

EXTRUIDO A BASE DE CAMOTE Y UVA RED GLOBE MEDIANTE EL DISEÑO DE MEZCLAS

Optimization of the antioxidant capacity of an extruded product based on sweet potatoes and red globe grapes through mix design

Carlos Dian Trelles Noche¹ , Roberto Dávila Trujillo² 

¹Ingeniero en Industrias Alimentarias por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Magister en Ingeniería Agroindustrial por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.21, Tingo María, Perú. Código ORCID: [0000-0003-3789-4266](https://orcid.org/0000-0003-3789-4266). Correo electrónico: carlos.trelles@unas.edu.pe

²Ingeniero en Industrias Alimentarias por la Universidad Agraria de la Selva. Magister en Tecnología de Alimentos Magister en Scientiae Tecnología de Alimentos y Doctor en Ciencia de Alimentos por la Universidad Federal Do Rio Grande - Furg.. Dirección legal: Km 8 Avenida Itália Carreiros, Rio Grande - RS, 96203-900, Brasil. Código ORCID: [0000-0001-7555-6300](https://orcid.org/0000-0001-7555-6300). Correo electrónico: roberto.davila@unas.edu.pe

RESUMEN

Los objetivos de la investigación fue optimizar los fenoles totales y la capacidad antioxidantes de un producto extruido a base de camote y uva red Globe mediante el diseño de mezclas. Se utilizo un diseño de mezclas simple centroide considerando como componentes al concentrado de uva, harina de camote y agua, obteniendo nueve formulaciones, las cuales fueron extruidas en un extrusor de tornillo simple (300 RPM). Donde se evaluó el contenido de fenoles totales, y actividad antioxidante frente al radical ABTS y DPPH y con estos resultados se elaboraron los modelos matemáticos, la optimización de las variables respuesta se dio con el propósito de tener mayor contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante (frente al radical ABTS y DPPH) en los extruidos. Se obtuvo mezclas con mayor deseabilidad en el concentrado de uva y de menor deseabilidad en la harina de camote y el agua, así mismo el concentrado de uva tuvo mayor contenido de fenoles totales que la harina de camote, se concluye que la capacidad antioxidante dieron valores elevados para el concentrado de uva en comparación con los valores de capacidad antioxidante obtenidos en la harina de camote y la proporción de ingredientes para la mezcla que me optimizo el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante simultáneamente fue el método de función de deseabilidad.

Palabras clave: Modelo, extruidos, fenoles, deseabilidad, antioxidante

ABSTRACT

The objectives of the research were to optimize the total phenolics and antioxidant capacity of an extruded product based on sweet potato and red Globe grapes through mixture design. A simple centroid mixture design was used considering grape concentrate, sweet potato flour and water as components, obtaining nine formulations, which were extruded in a simple screw extruder (300 RPM). Where the content of total phenols and antioxidant activity against the radical ABTS and DPPH were evaluated and with these results the mathematical models were developed, the optimization of the response variables was given with the purpose of having a higher content of total phenols and antioxidant capacity (against the radical ABTS and DPPH) in the extrudates, as a result, mixtures were obtained with greater desirability in the grape concentrate and less desirability in the sweet potato flour and water, likewise, the grape flour had a higher content of total phenols than sweet potato flour, it is concluded that the antioxidant capacity gave high values for the grape concentrate in comparison with the antioxidant capacity values obtained in sweet potato flour and the proportion of ingredients for the mixture that optimized the content of total phenols and antioxidant capacity simultaneously was the desirability function method.

Keywords: Model, extruded, phenols, desirability, antioxidant.

I. INTRODUCCION

Las investigaciones sobre dietas ricas en antioxidantes fitoquímicos han demostrado una relación significativa con la reducción de varias enfermedades crónicas. Estos compuestos naturales, presentes en frutas, verduras, granos, té, vino y especias, actúan neutralizando los radicales libres que pueden causar daño celular y contribuir al desarrollo de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, una dieta rica en antioxidantes puede disminuir significativamente el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas y mejorar la salud general (Cory et al, 2018). El uso de tecnologías emergentes como la extrusión ha demostrado ser eficaz en la preservación y mejora de las propiedades antioxidantes de los alimentos, contribuyendo a la creciente demanda de alimentos funcionales enriquecidos con antioxidantes de origen natural. La extrusión, un proceso que implica la mezcla y cocción de ingredientes a alta temperatura y presión, permite la incorporación de antioxidantes en matrices alimentarias de manera uniforme y estable. Este método no solo preserva la actividad antioxidante de los compuestos sensibles al calor, sino que también puede aumentar su biodisponibilidad, haciéndolos más efectivos en la lucha contra el daño oxidativo en el cuerpo. Como resultado, los consumidores pueden disfrutar de alimentos no solo nutritivos, sino también con beneficios adicionales para la salud (Reis, 2014).

Los alimentos extruidos son alimentos tipo snack, aperitivos, cereales para desayuno, productos para confitería o alimentación infantil, de fácil disposición y que se consumen de manera directa facilitando el ritmo de vida agitada de la actualidad (Höglund, 2018). Los alimentos extruidos enriquecidos con compuestos antioxidantes provenientes de frutas y verduras han traído un creciente interés de investigaciones en los últimos años ya que estos mejoran los compuestos antioxidantes de los extruidos, también afecta las propiedades y cualidades fisicoquímicas que producen cambios estructurales que provocan cambios en sus propiedades funcionales como la solubilidad, emulsificación, gelificación y texturización (Grasso, 2020).

Lo indicado evidencia que las matrices empleadas pueden ser mejoradas, de tal manera que se pueda incorporar sustancias funcionales de la pulpa de camote que posee carbohidratos complejos, fibra dietética, -caroteno, vitamina C y vitamina B6; y de la uva red Globe que contienen fenoles, antocianinas. Por lo cual se planteó los siguientes objetivos: Optimizar los fenoles totales y la capacidad antioxidantes de un producto extruido a base de camote y uva red Globe mediante el diseño de mezclas; analizar los fenoles totales y actividad antioxidante de la materia prima y los productos extruidos y determinar los modelos matemáticos que gobiernan la optimización de los metabolitos antioxidantes.

II. MATERIALES Y METODOLOGIA

2.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en la universidad Nacional Agraria de la Selva ubicada en la ciudad de Tingo María – Huánuco. la evaluación de la actividad antioxidante, fenoles totales y elaboración de productos extruidos se ejecutó en el laboratorio de HPLC y en la Planta Piloto de frutas y hortalizas.

2.2. Métodos

Los métodos para realizar la optimización de la capacidad antioxidante de un producto extruido a base de camote y uva red globe fueron:

- Método 23.003 AOAC, 1997 para la determinación de la humedad
- Método de follin-ciocalteau Singleton y Rossi, 1965 para la Cuantificación de fenoles totales (FT)
- Método de Brand et al para el uso de antioxidante (CA) por inhibición de radicales libres 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (dpph).
- Método de Re et al para la determinación de la capacidad antioxidante (CA) por inhibición del radical libre 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzotiazolina-6-acido sulfónico (ABTS)

Seguidamente para la obtención de harina de camote se eliminó los tubérculos magulladas y deterioradas. Luego se lavó con agua corriente y con la ayuda de una escobilla se retiró la tierra del camote y se sumergió los camotes en hipoclorito de sodio con una concentración de 120 ppm por un tiempo de 10 min. Seguidamente se cortaron rodajas de 0,5 cm de espesor, las cuales fueron blanqueadas a ebullición por 3 min, se secó a 60°C por 24 horas y finalmente estos se molieron en un molino de martillo con una malla 70.

Para la obtención del concentrado de UVA se eliminó frutas magulladas y deterioradas. Para el lavado y desinfección se sumergió la fruta en hipoclorito de sodio con una concentración de 25 ppm por un tiempo de 1 min, se blanqueó en agua a ebullición por 15 segundos, luego se procedió al pulpeado obteniendo sumo el cual se concentró a vacío a una temperatura de 50° C por 45 min. Las pieles y pepas obtenidas del pulpeado fueron secadas a temperatura de 60°C por un tiempo de 6 horas en un secador de bandejas, luego se procedió a mezclar los productos obtenidos del concentrado del sumo y el secado de las pieles y pepas. La mezcla se envaso en bolsas de polietileno de alta densidad y fueron almacenadas a temperatura de – 18°C. Se realizó la mezcla según la Tabla 1, esta mezcla se llevó a refrigeración (18°C) durante 24 horas.

Tabla 1

Tratamientos del diseño de mezclas simple centroide con restricciones para optimización de fenoles y capacidad antioxidante del extruido

Vértice (V) Centroide (C)	Diseño de mezclas con tres factores		
	Agua	Concentrado de uva	Harina de camote
1 V	15	0	85
2 V	20	0	80
3 V	15	18	67
4 V	20	18	62
5 C(1)	17,5	0	82,5
6 C(1)	15	9	76
7 C(1)	20	9	71
8 C(1)	17,5	18	64,5
9 C(1)	17,5	9	73,5

Transcurrido este tiempo se procedió a la extrusión para lo cual se calientó el cañón hasta los 100 grados centígrados para luego alimentarlo con la mezcla. La velocidad del tornillo se configura a 300 rpm y se utiliza una matriz de 5 mm de diámetro, inmediatamente que el extruido salió de la matriz esta se laminó hasta obtener un espesor de 0,8 milímetros. Esta lamina luego se cortó en cuadrados de 10 mm las cuales fueron cocidas en un horno microondas durante 30 segundos. Luego se procedió a un secado en estufa a 60°C el tiempo necesario para llegar a una humedad de 4 a 5%, finalmente se envaso en bolsas de polietileno de alta densidad y se almaceno a temperatura ambiente.

2.2.1. Análisis Estadístico

Se evaluó los resultados de fenoles totales y capacidad antioxidante mediante (ANOVA) cuando se observó diferencias significativas, se aplicó las pruebas de rango múltiple de Tukey. Se optimizó el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante (DPPH, ABTS), mediante la metodología de diseño de mezclas. Se utilizó el software Desing expert v11.

III. RESULTADOS

3.1. Contenido de fenoles totales (FT) y capacidades antioxidantes (CA) en las materias primas

Tabla 2

Contenido de fenoles y actividad antioxidantes de las materias primas

	Fenoles	DPPH	ABTS
H. camote	481,07± 15,06	9,258± 0,038	133,76±0,51
C. Uva	882,16± 59,89	27,125± 0,106	260,47±1,28

Los valores representan (promedio ± DS) datos provienen del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$), EAG (Equivalente de ácido gálico), Fenoles (mg EAG/100g), DPPH (uMol Trolox/g), ABTS (uMol Trolox/g).

3.2. Fenoles totales y capacidad antioxidante en los extruido

Tabla 3

Contenido de fenoles totales y actividad antioxidantes en los extruidos

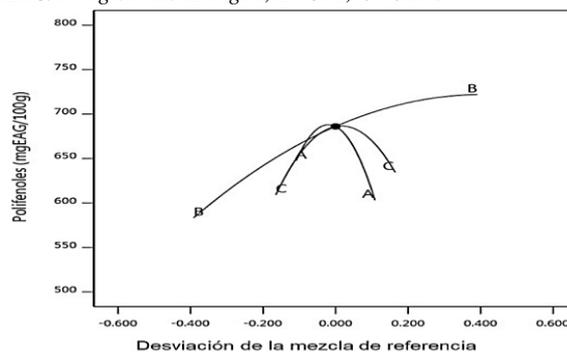
Formula	X ₁	X ₂	X ₃	Fenoles	DPPH	ABTS
1	85	0	15	541,52 ± 21,93 d	9,49 ± 0,03 f	97,53 ± 0,66 f
T2	80	0	20	550,46 ± 15,44 d	10,74 ± 0,05 e	109,19 ± 0,69 d
T3	67	18	15	687,03 ± 25,88 ab	12,1 ± 0,14 b	69,02 ± 0,77 g
T4	62	18	20	623,19 ± 29,49 bc	12,06 ± 0,06 b	126,62 ± 0,58 b
T5	82,5	0	17,5	628,27 ± 23,58 bc	12,1 ± 0,08 b	111,45 ± 1,01 d
T6	76	9	15	674,03 ± 41,41 abc	12,24 ± 0,04 b	117,54 ± 1,51 c
T7	71	9	20	605,71 ± 26,41 cd	11,34 ± 0,08 d	143,1 ± 0,77 a
T8	64,5	18	17,5	740,64 ± 16,03 a	12,99 ± 0,06 a	101,64 ± 1,02 e
T9	73,5	9	17,5	655,88 ± 16,78 bc	11,82 ± 0,07 c	141,42 ± 0,39 a

Los valores representan (promedio ± DS) datos provienen del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$), EAG (Equivalente de ácido gálico), X1(Agua), X2(C. Uva), X3(H. Camote), Fenoles (mg EAG/100g), DPPH (uMol Trolox/g), ABTS (uMol Trolox/g)

3.3. Efecto de los ingredientes sobre el contenido de fenoles totales (FT)

Figura 1

Trazos Cox del contenido de fenoles expresado en mg EAG/100 g siendo A: Agua, B: Uva, C: Camote

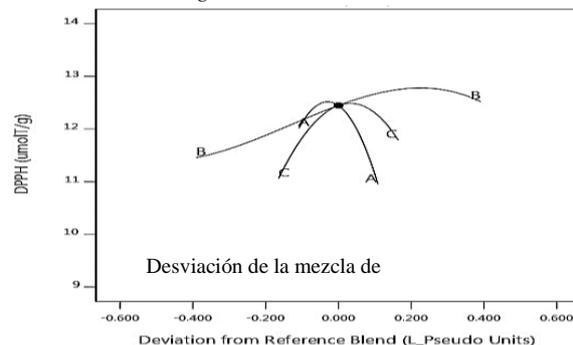


3.4. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante (CA) del extruido.

3.4.1. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante (CA) del extruido frente al DPPH.

Figura 2

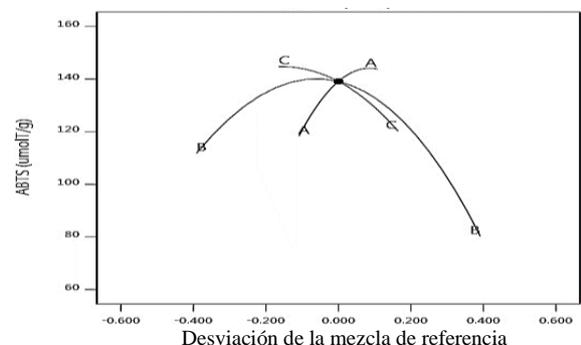
Trazos Cox de la CA frente al DPPH expresado en uMol Trolox, siendo A: Agua, B: Uva, C: Camote



3.4.2. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante (CA) del extruido frente al ABTS.

Figura 3

Trazos Cox de la capacidad antioxidante frente al ABTS expresado en $\mu\text{Mol Trolox/g}$, siendo A: Agua, B: Uva, C: Camote



3.5. Optimización de la capacidad antioxidante (CA)

Tabla 4

Restricciones utilizadas para optimizar el extruido

Variable	Objetivo	Límite inferior	Límite superior
Harina de camote	Rango	62	85
Concentrado de uva	Rango	0	18
Agua	Rango	15	20
Fenoles	Maximizar	517,357	758,927
CA frente al DPPH	Maximizar	9,46	13,046
CA frente al ABTS	Maximizar	68,573	143,997

Tabla 5

Ingredientes de la fórmula óptima del extruido

Solución	Agua	C. Uva	H. Camote	Fenoles	CA frente al DPPH	CA frente al ABTS	Deseabilidad
1	17,424	11,996	70,58	703,385	12,655	133,669	0,84

IV. DISCUSION

4.1. Contenido de fenoles totales (FT) y capacidades antioxidantes (CA) en las materias primas

Se puede observar en el Tabla 2 que el contenido de FT en el concentrado de uvas es de $882,16 \pm 59,89$ mg EAG/100g de materia seca lo cual está dentro del rango obtenido por Pantelić et al. (9) ($380,2$ a $1029,8$ mg EAG / 100g de materia seca). Para concentrar se utilizó pulpa; la semilla y la piel para aprovechar al máximo el contenido de fenoles tal como menciona Li et al. (10) El contenido de fenoles en las pieles de uva es de $6,5$ a $17,8$ veces mayor que el de las pulpas. También en la Tabla 2 se observa que el contenido de FT en la harina de camote en base seca fue de $481,07 \pm 15,06$ mg EAG/100g lo cual está dentro del rango obtenido por Cui et al. (11), de 288 a 1603 mg EAG/100g. La CA de concentrado de uva frente al radical DPPH fue de $27,13 \pm 0,106$ $\mu\text{Mol Trolox/g}$ que es inferior a lo obtenido por María De Carvalho et al. (2019) de $32-79$ $\mu\text{Mol Trolox/g}$ de uva. La CA de la harina de camote frente

al radical DPPH fue menor ($9,25 \pm 0,038$ $\mu\text{Mol Trolox/g}$) que frente al radical ABTS ($260,47 \pm 1,28$ $\mu\text{Mol Trolox/g}$) al respecto Teow et al. (2007) menciona las actividades frente al DPPH de todos los camotes estudiados fueron significativamente más bajas que sus valores de ABTS.

4.2. Fenoles totales y capacidad antioxidante en los extruido

En las ecuaciones E1, E2 y E3, “y” representa el contenido de fenoles totales en el producto extruido, mientras X1, X2 y X3 corresponde a los porcentajes de agua, uva y camote, respectivamente. Méndez (2018), mencionan que se debe elegir un modelo con un p-valor menor que 0,05. El modelo cuadrático (E1) obtuvo un p-valor de 0,0002, modelo cubico especial (E2) fue de 0,0006 y en la ecuación cubica especial (E3) el valor p-valor es $< 0,0001$ lo que implica que hemos conseguido explicar información de la variable dependiente a partir de muestras independientes.

Según Cruz & Sánchez (2020), otro estadístico a tomar en cuenta al analizar una regresión es el R2; este nos indica el porcentaje de varianza explicada de la variable dependiente, este valor debe ser cercano a 1 y se considera que el modelo estimado es bueno si el valor de R2 es $\geq 0,7$, en nuestro caso los valores de R2 para los modelos E1 es de 0,8476, E2 es de 0,8735 y E3 es de 0,996.

Según Gutiérrez & Vladimirovna (2016), el coeficiente de determinación múltiple ajustado (R2 Ajustado) es un estadístico más confiable que R2 en regresiones múltiples. Martínez et al. (2020) menciona que, en modelos con fines predictivos, el criterio de selección es maximizar (valores cercanos a 1) el coeficiente de determinación ajustado manteniendo el menor número de variables que expliquen bien los datos. En el caso de los modelos determinados los coeficientes de determinación ajustados son 0,8074, 0,8313 y 0,9947 para E1, E2 y E3 respectivamente.

4.3. Efecto de los ingredientes sobre el contenido de fenoles totales (FT)

En la Figura 1 se observando que en el trazo del agua (A), que a medida que aumenta la proporción de agua en la mezcla, el valor del contenido de FT aumenta hasta que llega a una cima para continuar con un descenso, comportamiento similar obtuvieron varios estudios (18,19) observando una caída significativa en el contenido fenólico de los extruidos finales con un aumento en el contenido de humedad del alimento. Chalermchaiwat et al. (2015) menciona que la alta humedad del alimento en el proceso de extrusión induce la descarboxilación y polimerización de fenoles, lo que conduce a un bajo rendimiento de extracción de FT. En el caso de la uva (B) mientras la proporción de esta aumenta se obtienen incremento del contenido de fenoles en el extruido, al respecto Höglund et al. (3) en su trabajo con arándanos observó

que el procesamiento de extrusión provocó una reducción significativa en el contenido total de fenoles, sin embargo, el contenido de fenoles totales en los extruidos inflados fue proporcional al nivel de adición de arándanos. En el caso del camote (C) se observa que inicialmente hay un incremento de los FT, pero cuando se continúa aumentando la proporción de camote en el extruido se presenta un descenso, al respecto Wang et al. (21) en la extrusión el contenido de fenoles es influenciado por dos formas opuestas: primero, por la rotura de la pared celular y la rotura de los fenoles de alto peso molecular, mejoran la capacidad de extracción de los compuestos fenólicos; segundo, el contenido FT disminuye debido a la polimerización y descomposición de compuestos fenólicos termolábiles. En general el contenido de FT se puede considerar influenciado por el contenido de concentrado de uva en la formulación.

4.4. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante (CA) del extruido.

4.4.1. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante (CA) del extruido frente al DPPH.

En la **Figura 2** se observa en el trazo A, que a medida que aumenta la proporción de agua en la mezcla, el valor de la CA aumenta hasta conseguir un valor máximo para luego disminuir. Comportamiento similar observaron Lohani & Muthukumarappan (2021), que a una mayor humedad de alimentación promovió la polimerización fenólica que redujo el contenido de fenoles y actividad antioxidantes de los extruidos.

En el caso del concentrado de uva (B), mientras la proporción de esta aumenta, se obtiene incremento mayor de la capacidad antioxidante frente al DPPH del extruido hasta alcanzar un valor máximo y luego disminuir ligeramente; al respecto Lohani y Muthukumarappan (2021) mencionan que el comportamiento es porque la mayor CA en los productos extruidos se debía a la presencia de ácidos fenólicos. Gui & Ryu (2014) menciona que el aumento de CA también puede darse debido al pardeamiento no enzimático. En el caso del camote (C) se observa un ligero aumento de la CA frente al DPPH que luego disminuye rápidamente, al respecto Grasso (4) menciona que las inclusiones más pequeñas de subproductos ricos en antioxidantes podrían producir mejores resultados en términos de retención de antioxidantes.

4.4.2. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante (CA) del extruido frente al ABTS

En la **Figura 3** se observa en la traza del agua (A), que, al aumentar el contenido del agua, aumenta la CA frente al ABTS, al respecto Brennan et al. (2011) menciona que, hasta cierto punto, un mayor contenido

de humedad tiene un efecto protector sobre los compuestos bioactivos.

En cuanto a la traza de concentrado de uva (B) y el camote (C), se observa que a medida que aumenta la proporción de uva y camote en la mezcla, el valor de la CA aumenta hasta que llega a una cima para continuar con un descenso al respecto Reis et al. (2014), observaron que los FT disminuyeron a medida que aumentó la incorporación de orujo de manzana. Según los autores, esto podría deberse a la polimerización que afectó a la extracción de los FT. Caso contrario observó Lohani & Muthukumarappan (2016) que la CA de los extruidos se incrementó cuando la pulpa de manzana aumentó, esto lo atribuyó al mayor contenido FT y CA inicial en la materia prima. Jozinović et al. (2019), el contenido de FT y la CA de los extruidos aumentaron proporcionalmente con la adición de cáscaras de cacao.

4.5. Optimización de la capacidad antioxidante (CA)

Para la optimización se utilizó la función de deseabilidad. Derringer & Suich (1980) propusieron el uso de una función de deseabilidad para experimentos de optimización de respuesta múltiple. Para la optimización simultánea de la CA y FT se utilizó las restricciones presentadas en la Tabla 4, Bajo estas condiciones se obtuvo dos formulaciones óptimas de las cuales se consideró la que tuvo deseabilidad de 0,84. Al respecto Lazic (2006) menciona que, cuando la deseabilidad se encuentra entre 0,8 a 1 se considera como muy buena. En la Tabla 5 se observa la formulación con mayor deseabilidad (elegida) y respuestas estimadas.

V. CONCLUSIONES

Para la elaboración de extruidos la materia prima utilizada fue el concentrado de uva y la harina de camote donde se evaluó el contenido de fenoles totales de ambas. El concentrado de uva presentó un valor de $882,16 \pm 59,89$ mg EAG/100g, superior al de la harina de camote, que fue de $481,07 \pm 15,06$ mg EAG/100g. Además, se evaluó la capacidad antioxidante utilizando las pruebas frente a los radicales libres ABTS y DPPH, expresando los resultados en equivalentes de trolox por gramo (ET/g). Los resultados mostraron una capacidad antioxidante elevada para el concentrado de uva ($27,13 \pm 0,106$ umol ET/g y $260,47 \pm 1,28$ umol ET/g frente al DPPH y al ABTS, respectivamente) en comparación con la harina de camote ($9,258 \pm 0,038$ umol ET/g y $133,76 \pm 0,51$ umol ET/g frente al DPPH y al ABTS, respectivamente).

Con estas materias primas evaluadas, se procedió a la elaboración de los extruidos utilizando un extrusor de un solo tornillo a una velocidad de rotación de 300 RPM. Se desarrollaron nueve formulaciones calculadas mediante un diseño de mezclas simple centroide con restricciones (agua: 15 a 20%; concentrado de uva: 0 a 18%; harina de camote: 62 a

85%). Después de la extrusión, se evaluó el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante de las nueve formulaciones. Los modelos matemáticos que describieron la influencia de los ingredientes en el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante se determinaron usando el coeficiente de determinación (R^2), considerando aceptables los valores mayores a 0,7. El modelo que describió el contenido de fenoles totales tuvo un R^2 de 0,8476, el modelo de capacidad antioxidante frente al DPPH tuvo un R^2 de 0,8735, y el modelo frente al ABTS tuvo un R^2 de 0,996.

Finalmente, para optimizar simultáneamente el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante, se utilizó el método de función de deseabilidad, considerando buenas las deseabilidades con valores de 0,8 a 1. La investigación encontró una deseabilidad de optimización general de 0,84 con una formulación de 17,424% de agua, 11,996% de concentrado de uva y 70,58% de harina de camote, logrando un contenido de fenoles de 703,385 mg EAG/100g, y una capacidad antioxidante de 12,655 y 133,669 $\mu\text{Mol Trolox/g}$ frente al DPPH y al ABTS, respectivamente.

VI. REFERENCIAS

- Cory H, Passarelli S, Szeto J, Tamez M, Mattei J. (2018). The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5(87), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>
- Reis S, Rai D, Abu-Ghannam N. (2014). Apple Pomace as a Potential Ingredient for the Development of New Functional Foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(7), 1743–1750.
- Höglund E, Eliasson L, Oliveira G, Almlí VL, Sozer N, Alming M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates, *LWT*; 92, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
- Grasso S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>
- Cunniff, P. (1997). Official Methods of analysis of AOAC International. A.O.A.C. International
- Singleton V. L. & Rossi J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Re, R., Pellegrini, N, Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9): 1231-1237.
- Pantelić M.M., Dabić Zagorac, D.Č., Davidović, S. M., Todić S. R., Bešlić, Z. S., Gašić, U. M., Tešić, Ž Lj., Natić, Maja M. et al. Identification and quantification of phenolic compounds in berry skin, pulp, and seeds in 13 grapevine varieties grown in Serbia. *Food Chemistry*, 211: 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.051>
- Li, F., Li, F., Yang, Y., Yin, R., Ming, J. (2019). Comparison of phenolic profiles and antioxidant activities in skins and pulps of eleven grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 18(5), 1148–1158. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62138-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62138-0)
- Cui, R., Zhu, F. (2019). Physicochemical properties and bioactive compounds of different varieties of sweetpotato flour treated with high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*, 299(125129), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125129>
- Maria de Carvalho Tavares, I., Machado de Castilhos, M., Aparecida Mauro, M., Mota Ramos, A, Teodoro de Souza, R., Gómez-Alonso, S., Gomes, E., Da Silva, R., Hermosín-Gutierrez, I. & Lago-Vanzela, E. (2019). BRS Violeta (BRS Rúbea \times IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. *Food chemistry*, 298(124971), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124971>
- Teow, C. C, Truong, Van-Den, McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Pecota, K. V., Yencho, G C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry* 2007, 103(3), 829–838. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.033>
- Méndez M. (2018). *Análisis de datos con R: Una aplicación a la investigación de mercados*. ESIC Editorial; 2018.

- Cruz Rambaud, S., Lorenzana de la Varga, T. & Sánchez Pérez, A. M. (2020). *Métodos matemáticos para la valoración de empresas y proyectos de inversión: ejercicios resueltos con Excel*. Editorial Universidad de Almería.
- Gutiérrez González, E. & Vladimirovna Panteleeva, O. (2016). *Estadística Inferencial 1: para ingeniería y ciencias*. Grupo Editorial Patria; 2016.
- Martínez González, M. A., Sánchez Villegas, A., Toledo Atucha, E. & Faulin Fajardo, J. (2020). *Bioestadística Amigable* (4ª edición). Elsevier Health Sciences; 2020.
- Bisharat, G. I., Lazou, A. E., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K. & Maroulis, Z. B. (2015). Antioxidant potential and quality characteristics of vegetable-enriched corn-based extruded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3986–4000. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-014-1519-z>
- Leyva-Corral, J., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A., Zazueta-Morales, José de Jesús, Aguilar-Palazuelos, E., Ruiz-Gutiérrez, M. G., Melendez-Pizarro, C. & Ruiz-Anchondo, T. de J. (2016). Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 228–236.
- Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C., Prinyawiwatkul, W. (2015). Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.066>
- Wang, T., He, F., Chen, G. (2014). Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. *Journal of Functional Foods*, 7, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.01.033>
- Lohani, U. C. & Muthukumarappan, K. (2017). Process optimization for antioxidant enriched sorghum flour and apple pomace based extrudates using liquid CO₂ assisted extrusion. *LWT*, 86, 544–554. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.034>
- Gui, Y. & Ryu, G. H. (2014). Effects of extrusion cooking on physicochemical properties of white and red ginseng (powder). *Journal of Ginseng Research*, 38(2), 146–153.
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire E, Tiwari BK. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Lohani, U. C. & Muthukumarappan, K. (2016). Effect of Extrusion Processing Parameters on Antioxidant, Textural and Functional Properties of Hydrodynamic Cavitated Corn Flour, Sorghum Flour and Apple Pomace-Based Extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 1-15. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12424>
- Jozinović A, Panak Balentić J, Ačkar Đ, Babić J, Pajin B, Miličević B, et al. (2019). Cocoa husk application in the enrichment of extruded snack products. *Journal of Food Processing and Preservation*; 43(4), 1-9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13866>
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214–219. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Lazic, Z. R. (2006). *Design of experiments in chemical engineering: a practical guide*. John Wiley & Sons.