olivera, D. F. (2023). Use of a rice industry by-product as a meat replacer in a hybrid chicken patty: Technological and sensory impact. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 31, 100674. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100674>

Botella-Martínez, C., Viuda-Martos, M., Lorenzo, J. M., Santos, E. M., Rosmini, M. R., Sepúlveda, N., Teixeira, A., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J. Á., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. Á. (2021). Cocoa Coproducts-Based and Walnut Oil Gelled Emulsion as Animal Fat Replacer and Healthy Bioactive Source in Beef Burgers. *Foods*, 10(11), 2706. <https://doi.org/10.3390/foods10112706>

Botella-Martínez, Carmen María; Ponce-Martínez, Ángel Joaquín; Rodríguez-Párraga, Judit; Solivella-Poveda, Ana Micaela; Pérez-Álvarez, José Ángel; Viuda-Martos, Manuel y Fernández-López Juana. (2023) El zumo de remolacha como colorante en el desarrollo de análogos cárnicos. <https://revistaalimentaria.es/industria/materias-primas/el-zumo-de-remolacha-como-colorante-en-el-desarrollo-de-analogos-carnicos>

Bourne, M.C. (1978) Análisis del perfil de textura. *Tecnología de Alimentos*. Págs. 32, 62–65.

Chaux-Gutiérrez, A. M., Pérez-Monterroza, E. J., Granda-Restrepo, D. M., & Mauro, M. Y. C. (2020). Effect of temperature and relative humidity on the stability of betalains encapsulated in cryogels from protein and polysaccharide. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 2007-2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04713-x>

Chhikara, N., Kushwaha, K. P., Panghal, A., Gat, Y., & Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>

Choi, J., Kim, N., Choi, H., & Han, Y. M. (2019d). Effect of Cacao Bean Husk Powder on the Quality Properties of Pork Sausages. *Food Science of Animal Resources*, 39(5), 742-755. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e62>

Choo, W. S., & Saik, A. Y. H. (2021). Valorization of fruit and vegetable waste for bioactive pigments: extraction and utilization. In R. Bhat (Ed.), *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products: Recent Trends, Innovations and Sustainability Challenges* (1st ed., pp. 61-81). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824044-1.00048-9>

Del Amo-Mateos, E., Fernández-Delgado, M., Lucas, S., López-Linares, J. C., García-Cubero, M. T., & Coca, M. (2023). Valorization of discarded red beetroot through the recovery of bioactive compounds and the production of pectin by surfactant-assisted microwave extraction. *Journal of Cleaner Production*, 389, 135995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135995>

Delgado-Ospina, J., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. Á., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. Á., Martuscelli, M., & Chaves-López, C. (2021). Bioactive compounds and techno-functional properties of high-fiber co-products of the cacao agro-industrial chain. *Heliyon*, 7(4), e06799. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06799>

Derbyshire, E. (2017). Flexitarian Diets and Health: A Review of the Evidence-Based Literature. *Frontiers in Nutrition*, 3. <https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00055>

Dietary Reference Values (2019) EFSA. <https://multimedia.efsa.europa.eu/drvs/index.htm>

Domínguez, R., Gómez, M. L. N., Fonseca, S., & Lorenzo, J. M. (2014). Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 58(2), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.006>

Domínguez, R., Munekata, P. E., Pateiro, M., Maggiolino, A., Bohrer, B. M., & Lorenzo, J. M. (2020). Red Beetroot. A Potential Source of Natural Additives for the Meat Industry. *Applied sciences*, 10(23), 8340. <https://doi.org/10.3390/app10238340>

Duthie, G. G., Campbell, F., Bestwick, C. S., Stephen, S., & Russell, W. R. (2013). Antioxidant Effectiveness of Vegetable Powders on the Lipid and Protein Oxidative Stability of Cooked Turkey Meat Patties: Implications for Health. *Nutrients*, 5(4), 1241-1252. <https://doi.org/10.3390/nu5041241>

Fijalkowska, A. (2015). Wpływ obróbki wstępnej ultradźwiękami na przebieg suszenia oraz barwę i zawartość betalain w buraku ćwikłowym. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych - Tom 581 (2015) - AGRO - Yadda*. <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-68fd06e0-0105-43d1-8bcc-02400119fcd7>

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(Pt 3), 132221. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132221>

Grasso, S., Asioli, D., & Smith, R. A. (2022). Consumer co-creation of hybrid meat products: A cross-country European survey. *Food Quality and Preference*, 100, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104586>

Ha, S., Choi, J., & Jin, S. (2015b). The Physicochemical Properties of Pork Sausages with Red Beet Powder. *Saengmyeong gwahag hoeji*, 25(8), 896-902. <https://doi.org/10.5352/jls.2015.25.8.896>

Herbach, K. M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Betalain Stability and Degradation? Structural and Chromatic Aspects. *Journal of Food Science*, 71(4), R41-R50. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x>

Hotchkiss, A. T., Chau, H. K., Strahan, G. D., Nuñez, A., Simon, S., White, A., Dieng, S., Heuberger, E. R., Yadav, M. P., & Hirsch, J. (2022). Structural characterization of red beet fiber and pectin. *Food Hydrocolloids*, 129, 107549. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107549>

Janiszewska-Turak, E., Rybak, K., Grzybowska, E., Konopka, E., & Witrowa-Rajchert, D. (2021). The Influence of Different Pretreatment Methods on Color and Pigment Change in Beetroot Products. *Molecules*, 26(12), 3683. <https://doi.org/10.3390/molecules26123683>

Jin, S., Choi, J., Moon, S., Jeong, J., & Kim, G. (2014). The Assessment of Red Beet as a Natural Colorant, and Evaluation of Quality Properties of Emulsified Pork Sausage Containing Red Beet Powder during Cold Storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34(4), 472-481. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.4.472>

Kausar, T., Hanan, E., Ayob, O., Praween, B., & Azad, Z. R. A. A. (2019). A review on functional ingredients in red meat products. *Bioinformation*, 15(5), 358-363. <https://doi.org/10.6026/97320630015358>

Kim, J., & Shand, P. J. (2022). Combined effect of beet powder and lentil flour as a partial nitrite substitute on physicochemical, texture and sensory characteristics, color, and oxidative stability of pork bologna. *Journal of Food Science*, 87(10), 4379-4393. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16302>

Kumar, S., & Brooks, M. S. (2017). Use of Red Beet (*Beta vulgaris* L.) for Antimicrobial Applications—a Critical Review. *Food and Bioprocess Technology*, 11(1), 17-42. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1942-z>

López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. Á. (2014). Quality characteristics of pork burger added with albedo-fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Meat Science*, 97(2), 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.010>

Manassi, C. F., De Souza, S. M., De Souza Hassemer, G., Bordignon-Luiz, M. T., Lima, C. M. G., Verruck, S., De Dea Lindner, J., Rezzadori, K., Pimentel, T. C., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Duarte, M. I. S., Mársico, E. T., & Verruck, S. (2022). Functional meat products: Trends in pro-, pre-, syn-, para- and post-biotic use. *Food Research International*, 154, 111035. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111035>

Marrone, R., Smaldone, G., Ambrosio, R. L., Festa, R., Ceruso, M., Chianese, A., & Anastasio, A. (2021). Effect of beetroot (*Beta vulgaris*) extract on Black Angus burgers shelf life. *Italian Journal of Food Safety*, 10(1). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2021.9031>

Mikołajczyk-Bator, K. (2022). The significance of saponins in shaping the quality of food products from red beet. *Acta Scientiarum Polonorum*, 21(1), 81-90. <https://doi.org/10.17306/j.afs.2022.1012>

Ozaki, M. M., Munekata, P. E., Jacinto-Valderrama, R. A., Efraim, P., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., & Pollonio, M. A. R. (2021). Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat Science*, 171, 108275. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108275>

Pogorzelska-Nowicka, E., Atanasov, A. G., Horbańczuk, J. O., & Wierzbicka, A. (2018). Bioactive Compounds in Functional Meat Products. *Molecules*, 23(2), 307. <https://doi.org/10.3390/molecules23020307>

Rattin, J.; Echarte, M.; Barrera, L.; Di Tognetti, J. y Benedetto, A. (2022) Las multifacéticas remolachas: una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales.

Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. Á. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85(1), 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>

Sucu, C., & Turp, G. Y. (2018c). The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat Science*, 140, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.012>

Swastike, W., Suryanto, E., Rusman, R., Hanim, C., Jamhari, J., Erwanto, Y., & Jumari, J. (2020). The Substitution Effects of Tapioca Starch and Beetroot Powder as Filler On The Physical and Sensory Characteristics Of Chicken Sausage. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak: Media Komunikasi Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.02.5>

Talens, C., Llorente, R., Simó-Boyle, L., Odriozola-Serrano, I., Tueros, I., & Ibarguen, M. (2022). Hybrid Sausages: Modelling the Effect of Partial Meat Replacement with Broccoli, Upcycled Brewer's Spent Grain and Insect Flours. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(21), 3396. <https://doi.org/10.3390/foods11213396>

Utpott, M., De Araujo, R. R., Vargas, C., Paiva, A., Tischer, B., De Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2020). Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14420>

Vaskoska, R., Ha, M., Naqvi, Z., White, J. C., & Warner, R. D. (2020). Muscle, Ageing and Temperature Influence the Changes in Texture, Cooking Loss and Shrinkage of Cooked Beef. *Foods*, 9(9), 1289. <https://doi.org/10.3390/foods9091289>

Wruss, J., Waldenberger, G., Huemer, S., Uygun, P., Lanzerstorfer, P., Müller, U., Höglinger, O., & Weghuber, J. (2015). Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.03.005>