

Elaboración y Caracterización de harina a partir de cáscara de zanahoria (*Daucus carota*)

Development and Characterization of Flour from Carrot Peel (*Daucus carota*)

Elaboração e Caracterização de Farinha a partir de Casca de Cenoura (*Daucus carota*)

Bautista Machuca, Ines Aracely¹

Rojas Olaguibel, Annabelly Steffany²

Recibido: 15/02/24

Aceptado: 04/04/24

RESUMEN

Bautista Machuca Ines Aracely

Melgarejo Zegarra, David Darwin

La investigación tuvo como objetivo principal elaborar y caracterizar harina funcional a partir de la cáscara de zanahoria (*Daucus carota*), un subproducto agroindustrial comúnmente desechado. Para ello, se siguió un proceso que incluyó la recepción, selección, separación, reducción de tamaño, secado, molienda, tamizado y empackado de las cáscaras. El balance de materia mostró que la mayor pérdida ocurrió en la etapa de separación, donde el 84 % de la materia prima fue descartado como endocarpio, mientras que el producto final representó el 12.9 % del peso inicial. La harina obtenida presentó características fisicoquímicas destacadas, con un contenido de humedad del 10.5 %, fibra cruda del 14.3 %, proteína del 4.85 %, grasa del 0.69 %, cenizas del 2.35 % y una materia seca total del 90.74 %. Estos resultados subrayan el valor nutricional y funcional del producto, haciéndolo adecuado para aplicaciones en alimentos funcionales y dietéticos. Además, la investigación destacó la importancia de estrategias para el aprovechamiento integral de los descartes, como el endocarpio, que podrían ser utilizados en la producción de fertilizantes, biogás o compuestos bioactivos. La comparación con otras investigaciones mostró que la harina de cáscara de zanahoria es comparable a otras harinas vegetales, como las de cáscara de plátano, en términos de su potencial para mejorar la textura, el color y el valor nutricional de productos alimenticios. Además, se concluyó que esta harina tiene una mayor actividad prebiótica y capacidad antioxidante que otros subproductos vegetales. En este contexto, la investigación respalda la importancia de la economía circular y la sostenibilidad en la industria alimentaria al transformar residuos en ingredientes funcionales de alto valor agregado.

Palabras clave: Cáscara de zanahoria, Harina funcional, Valorización de residuos y Economía circular.

ABSTRACT

¹ Universidad Cesar Vallejo. Chimbote. Perú. Bachiller. Bautistamiasr@outlook.es

² Universidad Cesar Vallejo. Chimbote. Perú. Bachiller. rojasoas@outlook.es

The main objective of the research was to develop and characterize functional flour from carrot peel (*Daucus carota*), an agro-industrial byproduct that is commonly discarded. The process included the reception, selection, separation, size reduction, drying, milling, sieving, and packaging of the peels. The material balance showed that the greatest loss occurred during the separation stage, where 84% of the raw material was discarded as endocarp, while the final product represented 12.9% of the initial weight. The obtained flour showed outstanding physicochemical characteristics, with a moisture content of 10.5%, crude fiber of 14.3%, protein of 4.85%, fat of 0.69%, ash of 2.35%, and a total dry matter of 90.74%. These results underline the nutritional and functional value of the product, making it suitable for applications in functional and dietary foods. Furthermore, the research highlighted the importance of strategies for the comprehensive use of byproducts, such as the endocarp, which could be used for the production of fertilizers, biogas, or bioactive compounds. Comparison with other studies showed that carrot peel flour is comparable to other vegetable flours, such as banana peel flour, in terms of its potential to improve the texture, color, and nutritional value of food products. Moreover, it was concluded that this flour has higher prebiotic activity and antioxidant capacity than other vegetable byproducts. In this context, the research supports the importance of circular economy and sustainability in the food industry by transforming waste into high-value functional ingredients.

Keywords: *Carrot peel, functional flour, waste valorization, circular economy*

RESUMO

O principal objetivo da pesquisa foi elaborar e caracterizar farinha funcional a partir da casca de cenoura (*Daucus carota*), um subproduto agroindustrial comumente descartado. O processo incluiu a recepção, seleção, separação, redução de tamanho, secagem, moagem, peneiramento e embalagem das cascas. O balanço de massa mostrou que a maior perda ocorreu na etapa de separação, onde 84% da matéria-prima foi descartada como endocarpo, enquanto o produto final representou 12,9% do peso inicial. A farinha obtida apresentou características físico-químicas destacadas, com um teor de umidade de 10,5%, fibra bruta de 14,3%, proteína de 4,85%, gordura de 0,69%, cinzas de 2,35% e matéria seca total de 90,74%. Esses resultados destacam o valor nutricional e funcional do produto, tornando-o adequado para aplicações em alimentos funcionais e dietéticos. Além disso, a pesquisa ressaltou a importância de estratégias para o aproveitamento integral de descartes, como o endocarpo, que pode ser utilizado na produção de fertilizantes, biogás ou compostos bioativos. A comparação com outros estudos mostrou que a farinha de casca de cenoura é comparável a outras farinhas vegetais, como a de casca de banana, em termos de seu potencial para melhorar a textura, a cor e o valor nutricional de produtos alimentícios. Além disso, concluiu-se que esta farinha possui maior atividade prebiótica e capacidade antioxidante do que outros subprodutos vegetais. Nesse contexto, a pesquisa apoia a importância da economia circular e da sustentabilidade na indústria alimentícia ao transformar resíduos em ingredientes funcionais de alto valor agregado.

Palavras Chave: *Casca de cenoura, farinha funcional, valorização de resíduos, Economia circular*

Introducción

El manejo de residuos agroindustriales es un desafío importante en la actualidad debido al impacto ambiental que generan y al desperdicio de recursos con alto valor nutricional. En el caso de la zanahoria (*Daucus carota*), un producto ampliamente cultivado y procesado, sus cáscaras representan un subproducto significativo que, en muchos casos, se desecha sin un tratamiento adecuado. Este residuo posee un alto contenido de compuestos bioactivos como carotenoides, fibras y antioxidantes, lo que lo convierte en un recurso subutilizado con potencial para ser transformado en productos de valor agregado, como harinas funcionales destinadas a la industria alimentaria (Espinoza-Gayosso et al., 2021). La zanahoria (*Daucus carota*) es una de las hortalizas más importantes en la dieta humana, reconocida no solo por su versatilidad culinaria, sino también por sus beneficios nutricionales y propiedades funcionales. Esta raíz pertenece a la familia de las Umbelíferas y es ampliamente cultivada en todo el mundo debido a su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas (Espinoza-Gayosso et al., 2021).

La parte comestible de la zanahoria contiene diversos compuestos beneficiosos, como carotenoides, antocianinas, fibra dietética, vitaminas y otros nutrientes, lo que la convierte en un vegetal significativo en la nutrición humana (Al-Khayri, et al, 2021). Las zanahorias son una buena fuente de antioxidantes dietéticos, particularmente α - y β -caroteno, vitamina E y antocianinas, responsables de su coloración (Macko-Podgórní, et al, 2017). Un mayor consumo de carotenoides, como los presentes en las zanahorias, se asocia con un mejor funcionamiento del sistema inmunológico y una

disminución del riesgo de diversos tipos de cáncer y enfermedades degenerativas (Šeregelj, et al, 2020).

La problemática de los residuos orgánicos no es nueva; estudios han demostrado que los subproductos agroindustriales pueden ser reaprovechados, mitigando la contaminación y promoviendo prácticas sostenibles. Por ejemplo, investigaciones recientes sobre cáscaras de naranja y maracuyá resaltan que pueden transformarse en harinas ricas en fibras, proteínas y minerales, útiles para enriquecer alimentos y reducir el impacto ambiental (Arias et al., 2018). Desde una perspectiva teórica, la economía circular respalda iniciativas que busquen maximizar el uso de los recursos, reduciendo residuos y fomentando la sostenibilidad ambiental. En el caso de las cáscaras de zanahoria, su conversión en harina funcional se alinea con estos principios, al mismo tiempo que responde a la creciente demanda de ingredientes ricos en fibra para alimentos saludables y funcionales. Además, el procesamiento de estos residuos, como la deshidratación controlada y la molienda, es clave para mantener sus propiedades nutricionales y funcionales (Rendón & Blanco, 2015).

Los desechos de zanahoria, incluidas las cáscaras, contienen grandes cantidades de bioactivos residuales, como carotenoides y compuestos fenólicos, con propiedades significativas para la promoción de la salud más allá de la nutrición básica (Šeregelj, et al, 2020). La cáscara de zanahoria tiene una mayor concentración de carotenoides, ácidos fenólicos y ácidos orgánicos en comparación con la pulpa de la raíz, lo que la convierte en una valiosa fuente de compuestos bioactivos y funcionales (Conversa, et al, 2021). Las cáscaras de zanahoria son ricas en vitaminas, fibra dietética y carotenoides, lo que las hace una buena fuente de antioxidantes dietéticos (Sharma y Kumar, 2017).

El objetivo de este estudio es explorar el potencial de la harina elaborada a partir de cáscara de zanahoria como un ingrediente funcional. Se busca caracterizar sus propiedades bromatológicas y evaluar su viabilidad para aplicaciones industriales, como parte de un enfoque sostenible en la producción de alimentos. Este trabajo no solo pretende aprovechar un subproducto comúnmente desechado, sino también aportar al desarrollo de alimentos funcionales, apoyando una mejor nutrición y prácticas ambientales responsables.

Material y métodos

El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Química General del Programa de estudio de Química Industrial del Instituto de Educación Superior.

Materia Prima

Se utilizó 5 kg de zanahoria de tamaño mediano y chicas, para aprovechar la mayor cantidad de cáscara. La zanahoria procedió de los alrededores de Chimbote, Santa, Casma, Huarmey, Trujillo, los mismos que se expende en los mercados de abastos de la ciudad de nuevo Chimbote.

Elaboración de harina de cáscara de zanahoria.

El proceso de elaboración de harina a partir de la cáscara de zanahoria siguió una metodología sistemática y estandarizada para garantizar un producto de calidad óptima según la figura 1. Primero, se recibió la materia prima, compuesta por 5 kg de zanahorias de tamaño mediano y pequeño, recolectadas de mercados locales. Estas fueron transportadas en depósitos plásticos previamente lavados y desinfectados para preservar su integridad y evitar contaminaciones externas. A continuación, se realizó una selección manual de las zanahorias. En esta etapa, se descartaron aquellas que presentaban magulladuras, daños o estaban en un estado de maduración excesivo, asegurando que solo se utilizara materia prima de calidad para el proceso. Posteriormente, se llevó a cabo la separación de la cáscara. Las zanahorias seleccionadas fueron lavadas con agua potable y desinfectadas utilizando una solución de hipoclorito de sodio (50 ppm). Luego de enjuagar abundantemente para eliminar cualquier residuo de hipoclorito, las cáscaras fueron separadas cuidadosamente con cuchillos curvos para evitar la pérdida de endocarpio. Este último se reservó para otros usos, mientras que las cáscaras, que representaron 800 g del peso total, fueron procesadas. La cáscara separada fue nuevamente inspeccionada para eliminar cualquier residuo o sección deteriorada. Una vez listas, las cáscaras fueron cortadas en tajadas delgadas para facilitar su posterior deshidratación. Estas tajadas fueron secadas en un horno a una temperatura

de 60 °C durante 20 horas, utilizando bandejas perforadas que permitieron una adecuada circulación de aire y extracción de humedad. Una vez deshidratadas, las cáscaras fueron trituradas mediante un proceso de molienda manual, que se extendió por un período de cuatro días. Esta molienda fina resultó en un polvo homogéneo que fue tamizado utilizando un tamiz de 212 μm para asegurar una granulometría uniforme. Las partículas gruesas fueron regresadas al proceso de molienda para optimizar el rendimiento del producto. Finalmente, la harina obtenida fue empaquetada en bolsas de 100 g, selladas herméticamente para evitar la entrada de humedad y contaminación. En total, se produjeron 645 g de harina lista para ser utilizada en diversas aplicaciones alimenticias.

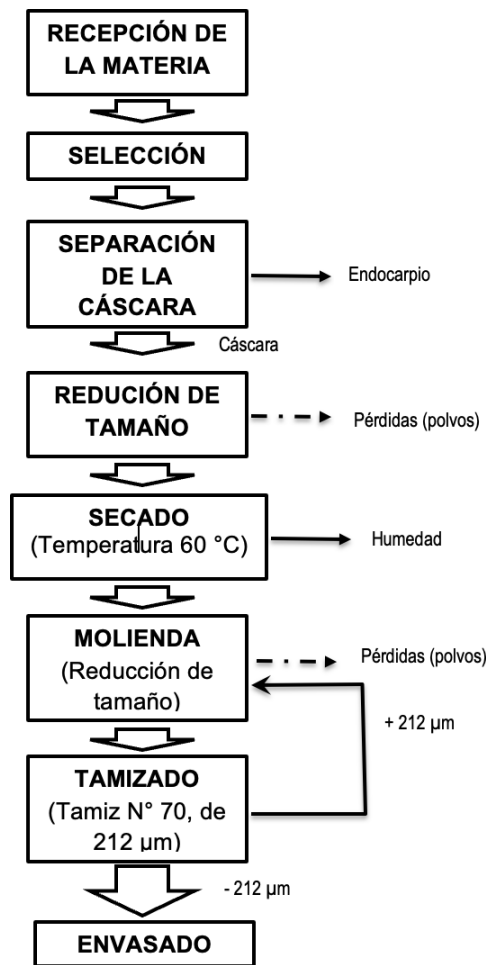


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de Elaboración de harina de cáscara de zanahoria

Análisis químicos y fisicoquímicos de la harina de cascara de zanahoria

Se realizó en la materia prima y en el producto final:

1. Humedad: Método Gravimétrico, diferencias de masa con el extracto seco total, recomendado por la AOAC (2023).
2. Proteínas: Método Kjeldahl por la AOAC (2023).
3. Ceniza: Se realizó por incineración de la muestra en la mufla a 600°C durante 6 horas (AOAC, 2023).
4. Fibra Cruda: por hidrólisis con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, en cada etapa. El residuo se filtra y luego se seca para luego pesarlo (AOAC, 2023).

5. Carbohidratos Totales: por diferencia restando el 100% los porcentajes de humedad, cenizas, fibra, proteínas

Determinación de fibra dietética

Para la determinación de fibra dietética (FDT, FDI, FDS), se empleó el método enzimático gravimétrico descrito por Prosky et al. (1988), adaptado para garantizar precisión en los resultados. Inicialmente, se prepararon crisoles para fibra en condiciones de masa constante al someterlos a 550 °C durante 45 minutos en una mufla. Posteriormente, se añadieron 0,5 g de celite y 10 ml de etanol al 78 %, eliminando el exceso por vacío para formar una capa homogénea. Los crisoles fueron colocados en una estufa a 130 °C durante 90 minutos, enfriados y desecados antes de la medición de la masa. Este procedimiento se realizó por cuadruplicado, utilizando 1 g de muestra en base seca (b.s.) para cada análisis. A cada muestra se le adicionaron 50 ml de un buffer fosfato 0,05N a pH 6, preparado con una combinación de NaH₂PO₄ y Na₂HPO₄. La mezcla se mantuvo en baño maría a 60 °C con agitación constante. Luego, se incorporó 0,1 ml de α -amilasa termosestable y se agitó por 25 minutos. El pH de las muestras se ajustó a 7,5, tras lo cual se les agregó 0,1 ml de proteasa y se incubaron por 30 minutos. Finalmente, se ajustó el pH a 4 - 4,3, y se añadió 0,3 ml de amiloglucosidasa, continuando la incubación por otros 30 minutos. Para separar las fibras, se añadió etanol al 95 % precalentado, seguido de filtración al vacío utilizando crisoles con celite. Los residuos se lavaron con etanol al 78 %, etanol al 95 %, y acetona, para posteriormente ser secados a 105 °C durante toda la noche. Los residuos en dos de los crisoles fueron analizados para proteína por el método de Kjeldahl, mientras que los restantes fueron incinerados a 550 °C para determinar el contenido mineral.

La fibra dietética insoluble (FDI) se determinó mediante un procedimiento similar, omitiendo la adición de alcohol. Finalmente, la fibra dietética soluble (FDS) se calculó por diferencia entre FDT y FDI.

Resultados

Balance de Materia

El balance de materia es fundamental para evaluar la eficiencia del proceso de extracción de gelatina y se presenta el detalle general en la Tabla 1. A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante las diferentes etapas del proceso: Se pesaron 5 kg de piel y huesos de cuy, lo que proporcionó la materia prima necesaria para el proceso de extracción. Durante el desengrasado con agua caliente a 80°C, se observó una pérdida de masa de aproximadamente 0.05 kg, lo que representa un 1.01% de la materia prima inicial. Esta etapa es crucial para eliminar la grasa y facilitar la extracción del colágeno. Tras el pretratamiento con ácido acético, se logró una eliminación adicional de impurezas. La masa después de esta etapa fue de 4.90 kg, indicando que la mezcla y el tiempo de reposo fueron efectivos. Al final del proceso de extracción, se filtró 1.21 kg de gelatina. Esto representa un rendimiento del 40.85% en relación con la masa total de piel y huesos utilizados inicialmente. La gelatina obtenida se concentró a un 20% de sólidos, lo que demuestra la efectividad del proceso de purificación y concentración. Se registraron pérdidas en cada etapa, incluyendo el lavado y la filtración. Se estima que las pérdidas totales fueron de aproximadamente 4.62 kg, lo que corresponde a un 92.4% de la materia prima total.

Tabla 1

Balance de Materia

Etapas	Entrada (kg)	Salida (kg)	Pérdida (kg)	Entrada (%)	Salida (%)	Pérdida (%)
Recepción de materia prima	5.0	5.0	0.0	100.0	100.0	0.0
Selección	5.0	5.0	0.0	100.0	100.0	0.0
Separación de cáscaras	5.0	0.8	4.2	100.0	16.0	84.0

Reducción de tamaño	0.8	0.8	0.0	16.0	16.0	0.0
Secado	0.8	0.716	0.084	16.0	14.32	1.68
Molienda y tamizado	0.716	0.645	0.071	14.32	12.9	1.42
Empacado	0.645	0.645	0.0	12.9	12.9	0.0

El balance de materia del proceso de elaboración de harina a partir de la cáscara de zanahoria mostró aspectos clave sobre la eficiencia de cada etapa y la distribución de pérdidas. Durante la recepción de materia prima, no se observaron pérdidas, lo que reflejó un adecuado manejo inicial de las zanahorias recolectadas y una correcta preservación de su peso. Esto garantizó que toda la materia prima llegara en condiciones óptimas para ser procesada. En la etapa de selección, el peso total de las zanahorias no varió, lo cual indicó que los descartes realizados no afectaron la cantidad considerada en el balance. Este resultado subraya una gestión cuidadosa en la selección de los materiales útiles para el proceso, asegurando que el volumen de trabajo siguiera constante sin pérdidas registradas. Sin embargo, la separación de cáscaras representó la mayor pérdida dentro del proceso, donde solo el 16 % del peso inicial (0,8 kg) fue recuperado como cáscara, mientras que el 84 % restante (4,2 kg) correspondió al endocarpio y otros descartes. Este resultado es esperado, ya que el proceso estaba enfocado únicamente en la utilización de las cáscaras, mientras que el endocarpio se destinó a otros usos. Este dato resalta la importancia de considerar el aprovechamiento integral del material descartado en esta etapa. La reducción de tamaño no generó pérdidas adicionales, manteniendo constante el peso de las cáscaras en 0,8 kg. Esto refleja un procedimiento eficiente, ya que el corte en tajadas no resultó en material descartado. Durante el secado, se observó una reducción en el peso de las cáscaras de 0,8 kg a 0,716 kg, lo que representó una pérdida del 1,68 % del peso inicial debido a la eliminación de humedad. Este resultado fue consistente con los objetivos de secado, ya que este paso buscaba estabilizar el producto y reducir su contenido de agua para prolongar su vida útil.

En la etapa de molienda y tamizado, el peso disminuyó de 0,716 kg a 0,645 kg, lo que reflejó una pérdida del 0,071 kg atribuida a la eliminación de partículas más gruesas durante el tamizado. Aunque estas partículas pueden ser reprocesadas, no formaron parte del producto final en este análisis. Esto destacó la importancia de optimizar el proceso de tamizado para maximizar el rendimiento del producto final sin comprometer su calidad. Finalmente, durante el empacado, no se registraron pérdidas adicionales, lo que indicó un manejo eficiente del producto final. El peso total obtenido de 0,645 kg de harina reflejó el rendimiento acumulado del proceso, destacando que aproximadamente el 12,9 % de la materia prima inicial se transformó en el producto final.

Análisis químicos y fisicoquímicos

Los resultados del análisis químico y fisicoquímico de la harina de cascara de zanahoria se presenta en la Tabla N°2.

Tabla 2. Análisis químico y fisicoquímico de la harina de cascara de zanahoria

Componente	Contenido (%)
Humedad	10.5
Proteína	4.85
Grasa	0.69
Cenizas	2.35

La materia seca total	90.74
Fibra Cruda	14.3

El análisis químico y fisicoquímico de la harina de cáscara de zanahoria revela una composición que respalda su potencial como un ingrediente funcional en la industria alimentaria. El contenido de humedad se encuentra dentro de los límites aceptables para productos deshidratados. Este valor garantiza la estabilidad del producto durante el almacenamiento, reduciendo el riesgo de crecimiento microbiano y prolongando su vida útil. La harina presenta un contenido moderado de proteínas, lo que la posiciona como una fuente complementaria en alimentos destinados a mejorar el perfil nutricional. Este porcentaje es comparable al de otros subproductos vegetales procesados, como harinas de cáscaras de frutas y verduras, que generalmente contienen entre 3 % y 6 % de proteínas (Espinoza-Gayosso et al., 2021). El bajo contenido graso indica que esta harina es adecuada para dietas bajas en lípidos. Además, su composición lipídica podría contribuir a la estabilidad del producto durante el almacenamiento, ya que un contenido menor de grasa reduce el riesgo de oxidación lipídica. Este valor refleja la presencia de minerales, lo cual sugiere que la harina puede contribuir al aporte de micronutrientes en aplicaciones alimentarias. Valores similares han sido reportados en harinas de cáscaras de zanahorias y otros vegetales deshidratados, demostrando su potencial para enriquecer productos con minerales esenciales (Arias et al., 2018). Este porcentaje indica que la mayor parte del producto está compuesta por nutrientes sólidos, lo que es característico de harinas deshidratadas de alta calidad. Este valor favorece su uso en formulaciones alimenticias donde se requieran ingredientes concentrados. El alto contenido de fibra resalta la utilidad de esta harina en el desarrollo de alimentos funcionales, especialmente en productos diseñados para promover la salud digestiva. Estudios previos han demostrado que harinas con altos niveles de fibra, como la obtenida de cáscaras de zanahoria, pueden contribuir a la regulación del tránsito intestinal y a la reducción del colesterol (Rendón & Blanco, 2015).

Discusión

Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones previas que resaltan el valor nutricional y funcional de subproductos vegetales procesados. Por ejemplo, Espinoza-Gayosso et al. (2021) destacaron que las cáscaras de zanahoria contienen compuestos bioactivos, como fibra y antioxidantes, que se mantienen en gran medida después de los procesos de deshidratación. Esto confirma que el producto final preserva componentes importantes para la salud humana.

Además, Arias et al. (2018) reportaron que subproductos agroindustriales como las cáscaras de naranja y maracuyá tienen composiciones similares en términos de minerales y fibra cruda. Estos hallazgos refuerzan la importancia de valorizar residuos vegetales a través de procesos de transformación en harinas funcionales.

El contenido de proteínas y minerales observado en este estudio también es consistente con el reportado por Rendón y Blanco (2015), quienes analizaron harinas de vegetales deshidratados, destacando su utilidad en productos dietéticos. Esto sugiere que la harina de cáscara de zanahoria podría desempeñar un papel similar en aplicaciones industriales.

Corredor y Pérez (2018) resaltaron el potencial de los residuos agroindustriales en diversos usos, como la generación de biogás, compostaje y desarrollo de alimentos funcionales. Este enfoque podría ser aplicable al 84 % de los descartes del proceso de cáscara de zanahoria, maximizando su sostenibilidad y reduciendo el impacto ambiental.

Güemes-Vera et al. (2020) analizaron harinas de cáscara de cacao y reportaron un alto contenido de fibra (26.75 %) y cenizas (8.41 %), lo que indica que las harinas derivadas de subproductos también pueden retener una significativa proporción de nutrientes. Esto es comparable con la harina de cáscara de zanahoria, que contiene 14.3 % de fibra y 2.35 % de cenizas, destacándose como un ingrediente funcional con aplicaciones en alimentos saludables.

La harina de cáscara de zanahoria se ha comparado con otras harinas vegetales, como la harina de cáscara de plátano, en términos de su potencial aplicación en productos alimenticios. La harina de bagazo de zanahoria y la harina de cáscara de plátano han sido identificadas como ingredientes funcionales para mejorar la textura, el color y el sabor de productos cárnicos, destacándose la harina de bagazo de zanahoria por su mayor actividad prebiótica y capacidad antioxidante (Saucedo-Briviesca, et al, 2020)

El uso de harina de cáscara de zanahoria y otros subproductos del procesamiento de zanahorias puede contribuir a reducir los desechos y generar valor a partir de los residuos, mitigando así los impactos ambientales y mejorando la eficiencia en los costos de producción (Silva, et al, 2023).

La incorporación de bagazo de zanahoria, un subproducto de la producción de jugo de zanahoria, como ingrediente en alimentos, ha sido identificada como una estrategia para mitigar los impactos ambientales y mejorar la eficiencia en los costos de producción (Bamal y Dhull, 2024).

La transformación de cáscaras de plátano en harina, como estrategia de reducción de desechos, puede mejorar la sostenibilidad de la cadena alimentaria y promover la salud de los consumidores, ofreciendo así beneficios ambientales potenciales (Bakar, Ahmad y Jailani, 2020).

Conclusiones

La cáscara de zanahoria fue eficientemente transformada en harina funcional, demostrando su potencial como un subproducto valioso en la industria alimentaria. Aunque se observó una pérdida significativa (84 %) en la etapa de separación, el producto final conserva propiedades nutricionales y funcionales importantes, lo que refuerza la importancia de la valorización de residuos.

La harina obtenida presentó un contenido destacado de fibra cruda (14.3 %), lo que la convierte en un ingrediente ideal para alimentos funcionales dirigidos a la salud digestiva. Además, los niveles de proteína (4.85 %) y minerales (2.35 % de cenizas) posicionan esta harina como un complemento nutricional útil en diversas formulaciones alimenticias.

El balance de materia indicó que las etapas de secado, molienda y tamizado generaron pérdidas menores, mostrando una gestión eficiente del material procesado. Sin embargo, el alto volumen de endocarpio descartado durante la separación destaca la necesidad de implementar estrategias adicionales para su aprovechamiento, como la extracción de compuestos bioactivos o su uso en la producción de fertilizantes o biogás.

Referencias

- Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (Eds.). (2021). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops: Volume 8: Bulbs, Roots and Tubers*. Springer Nature.
- Arias, L. V. A., de Souza Silva, V., de Oliveira, R. A., & Fakhouri, F. M. (2018). Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá. *Ingeniería y Región*, 20, 59-66.
- Bakar, S. K. S. A., Ahmad, N., & Jailani, F. (2020). In vitro starch hydrolysis and estimated glycaemic index of biscuits from unripe banana peel flour. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 66(Supplement), S234-S238.
- Bamal, P., & Dhull, S. B. (2024). Development of Functional Muffins from Wheat Flour-Carrot Pomace Powder using Fenugreek Gum as Fat Replacer. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 12(1), 306-319.
- Conversa, G., Bonasia, A., Natrella, G., Lazzizzera, C., & Elia, A. (2021). Peeling affects the nutritional properties of carrot genotypes. *Foods*, 11(1), 45.

- Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72.
- Espinoza-Gayosso, N., Ramírez-Moreno, E., Cruz-Cansino, N.D., Cervantes-Elizarrarás, A., & Zafra-Rojas, Q.Y. (2021). *Compuestos antioxidantes y su bioaccesibilidad in vitro de la zanahoria (Daucus carota): cambios por procesos térmicos*. Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Güemes-Vera, N., Ríos-Pérez, F., Simental, S. S., Lira, A. Q., & Martini, J. P. (2020). Harina de cáscara de vaina de cacao: Una opción para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 6(11), 5-7.
- Macko-Podgórní, A., Machaj, G., Stelmach, K., Senalik, D., Grzebelus, E., Iorizzo, M., ... & Grzebelus, D. (2017). Characterization of a genomic region under selection in cultivated carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) reveals a candidate domestication gene. *Frontiers in plant science*, 8, 12.
- Official Methods of Analysis, 22nd Edition (2023) - *AOAC INTERNATIONAL*, <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/> (accessed September 6, 2024).
- Rendón, R. M. H., & Blanco, D. J. (2015). Evaluación de polvos de zanahoria obtenidos por deshidratación por aire forzado a diferentes temperaturas. *Idesia (Arica)*, 33, 75–80.
- Saucedo-Briviesca, N., Totosaús, A., & Pérez-Chabela, M. L. (2020). Functional ingredients and food neophobia towards healthy meat products enriched with agroindustrial coproducts flours. *Healthy food*, 39.
- Šeregelj, V., Vulić, J., Četković, G., Čanadanovć-Brunet, J., Šaponjac, V. T., & Stajčić, S. (2020). Natural bioactive compounds in carrot waste for food applications and health benefits. *Studies in natural products chemistry*, 67, 307-344.
- Sharma, H. K., & Kumar, N. (2017). Utilization of carrot pomace. *Food Processing By-Products and their Utilization*, 207-229.
- Silva, N. M., Souza, D. G., Mesquita, A. A., de Oliveira, D. E. C., Resende, O., & da Silva, M. A. P. (2023). Drying and analysis of waste from potatoes, carrots, and chayote for food purposes. *Comunicata Scientiae*, 14, e3492-e3492.