

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS MENCIÓN: INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



“OPTIMIZACION DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE UN PRODUCTO
EXTRUIDO A BASE DE CAMOTE Y UVA RED GLOBE MEDIANTE EL DISEÑO DE
MEZCLAS”

Tesis

Para optar el Grado de:
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS,
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Presentado por:
CARLOS DIAN TRELLES NOCHE

Tingo María –Perú
2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS MENCIÓN: INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



“OPTIMIZACION DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE UN PRODUCTO
EXTRUIDO A BASE DE CAMOTE Y UVA RED GLOBE MEDIANTE EL DISEÑO DE
MEZCLAS”

Autor : Carlos Dian Trelles Noche

Asesor : Dr. Roberto Dávila Trujillo

Programa de investigación : Ciencia y tecnología de alimentos

Línea de investigación : Nutrición y alimentos funcionales

Eje temático : Desarrollo de alimentos funcionales

Lugar de ejecución : Planta piloto de frutas y hortalizas, laboratorio HPLC de la UNAS

Duración: Fecha de inicio : Setiembre 2020
Fecha de termino : Noviembre 2021

Financiamiento : 134-2018-FONDECYT- BM- IADT- AV (S/. 350 000,00)

Tingo María – Perú, 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi esposa Frezia e hijo Piero por ser el soporte y estímulo para seguir creciendo.

AGRADECIMIENTO

Al proyecto OBTENCION DE NUEVOS PRODUCTOS EXTRUIDOS, OPTIMIZACION DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EMPLEANDO MEZCLAS DE MATERIAS PRIMAS DE COSTA, SIERRA Y SELVA (PLATANO, CAMOTE, PAPA NEGRA MORADA, ARANDANOS, UVA REDGLOBAL Y AGUAYMANTO), 134-2018-FONDECYT- BM- IADT- AV), por la oportunidad de promover, financiar y desarrolla la investigación. Por el apoyo brindado de mi asesor Dr. Roberto Davila Trujillo, al equipo técnico de investigación, maestros, colegas, amigos y familiares que influyeron en mi formación profesional y personal.

INDICE

	Pagina
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1. Generalidades de la uva	2
2.1.1. Taxonomia	2
2.1.2. Variedad Red Globe.....	2
2.1.3. Valor nutricional	3
2.2. Generalidades del camote	3
2.2.1. Taxonomía	3
2.2.2. Valor nutricional	4
2.3. Generalidades sobre extrusión.....	4
2.3.1. Tipos de extrusor	5
2.3.2. El papel de un extrusor	5
2.4. Compuestos bioactivos	6
2.4.1. Definición	6
2.4.2. Metabolitos secundarios	7
2.4.3. Principales grupos de metabolitos secundarios	7
2.5. Antioxidantes.....	8
III. MATERIALES Y METODOS	9
3.1. Lugar de ejecución.....	9
3.2. Materia prima.....	9
3.3. Materiales	9
3.3.1. Materiales de Laboratorio.....	9
3.3.2. Equipos de Laboratorio.....	9
3.3.3. Reactivos.....	10
3.4. Métodos	10
3.5. Metodología experimental.....	10
3.6. Obtención del concentrado de uva.....	12

3.7. Obtención de extruido de la mezcla de camote y uva red globe.	13
3.8. Análisis estadístico	15
3.8.1. Determinación de la capacidad antioxidante y fenoles totales en las materia	15
3.8.2. Optimización de la capacidad antioxidante y fenoles totales	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Contenido de fenoles y capacidad anioxidantes en la materia prima	18
4.2. Fenoles totales en los extruidos	19
4.2.1. Fenoles totales en hojuelas de la mezcla de harina de camote y uva Red Globe.....	19
4.2.2. Efecto de los ingredientes sobre el contenido de fenoles del producto extruido	21
4.3. Capacidad antioxidante frente al radical DPPH	24
4.3.1. Capacidad antioxidante de los extruidos de la mezcla de uva y camote frente al DPPH.	24
4.3.2. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante del extruido frente al DPPH.	25
4.4. Capacidad antioxidante frente al radical ABTS	27
4.4.1. Capacidad antioxidante de los extruidos de la mezcla de uva y camote frente al radical ABTS.	27
4.4.2. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante del extruido frente al ABTS.	28
4.5. Optimización de la capacidad antioxidante	31
V. CONCLUSIONES	34
VI. PROPUESTAS A FUTURO	35
VII. REFERENCIAS	36
ANEXOS	43

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pagina
1. Valor nutricional de la uva blanca y negra.....	3
2. Perfil fisicoquímico promedio de los tres grupos de camote.....	4
3. Tratamientos del diseño de mezclas simple centroide con restricciones para optimización de fenoles y capacidad antioxidante del extruid.....	14
4. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidantes de las materias primas.....	18
5. Contenido de fenoles totales de los tratamientos del producto extruido.....	20
6. Actividad antioxidante del extruido de la mezcla de camote y uva red globe frente al radical DPPH expresado en uMol Trolox/g.....	24
7. Capacidad antioxidante del extruido de la mezcla de camote y uva red globe frente al radical ABTS expresado en uMol Trolox/g.....	27
8. Restricciones utilizadas para optimizar el extruido	32
9. Ingredientes de la formula optima del extruido	32

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
1. Flujograma de obtención de harina de camote.....	12
2. Flujograma de obtención de concentrado de uva red Globe.....	13
3. Obtención de extruido de la mezcla de camote y uva red Globe.....	15
4. Diseño Experimental de la obtención y optimización de un producto extruidos, con harina de camote y concentrado de uva.....	17
5. Ploteo de contornos del contenido de los fenoles expresado en mg EAG/100g.....	21
6. Trazos Cox del contenido de fenoles expresado en mg EAG/100g.....	22
7. Ploteo de contornos de la capacidad antioxidante del extruido frente al DPPH.....	25
8. Trazos Cox de la capacidad antioxidante frente al DPPH expresado en uMol Trolox/g.....	26
9. Ploteo de contornos de la capacidad antioxidante del extruido frente al ABTS.....	29
10. Trazos Cox de la capacidad antioxidante frente al ABTS expresado en uMol Trolox/g.....	30
11. Ploteo de contornos de la optimización del producto extruido mediante la función de deseabilidad.....	33

RESUMEN

Los objetivos fueron: analizar los fenoles totales y actividad antioxidante de la materia prima y productos extruidos, determinar los modelos matemáticos y 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 utilizó un diseño de mezclas simple centroide considerando como componentes al concentrado de uva, harina de camote y agua, obteniendo 9 formulaciones. Las cuales fueron extruidas en un extrusor de tornillo simple a 300 RPM. Para cada formulación extruida 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, como resultado del análisis de optimización se escogió la mezcla con mayor deseabilidad: compuesto por 11,996% de concentrado de uva, 70,58% de harina de camote y 17,424% de agua, que representa un contenido de fenoles totales de 703,385 mg EAG/100g y actividad antioxidantes frente al radical DPPH y ABTS de 12,655 y 133,669 $\mu\text{Mol Trolox/g}$ respectivamente.

Palabras claves: Extruidos, Uva, Camote, fenoles, actividad antioxidante, diseño de mezclas.

ABSTRACT

The objectives were to analyze the total phenols and antioxidant activity of the raw materials and the extruded products and to determine the mathematical models and optimize the total phenols and antioxidant capacity of a product extruded from a base of sweet potatoes and red Globe grapes, through the use of a design for mixtures. The design for simple centroid mixtures was used, where the components that were considered were grape concentrate, sweet potato flour and water, from which nine formulations were obtained and extruded in a single screw extruder at 300 rpm. The total phenol content and antioxidant activity against ABTS and DPPH radicals were evaluated for each formula that was extruded, and with the results the mathematical models were created. The optimization of the response variables was done with the goal of having the greatest content of total phenols and the greatest antioxidant capacity (against the ABTS and DPPH radicals) for the extruded matter. As a result of the optimization analysis the most desirable mix was chosen, which was composed of 11.996% grape concentrate, 70.58% sweet potato flour and 17.424% water. This mixture had a total phenol content of 703.385 mg EAG/100g and antioxidant activity against the DPPH and ABTS radicals of 12.655 and 133.669 $\mu\text{Mol Trolox/g}$, respectively.

Keywords: Extruded, Grape, Sweet Potato, phenols, antioxidant activity, mix design.

I. INTRODUCCION

Las investigaciones sobre dietas ricas en antioxidantes fitoquímicos han demostrado que se encuentran asociadas con la reducción de algunas enfermedades crónicas. Sumados al uso de tecnologías emergentes como la extrusión que ayudan a preservar y mejorar las propiedades antioxidantes. Por lo tanto, hoy en día existe una creciente demanda de alimentos funcionales enriquecidos con antioxidantes de origen natural. 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. 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 (solubilidad, emulsificación, gelificación y texturización).

Lo indicado evidencia que las matrices empleadas pueden ser mejoradas, de tal manera que se pueda incorporar sustancias funcionales como la pulpa de camote que posee carbohidratos complejos, fibra dietética, -caroteno, vitamina C y vitamina B6; y 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.
- Determinar los modelos matemáticos que gobiernan la optimización de los metabolitos antioxidantes.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la uva

2.1.1. Taxonomia

Es un fruto tipo baya de forma ovoide, de diferentes tamaños y colores, se agrupan en racimos unidas al escobajo por pedicelos individuales, compuesta por hollejos, pulpa y semillas (Barthelemy et al., 2013).

Según Salazar y Melgarejo (2005) afirma que la clasificación taxonómica de la vid es la siguiente:

División: Espermatofitas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledoneas

Subclase: Archiclamideas

Orden: Rhamnales

Familia: Vitáceas

Género: Vitis

Subgénero: Euvitis

Especie: Vitis vinifera L.

2.1.2. Variedad Red Globe

Son uvas de racimos grandes (800g) con pedúnculos delgados y largos, posee semillas grandes (24 -32 mn), tienen un color rojo y una forma redonda con hollejos gruesos. Las uvas tienden a desprenderse fácilmente del racimo. Fue desarrollada en los años 80 en en la Universidad de California – Davis por H.P Olmo y A. Koyama. (INIA, 2017).

2.1.3. Valor nutricional

En la Tabla 1 se muestra el contenido nutricional de las uvas.

Tabla 1. Valor nutricional de la uva blanca y negra

Parámetro	Uva blanca	Uva negra
Agua	87,8	81,2
Proteínas	0,3	0,2
Grasa total	0,2	0,1
Carbohidratos totales	11,3	18,1
Carbohidratos disponibles	10,4	17,2
Fibra dietaria	0,9	0,9
Cenizas	0,4	0,4
Calcio	5	6
Fósforo	20	20
Zinc	0,07	0,07
Hierro	0,80	2,20

Fuente: Reyes et al. (2017)

2.2. Generalidades del camote

2.2.1. Taxonomía

Es una raíz abombada en su periferia y puntiaguda en sus extremos, cuya parte comestible puede ser de color anaranjada, morada o blanca (Nabubuya et al., 2017);

Según Cásseres (1986) el camote presenta la siguiente taxonomía:

Reino: Vegetal

División: Angiosperma

Orden: Tubifloras

Familia: Convolvulaceae.

Género: Ipomea

Especie: Batata

Nombre Científico: Ipomea batata

2.2.2. Valor nutricional

Hernández et al. (2016) estudio 30 variedades de camotes los agrupo en tres por sus características de origen y determino la composición nutricional (**Tabla 2**).

Tabla 2. Perfil fisicoquímico promedio de los tres grupos de camote.

Parámetro	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Humedad (g/100g)	72	69	63
Ceniza (g/100g)	1.32	1.18	1.41
Almidón (g/100g)	20	13.3	23.9
Fibra (g/100g)	3,47	3,90	3,91
Proteína (g/100g)	1.78	1.85	2.24
Grasa (g/100g)	0.12	0.16	0.15
Grado de Brix	6.2	7.9	6.8
Na (mg / 100 g)	34.9	10.1	6.51
K (mg / 100 g)	594	197	222
Ca (mg / 100 g)	43.9	63.5	124
Mg (mg / 100 g)	23.8	24.3	25.4
Fe (mg / 100 g)	2.64	1.16	2.06
Cu (mg / 100 g)	0.148	0.158	0.203
Zn (mg / 100 g)	0.23	0.175	0.073
Mn (mg / 100 g)	0.164	0.192	0.193

Fuente: Hernández et al., (2016)

2.3. Generalidades sobre extrusión

El proceso de extrusión se da en tiempo corto por lo que se puede usar para crear una amplia variedad de bocadillos, cereales y una gran variedad de otros productos expandidos (Kowalski et al., 2016). La tecnología de cocción por extrusión es un método versátil y eficiente para convertir las materias primas en productos alimenticios terminados. Ya que es único entre los procesos de calor que están sujetos a un corte mecánico intenso; Los alimentos humedecidos con almidón o proteínas se transforman en una masa viscosa, similar al plástico, y se cocinan antes de ser forzados salir a través del troquel (Rayan et al., 2018).

2.3.1. Tipos de extrusor

Hay dos tipos de extrusoras: las que tienen un solo tornillo y las que tienen dos tornillos.

Extrusor de un tornillo: Las extrusiones de un solo tornillo poseen una menor eficiencia térmica, una mezcla ineficiente y, por lo tanto, productos no homogéneos. Estas extrusiones se utilizan principalmente para acondicionadores premezclados y productos preformados (Zambrano-Zaragoza y Quintanar-Guerrero 2019).

Extrusor de dos tornillos: es la más utilizada en el desarrollo de procesos sostenibles, incluidos los nuevos ingredientes obtenidos por subproductos, cereal expandido, incorporación de compuestos bioactivos, extracción de aceite, encapsulación y aglomeración de partículas, modificadas para mejorar la humectabilidad, la dispersabilidad y la solubilidad de las sustancias funcionales. El tornillo doble tiene menos dependencia de la viscosidad y la adherencia, mejor homogeneidad, mezcla y mejores distribuciones del tiempo de residencia (Uitterhaegen y Evon, 2017).

2.3.2. El papel de un extrusor

Las condiciones generadas por el extrusor realizan muchas funciones que permiten su uso en una amplia gama de aplicaciones alimentarias. Dependiendo de la extrusora (seca, húmeda, simple o doble), podemos realizar una de estas o combinaciones de estas funciones durante el procesamiento de los alimentos. Algunas de estas funciones son (Riaz, 2013):

Agglomeración: durante la extrusión se logra que los ingredientes se compacten y aglomeren.

Desgasificación: si el ingrediente tiene algún gas retenido, estos son expulsados durante la extrusión.

Deshidratación: la extrusión logra que el producto final pierda entre 4 a 7% de su humedad inicial.

Expansión: la densidad de los alimentos se puede controlar mediante ajustes de configuración y manejo del extrusor

Gelatinización: la cocción por extrusión mejora la gelatinización del almidón (de todas las fuentes, es decir, tubérculos o cereales) durante el procesamiento de los alimentos.

Molienda: los ingredientes pueden molerse hasta cierto punto en el barril de la extrusora durante el procesamiento de los alimentos.

Homogeneización: un extrusor puede homogeneizar mediante la reestructuración de ingredientes poco atractivos en formas más aceptables durante el procesamiento de los alimentos.

Mezcla: Hay disponible una variedad de tornillos para todo tipo de extrusoras que pueden causar la cantidad deseada de mezcla

Pasteurización el extrusor da las condiciones para realizar una pasteurización durante el proceso.

Desnaturalización de proteínas: la proteína de plantas y animales se puede desnaturalizar mediante la cocción por extrusión para que sea más digerible para humanos y animales.

Modelado: un extrusor puede hacer cualquier forma de producto deseada cambiando un troquel al final del cilindro del extrusor.

Cizallamiento: una configuración especial dentro del cilindro del extrusor genera un efecto de cizallamiento.

Alteración de la textura: La textura física y química se puede modificar durante el procesamiento de extrusión.

Cocción térmica: el proceso de extrusión tarda poco tiempo, pero logra el proceso de cocción de los alimentos.

Unificación: se pueden combinar diversos alimentos en un solo producto para dar características especiales mediante el uso de una extrusora para alimentos.

2.4. Compuestos bioactivos

2.4.1. Definición

Los compuestos bioactivos en plantas se refieren a los metabolitos secundarios de las plantas que provocan efectos farmacológicos o toxicológicos en el hombre y los animales. La presencia de bioactivos puede explicar en gran medida la evidencia epidemiológica de los beneficios para la salud derivados de una dieta rica en frutas y verduras, correlacionada con un riesgo reducido de desarrollar enfermedades crónicas, como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer. Aunque algunos nutrientes muestran estos efectos cuando se ingieren en altas dosis (por ejemplo, vitaminas y minerales), y otros constituyentes, como los carbohidratos, los péptidos y los lípidos, tienen una importante actividad biológica, generalmente no están incluidos en el término compuesto vegetal bioactivo (Dominguez y Munoz, 2017).

2.4.2. Metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios, participan en funciones específicas, a menudo se producen en una fase posterior al crecimiento, y pueden tener una función de supervivencia en la defensa contra depredadores, patógenos y estreses abióticos como la luz UV, el ozono y los herbicidas (Yang et al., 2018)

2.4.3. Principales grupos de metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios de la planta, que tienen funciones clave, se pueden dividir en tres grupos principales: terpenoides, compuestos fenólicos y alcaloides. (Bernhoft, 2010).

Terpenoides: Se encuentran ampliamente distribuidos en microorganismos, plantas y animales. Muchos terpenoides derivan de compuestos clave (prenil pirofosfato) como el geranil, farnesil y geranilgeranil pirofosfato, entre otros. El esqueleto básico de los terpenoides puede ser modificado por la introducción de una variedad de grupos químicos, por isomerización, sustitución de dobles enlaces, grupos metilos, etc. Muchos terpeno de forma natural se encuentran como glucosidos (Anaya, 2003).

Compuestos fenólicos: son un tipo de metabolito secundario que se encuentra comúnmente en las plantas y se sabe que poseen múltiples efectos biológicos, incluida la actividad antioxidante. Se han clasificado en varias categorías: fenólicos simples, ácidos fenólicos, cumarinas, flavonoides, estilbenos, taninos, lignanos y ligninas. De estas clasificaciones, los flavonoides se destacan porque han mostrado una amplia gama de actividades antibacterianas, antivirales, antiinflamatorias, anticancerosas y antialérgicas. Además, los flavonoides han demostrado ser eliminadores altamente efectivos de la mayoría de las moléculas oxidantes, incluido el oxígeno singlete y los radicales libres implicados en varias enfermedades. Por otro lado, los flavonoides se pueden dividir en siete categorías: chalconas, antocianinas, flavonas, isoflavonas, flavononas, flavonoles y flavanoles (Campos, 2018).

Alcaloides: Los alcaloides son el grupo más grande de metabolitos secundarios de origen microbiano, vegetal y animal, y se han estudiado ampliamente porque pueden ayudar en la prevención de diversas enfermedades, ya que poseen importantes propiedades biológicas como el antidiabético, antidepresivo, ansiolítico, anti-endotoxina , antiinflamatorio , antioxidante , antiproliferativo y anti-parkinson. (Jiang et al., 2019)

2.5. Antioxidantes

Los antioxidantes son moléculas que contrarrestan los radicales libres y previenen el daño que provocan. Estas sustancias pueden reducir el daño oxidativo al reaccionar con los radicales libres antes de que alcancen los objetivos biológicos, evitando reacciones en cadena o previniendo la activación del oxígeno a formas más reactivas (Hoyos-Arbeláez et al., 2017)

Dependiendo del acceso y diversidad de productos naturales presentes en un ambiente, y también de los hábitos alimenticios, es necesario el uso de suplementos naturales o sintéticos para garantizar las necesidades diarias de dichos compuestos en el organismo (Guan et al., 2005).

Las frutas y verduras contienen varios antioxidantes como la vitamina C, cuya importancia se debe a su capacidad para reducir la incidencia de enfermedades crónicas y degenerativas; se puede encontrar en manzanas, plátanos, brócoli, jugo de naranja, menta piperita, entre otros. La vitamina E es uno de los principales protectores de la membrana contra las especies reactivas de oxígeno y la peroxidación de lípidos; está presente en cereales, té verde, aceitunas y aceite de oliva, y semillas de girasol (Oroian y Escriche, 2015).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en la universidad Nacional Agraria de la Selva ubicada en la ciudad de Tingo María, geográficamente se localiza a 9° 17'08 de latitud Sur y 75° 59'52 de longitud Oeste, a 660 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio anual de 24 °C. Específicamente en dos ambientes de la Facultad de ingeniería en Industrias Alimentarias, 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.

3.2. Materia prima

Las muestras de uva red Globe fueron obtenidas de la ciudad de Chongoyape provincia de Chiclayo región Lambayeque cuya ubicación geográfica está definida por las coordenadas: 6°39'13.0" de latitud sur a 79°23'19.4" de latitud oeste. Las muestras de camote fueron obtenidas en el centro poblado de Canchan de la provincia de Huánuco, región Huánuco cuya ubicación geográfica está definida por las coordenadas: 9°55'26.5" de latitud sur a 76°19'57.1" de latitud oeste.

3.3. Materiales

3.3.1. Materiales de Laboratorio

Bolsas de polipropileno de alta densidad, cubetas de poliestireno (1cm x 1cm x 4.5cm); embudos de vidrio, espátulas, fiolas de 10, 25 mL, Frascos ámbar de 100 mL, matraces de Erlenmeyer de 250 mL micropipetas 10-100 µL, y 100-1000 µL, microtubos 2,00 mL, gradillas, papel de filtro, pinzas, pipetas graduadas de 10 mL, probetas graduadas de 25 y 500 mL, tips de 1000 µL, tubos de ensayo y vasos de precipitación de 50, 250 y 1000 mL

3.3.2. Equipos de Laboratorio

Balanza analítica OHAUS modelo Pro AV114 capacidad 110 g ± 0,2 mg EE.UU Centrifuga MIKRO 22R EE.UU, congelador Frigidaire FFU-2065FW - 20°C Reino Unido, empacadora multivac modelo A 300/16 Alemania, Espectrofotómetro modelo Genesys 6 (Thermo Electrón Corporation) SN 2M6G261002 EE.UU.; estufa modelo ODH6- 9240A

(TOMOS Heating Drying Oven) Alemania; Homogenizador VORTEX GENIE-2 U.U.EE; refrigerador LG GR-5392QLC Corea del Sur.

3.3.3. Reactivos

2,2'-Azinobis-3-etil-benzo-tiazolona-6-acido sulfónico (ABTS), Sigma-Aldrich; Ácido clorhídrico concentrado (HCl), Merck; Ácido gálico (C₇H₆O₅), Sigma-Aldrich; Agua destilada desionizada; Carbonato de Sodio (Na₂CO₃) ISO Scharlau, p.a; 1,1-diphenyl-2-picrilhydrazyl (DPPH), Sigma-Aldrich; Etanol al 99,99%, Merck KGaA; reactivo Folin - ciocalteu phenol, Sigma-Aldrich; peroxidisulfatosulfato de potasio (K₂S₂O₈), Merck p.a.; Hidróxido de sodio (NaOH), Sigma-Aldrich.

3.4. Métodos

Determinación de humedad, según 23.003 (AOAC, 1997).

Cuantificación de fenoles totales, según el método de Follin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965).

Determinación de la capacidad antioxidante por inhibición de radicales libres 2,2-difhenyl-1-difenil picrythydrazyl (DPPH) (Brand et al., 1995), Los cálculos se expresarán en equivalentes de Trolox.

Determinación de la capacidad antioxidante por inhibición del catión Azinobis-3-etil- benzotiazolona-6-acido sulfónico (ABTS^{•+}) (Re et al., 1999), Los cálculos se expresarán en equivalente de Trolox (Miller et al., 1993).

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Determinación de humedad, método 23.003 (AOAC, 1997).

Se deseco el alimento en estufa a 105 °C hasta que el peso fue constante con intervalos de medida de cada 2 horas, luego se retiró de la estufa para poner la muestra en la campana de desecación por 15 minutos. Según la humedad de la muestra se tardó de entre 4 a 10 horas para que alcance un peso constante.

3.5.2. Cuantificación de fenoles totales, según el método de Follin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965).

El contenido de fenoles totales se determinó por el método colorimétrico de Singleton y Rossi. Luego de reposar por 8 minutos la mezcla de 50 ul de la muestra, 800 ul de agua destilada con 100 ul de Folin Ciocalteu, se agrega 50 µL de Na₂CO₃ al 20%. Para

nuevamente dejar reaccionar por 2 horas a temperatura ambiente y en completa oscuridad y l completar el tiempo realizar la lectura de absorbancia a 740 nm. Se construyo una curva patrón utilizando ácido gálico entre 50 – 500 µg/mL. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g.

3.5.3. Determinación de la capacidad antioxidante por inhibición de radicales libres 2,2-difhenyl-1-difenil picrythydrazyl (DPPH) (Brand et al., 1995)

Se hizo reaccionar 25 uL de muestra con 975 uL de un disolución de DPPH en metanol, luego de 10 minutos se procede a medir la absorbancia a 517 nm, este resultado se compara con la curva patron elaborada con Trolox como antioxidante de referencia, los resultados se expresaron como µMol Trolox/g de muestra. Se utilizo como blanco una solución de 25 uL de etanol con 975 uL de la disolución de DPPH.

3.5.4. Determinación de la capacidad antioxidante por inhibición del radical libre 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzotiazolina-6-acido sulfónico (ABTS) (Re et al., 1999).

Previo a la evaluación de la capacidad antioxidante se hizo reaccionar por 16 hora en oscuridad y temperatura ambiente 7 nM de ABTS^{o+} con 140mM de persulfato de potasio. Luego de pasado este tiempo, la mezcla se disolvió con la cantidad necesaria de metanol para obtener una absorbancia entre 0,7 a 1,2

Se calculo la inhibición mezclando 10 ul de muestra con 990 ul del radical formado en la etapa previa (ABTS^{o+}). La inhibición se midió a los 5 minutos a una longitud de onda de 734 nm, El valor obtenido se llevó a la curva patron elaborada utilizando Trolox como antioxidante de referencia, finalmente los resultados se expresaron como µMol Trolox/g de muestra.

3.5.5. Obtención de harina de camote

Selección: Se eliminó los tubérculos magulladas y deterioradas.

Lavado-desinfectado: Se lavo con agua corriente y con la ayuda de una escobilla se retiró la tierra del camote y luego se sumergió los camotes en hipoclorito de sodio con una concentración de 120 ppm por un tiempo de 10 min.

Cortado: se cortaron rodajas de 0.5 cm de espesor.

Escaldado: Se realizo en agua a ebullición por 3 min.

Secado: a 60°C por 24 horas.

Molido: Los camotes secos se molieron en un molino de martillo con una malla de 70.

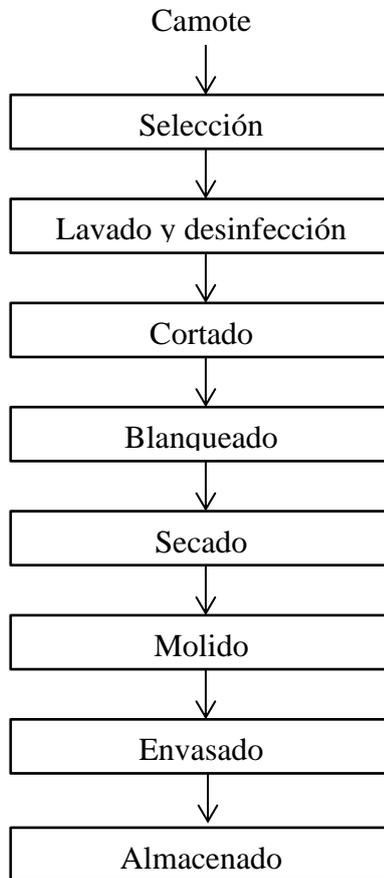


Figura 1. Flujograma de obtención de harina de camote

3.6. Obtención del concentrado de uva

Selección: Se eliminan frutas magulladas y deterioradas.

Lavado-desinfectado: se sumergió la fruta en hipoclorito de sodio con una concentración de 25 ppm por un tiempo de 1 min.

Escaldado: se realizó en agua a ebullición por 15 seg.

Pulpeado: Se utilizó con la maya fina.

Concentrado: Durante la cocción, por efecto de la temperatura, se evaporan los líquidos o agua de la fruta y va aumentando la concentración de azúcar hasta que finalmente se logre concentrar hasta los niveles deseados, Se realizó a una temperatura de 50° C por 45 min.

Secado: las pieles y pepas obtenidas del pulpeado se procedió a secar a temperatura de 60°C por un tiempo de 6 horas en un secador de bandejas.

Mezclado: se procedió a mezclar los productos obtenidos del concentrado del sumo y el secado de las pieles y pepas.

Envasado: La mezcla se envasa en bolsas de polietileno de alta densidad

Almacenado: luego del envasado se llevó el concentrado a temperatura de -18°C

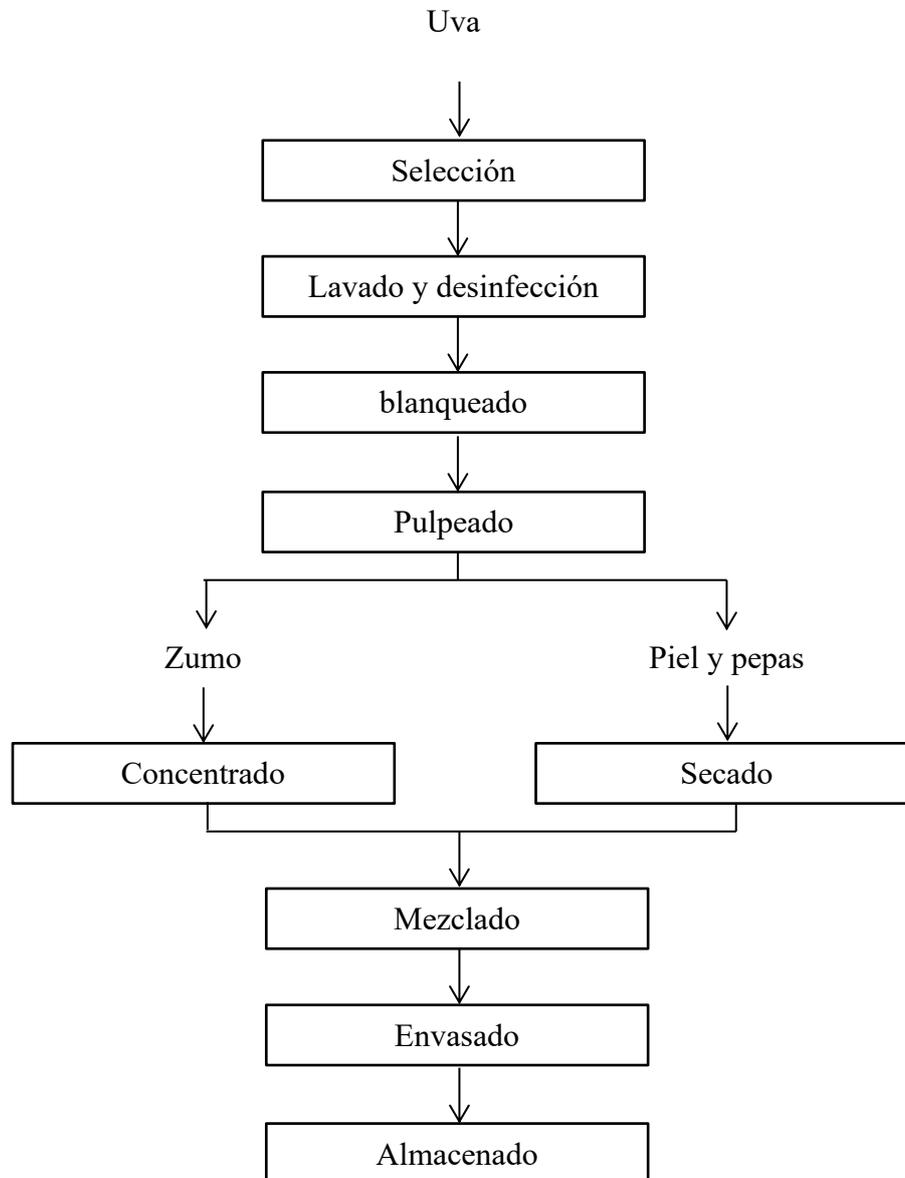


Figura 2. Flujograma de obtención de concentrado de uva red Globe.

3.7. Obtención de extruido de la mezcla de camote y uva red globe.

Para la elaboración de hojuelas de la mezcla de camote y uva red Globe se realizó las operaciones mencionadas en la **Figura 3**.

Mezcla: Se realizó según las formulaciones de la **Tabla 3**.

Tabla 3. 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

Fuente: Elaboración propia. C:punto central. Cada tratamiento se realizó por triplicado.

Reposo: Luego del mezclado se llevó a refrigeración (18°C) durante 24 horas para una hidratación adecuada de la mezcla.

Extrusión: Previamente se calienta 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.

Laminado: 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.

Horneado: La cocción se realizó en un horno microondas durante 30 segundos.

Secado: Los extruidos fueron llevadas a la estufa a 60°C el tiempo necesario para llegar a una humedad de 4 a 5%.

Envasado: se realizó en bolsas de polietileno de alta densidad.

Almacenado: Se almacena a temperatura ambiente.

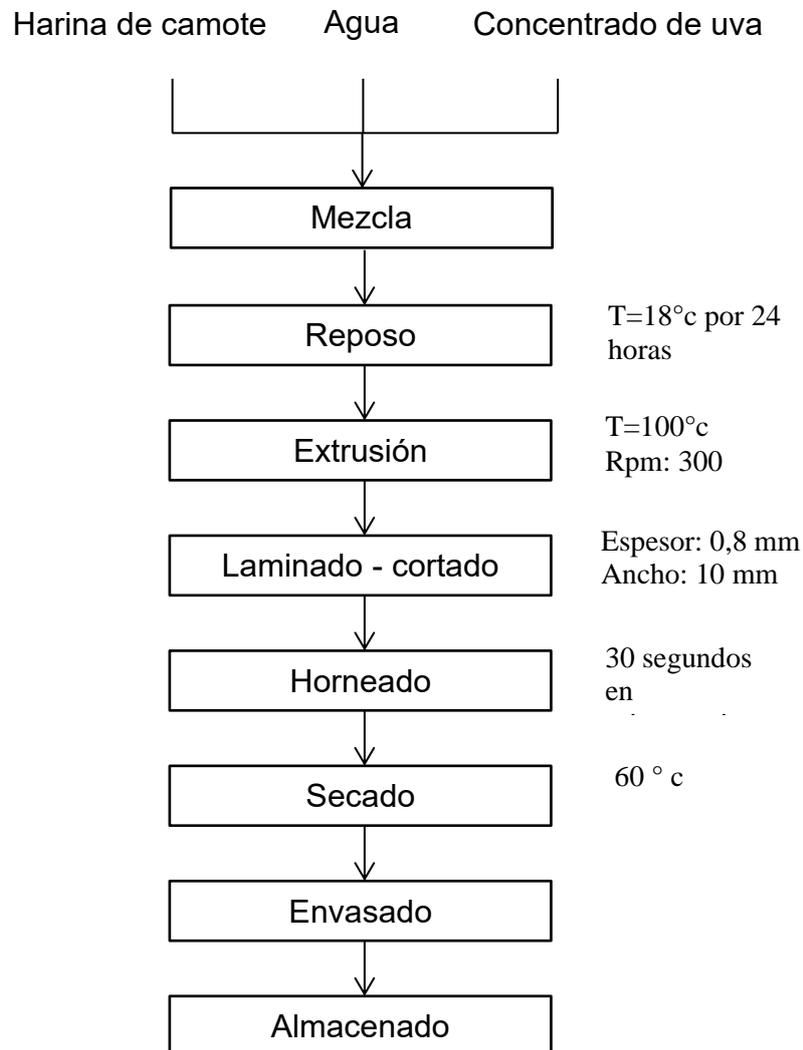


Figura 3. Obtención de extruido de la mezcla de camote y uva red Globe.

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Determinación de la capacidad antioxidante y fenoles totales en las materias primas

Se evaluó los resultados de fenoles totales y capacidad antioxidante mediante el modelo estadístico Diseño Completo al Azar (DCA) con tres repeticiones, para lo cual se empleó el siguiente modelo matemático (Selvamuthu y Das, 2018):

$$y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

Donde:

y_{ij} : Resultados de la evaluación de fenoles totales, capacidad antioxidante (DPPH, ABTS).

μ : Efecto de la media general de las evaluaciones

t_i : Efecto de los tratamientos

e_{ij} : Efecto del error experimental

Variable Independiente: Harina de camote, concentrado de Uva.

Variable Dependiente: Resultados de la evaluación de fenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante (DPPH, ABTS)

El análisis de varianza (ANOVA) se empleó en las variables dependientes y, cuando se observó diferencias significativas, se aplicó las pruebas de rango múltiple de Tukey. Los análisis de varianza se realizaron utilizando el software Desing expert v11.

3.8.2. Optimización de la capacidad antioxidante y fenoles totales

Se optimizó el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante (DPPH, ABTS), mediante la metodología de diseño de mezclas :(Gutiérrez y De La Vara , 2012).

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \quad (2)$$

donde:

y : variable respuesta

$\beta_i X_i$: efecto de los factores

E : efecto del error

Variable Independiente: Formulaciones de las mezclas

Variable Dependiente: Resultados, capacidad antioxidante (DPPH, ABTS). Para realizar la superficie respuesta, se utilizó el software Desing expert v11.

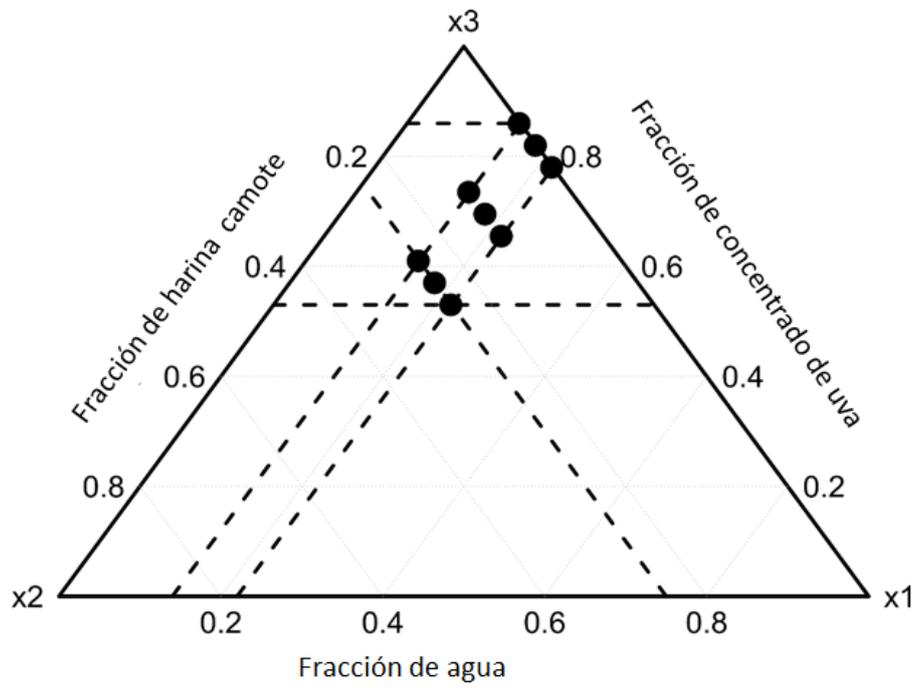


Figura 4. Diseño Experimental de la obtención y optimización de un producto extruido, con harina de camote y concentrado de uva.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de fenoles y capacidad antioxidantes en la materia prima

El contenido fenoles totales expresados en mg EAG/100g y actividades antioxidantes frente al radical ABTS y DPPH expresados en uMol Trolox/g de la harina de camote y el concentrado de uva se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidantes de las materias primas.

	Fenoles mg EAG/100g	DPPH uMol Trolox/g	ABTS uMol Trolox/g
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)

Entre las uvas de mesa la más comercializada en Perú es la uva red Global mientras que el camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Es un cultivo alimenticio antiguo e importante en muchos países, clasificando el tercer cultivo más importante en valor de producción y el quinto en contribución calórica a la dieta humana en el mundo (Muñoz - Rodríguez et al., 2018). El gran interés en los compuestos fenólicos ha crecido rápidamente en los últimos años, debido a la mayor evidencia de sus atractivas propiedades nutricionales en la salud humana. Los compuestos fenólicos tienen alta actividad antioxidante y el consumo de alimentos con abundantes compuestos fenólicos podrían reducir el riesgo de enfermedad coronaria, ciertos tipos de enfermedades cardiovasculares y cáncer (Wu, 2019).

Se puede observar en la **Tabla 4** que el contenido de fenoles totales en el concentrado de uvas es de 882.16± 59.89 mg EAG/100g de materia seca lo cual está dentro del rango obtenido por Pantelić et al. (2016) (380,2 a 1029,8 mg EAG / 100g de materia seca). Para concentrar se utilizó la pulpa, la semilla y la piel para aprovechar al máximo el contenido de fenoles tal como menciona Li et al. (2019) El contenido de fenoles en las pieles de uva es de 6,5 a 17,8 veces mayor que el de las pulpas. Los compuestos fenólicos de la uva se encuentran principalmente en las pieles. Los flavonoides son los fenólicos más abundantes en las pieles, y

los ácidos fenólicos son los más abundantes en las pulpas. Asimismo, Pešić et al. (2019), los principales fenoles en el extracto inicial de piel de uva fueron los ácidos fenólicos (24,4%) y los flavonoles (65,9%), que componen el 90,3% del contenido total de fenoles.

También en la **Tabla 4** se observa que el contenido de fenoles totales en la harina de camote fue $481,07 \pm 15,06$ mg EAG/100g de harina en base seca lo cual está dentro del rango obtenido por Cui et al. (2019), de 288 a 1603 mg EAG/100g de harina en base seca; mientras que Kuan et al. (2016) en muestras de camote fresco obtuvo un rango de 138,2–757,4 mg EAG/100g en base seca. El ácido clorogénico y el ácido isoclorogénico son los principales componentes en fenoles del camote (Lu et al., 2011).

La capacidad antioxidante de concentrado de uva frente al radical DPPH fue de $27,13 \pm 0,106$ uMol Trolox/g que es inferior a lo obtenido por De Carvalho et al. (2019) de 32–79 uMol Trolox/g de uva y Moser et al. (2017) de 79,4–110,6 uMol Trolox/g cabe resaltar que este último investigador utilizó uvas violetas y secado por aspersion para evitar la pérdida de fenoles.

La capacidad antioxidante de la harina de camote frente al radical DPPH fue menor ($9,25 \pm 0,038$ uMol Trolox/g) que frente al radical ABTS ($260,47 \pm 1,28$ uMol 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 en los extruidos

4.2.1. Fenoles totales en hojuelas de la mezcla de harina de camote y uva Red Globe

La **Tabla 5** muestra los valores de fenoles totales expresados en mg EAG/100g correspondiente a cada tratamiento. Según de Gutiérrez y De La Vara (2012), luego de obtenidos los resultados experimentales del diseño de mezclas estos se venen ajustar estadísticamente a un modelo para identificar como influyen los ingredientes sobre las variables dependientes. Es por esto por lo que los resultados de fenoles totales fueron analizados por regresión múltiple, obteniendo un mejor ajuste sobre un modelo de ecuación cuadrática (Ecuac. (3)):

$$y = -662,84654X_1 - 20,33172X_2 - 23,75928X_3 + 9,21456X_1X_2 + 9,81768X_1X_3 + 0,205493X_2X_3 \quad (3)$$

Tabla 5. Contenido de fenoles totales de los tratamientos del producto extruido.

Formulación	Harina de camote (%)	Concentrado de uva (%)	Agua (%)	fenoles (mg EAG/100g)
T1	15	0	85	541,524 ± 21,93474 d
T2	20	0	80	550,456 ± 15,44399 d
T3	15	18	67	687,031 ± 25,87666 ab
T4	20	18	62	623,188 ± 29,48956 bc
T5	17,5	0	82,5	628,265 ± 23,5849 bc
T6	15	9	76	674,029 ± 41,40604 abc
T7	20	9	71	605,707 ± 26,41344 cd
T8	17,5	18	64,5	740,6422 ± 16,03096 a
T9	17,5	9	73,5	655,882 ± 16,76768 bc

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).

Donde “y” representa el contenido de fenoles totales en el producto extruido, mientras X_1 , X_2 y X_3 corresponde a los porcentajes de agua, uva y camote, respectivamente.

Según de Gutiérrez y De La Vara (2012) un modelo se puede elegir teniendo en cuenta el estadístico p-valor el cual tiene que ser menor que 0,05. En el caso de los modelos estudiados el modelo cuadrático obtuvo un valor-p de 0,0002 lo cual indicaría que los coeficientes son significativos a un nivel de confianza de 95%. Como se muestra en el ANEXO I.

Para la elección de un modelo también se toma en cuenta los coeficientes de determinación R^2 y R^2_{adj} que muestran los porcentajes de variación de la respuesta que corresponde al modelo. Según Rodríguez (2019) si el R^2 es cercano a 1 el modelo estimado es bueno y se considera que R^2 es un valor cercano a 1 cuando R^2 es $\geq 0,700$. El R^2 del modelo cuadrático hallado es de 0,8476 por lo tanto se confirma que el modelo es significativo y puede explicar la interacción entre los fenoles del extruido y sus ingredientes (Agua, concentrado de uva y harina de camote). En cuanto al R^2_{adj} Martínez et al. (2020) menciona que, en modelos con fines predictivos, el criterio de selección es maximizar el coeficiente de determinación ajustado (R^2 corregido o ajustado) manteniendo el menor número de variables que expliquen

Para conocer con más detalle la influencia de los ingredientes de la mezcla sobre los valores de la respuesta, se usó los gráficos de traza, al respecto Gutierrez y De La Vara (2012) señalan que los gráficos de traza o trazos de Cox permiten evaluar la influencia o repercusión de los ingredientes de una mezcla. La Grafica comienza con una referencia de mezcla (generalmente el centro de la región experimental), Y muestra como la respuesta cambia en función de cuanto aumenta o disminuye sus ingredientes en la composición en la mezcla. Cuando modificamos un ingrediente, los demás se incrementan o disminuyen de manera proporcional.

En la **Figura 6** podemos observar la gráfica de traza del contenido de fenoles en función de los ingredientes de la mezcla.

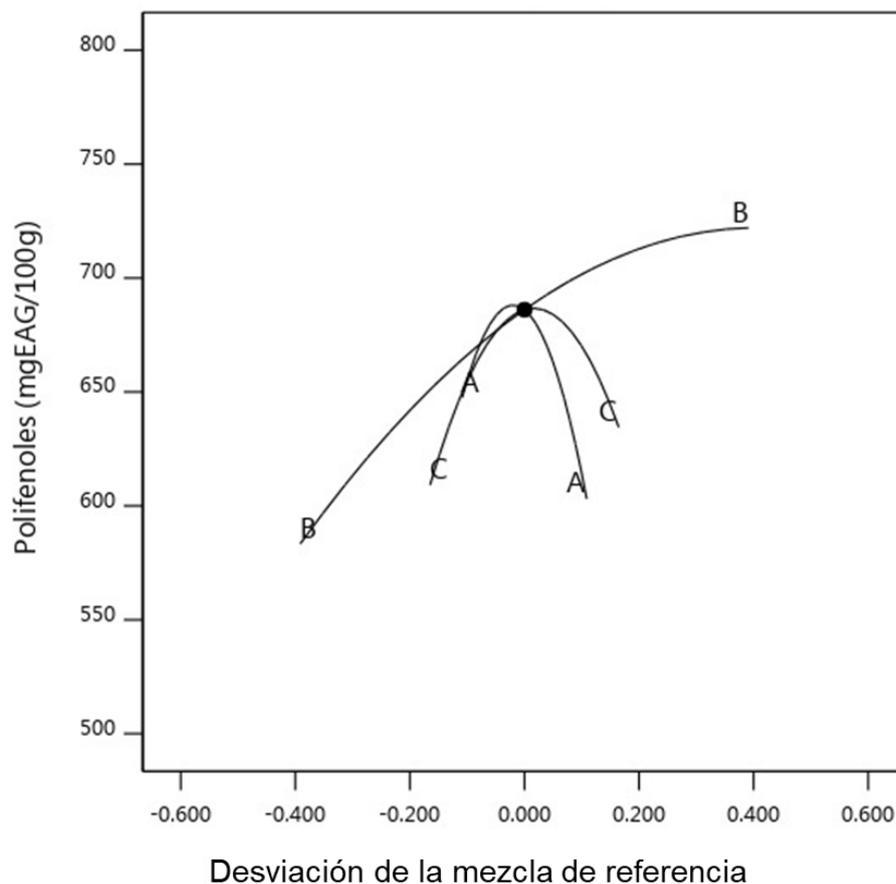


Figura 6. Trazos Cox del contenido de fenoles expresado en mg EAG/100g Siendo A: Agua, B: Uva, C: Camote

Se observa en la **Figura 6**. Que el trazo del agua (A), que a medida que aumenta la proporción de agua en la mezcla, el valor del contenido de fenoles aumenta hasta que llega a una sima para continuar con un descenso, un comportamiento similar obtuvo Sarawong et al. (2014) observaron el patrón de caída del contenido fenólico en los extruidos

finales con un aumento en el contenido de humedad del alimento. Bisharat et al. (2015), Leyva-Corral et al. (2016), informaron 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 fenoles sin embargo Lohani y Muthukumarappan (2016) y Hirth et al. (2015) informaron que un incremento en la humedad del alimento del 18 al 28% y del 2 al 17%, respectivamente, no afectó el contenido fenólico ni la actividad antioxidante de los extruidos a base de almidón. 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. (2018) en su trabajo con arándanos observo que procesamiento de extrusión de la torta prensada de arándano 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 fenoles, pero cuando se continúa aumentando la proporción de camote en el extruido se presenta un descenso al respecto Wang, He y Chen (2014) en la extrusión, el contenido de fenoles en los productos alimenticios puede verse influenciado por dos formas opuestas. Primero durante la extrusión, la rotura de las matrices de la pared celular y la rotura de los fenoles de alto peso molecular mejoran la capacidad de extracción de los compuestos fenólicos; en segundo lugar, el contenido fenólico total disminuye debido a la polimerización y descomposición de compuestos fenólicos termolábiles.

En general el contenido de fenoles se puede considerar influenciado por el contenido de concentrado de uva en la formulación,

El contenido de los fenoles totales en los tratamientos fue de $541,52 \pm 21,93$ a $767,56 \pm 14,47$ mg EAG/100g que se encuentra dentro del rango obtenido por Kolniak-Ostek et al. (2017) en sus extruidos enriqueció con diferentes harinas vegetales cuyo contenido de fenoles vario de $146,8 \pm 8,2$ a $1034,2 \pm 12,3$ mg EAG/100g siendo el mejor tratamiento el extruido enriquecido con alcachofa de Jerusalén. Asimismo, Salgado et al. (2017) obtuvo un contenido de fenoles de su extruido de mago que vario de $268,90 \pm 7,8$ a $509,70 \pm 6,4$ mg EAG/100g.

4.3. Capacidad antioxidante frente al radical DPPH

4.3.1. Capacidad antioxidante de los extruidos de la mezcla de uva y camote frente al DPPH.

En la **Tabla 6** se muestran los valores de la capacidad antioxidante en función del radical DPPH expresada en expresados en uMol Trolox/g correspondiente a cada tratamiento.

A través del análisis de regresión múltiple, los resultados se adecuaron a un modelo ajustado a una ecuación cubica especial (Ecuac. (4)):

$$y = -12.8088X_1 - 5.08005X_2 - 0.521126X_3 + 0.447783X_1X_2 + 0.193058X_1X_3 + 0.074958X_2X_3 - 0.00413X_1X_2X_3 \quad (4)$$

Donde “Y” es la capacidad antioxidante del extruido frente al radical DPPH, en cuanto X_1 , X_2 y X_3 corresponde a los porcentajes de agua, uva y camote, respectivamente.

Tabla 6. Actividad antioxidante del extruido de la mezcla de camote y uva red globe frente al radical DPPH expresado en uMol Trolox/g.

Formulación	Harina de camote (%)	Concentrado de uva (%)	Agua (%)	DPPH (uMol Trolox/g)
T1	15	0	85	9,49 ± 0,03 f
T2	20	0	80	10,74 ± 0,05 e
T3	15	18	67	12,1 ± 0,14 b
T4	20	18	62	12,06 ± 0,06 b
T5	17,5	0	82,5	12,1 ± 0,08 b
T6	15	9	76	12,24 ± 0,04 b
T7	20	9	71	11,34 ± 0,08 d
T8	17,5	18	64,5	12,99 ± 0,06 a
T9	17,5	9	73,5	11,82 ± 0,07 c

Los valores representan (promedio ± DS) datos provienen del experimento (n=3) valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$). DPPH: Depleción del 2,2-difenil-1-picrilhidrazil

El p-valor del modelo cubico especial fue de 0,0006 lo cual indicaría que los coeficientes son significativos a un nivel de confianza de 99% al respecto López (2011)

menciona que cuando el p-valor es inferior a 0,01 se dice que hay una relación estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99%.

Según Mendez (2018) el segundo estadístico a tomar en cuenta al analizar una regresión es el R²; este nos indica el porcentaje de varianza explicada de la variable dependiente, en nuestro caso la regresión obtuvo un R² = 0,8735 con lo que el modelo es capaz de explicar el 87,35% de como los ingredientes influyen en la capacidad antioxidante del extruido frente al DPPH.

Según Fernández et. al (2018) R² ajustado sirven para elegir el mejor modelo y mientras más cercano a 1 sea el valor del R² ajustado mejor será el modelo en el caso del modelo determinado posee un R² ajustado = 0,8313.

4.3.2. Efecto de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante del extruido frente al DPPH.

Capacidad antioxidante de los ingredientes frente al DPPH en los extruidos se analizó mediante el ploteo de contornos y grafico de trazas.

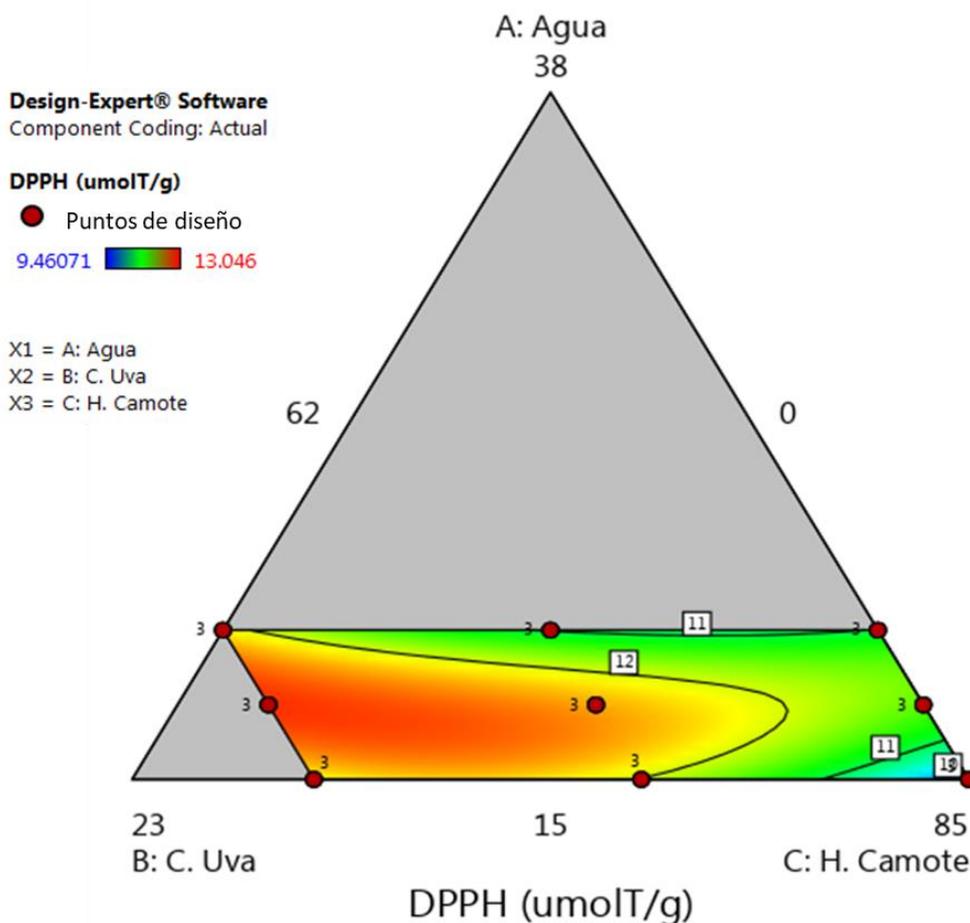


Figura 7. Ploteo de contornos de la capacidad antioxidante del extruido frente al DPPH

En la **Figura 7** se presenta el grafico de contornos observando que la mayor capacidad antioxidante es 13,046 $\mu\text{Mol Trolox/g}$ (color rojo) y la menor 9,46071 $\mu\text{Mol Trolox/g}$ (color azul). Del grafico también se observa que el ingrediente que tienen mayor influencia en la capacidad antioxidante frente al DPPH es la uva (B).

En la **Figura 8** podemos observar la gráfica de traza de la capacidad antioxidante frente al DPPH en función de los ingredientes de la mezcla. Observando que el trazo del agua (A), que a medida que aumenta la proporción de agua en la mezcla, el valor de la capacidad antioxidante aumenta hasta conseguir un valor máximo para luego disminuir. Comportamiento similar mostraron los resultados de Lohani y Muthukumarappan (2017) que a una mayor humedad de alimentación promovió la polimerización fenólica que redujo el contenido de fenoles y Actividad Antioxidantes de los extruidos.

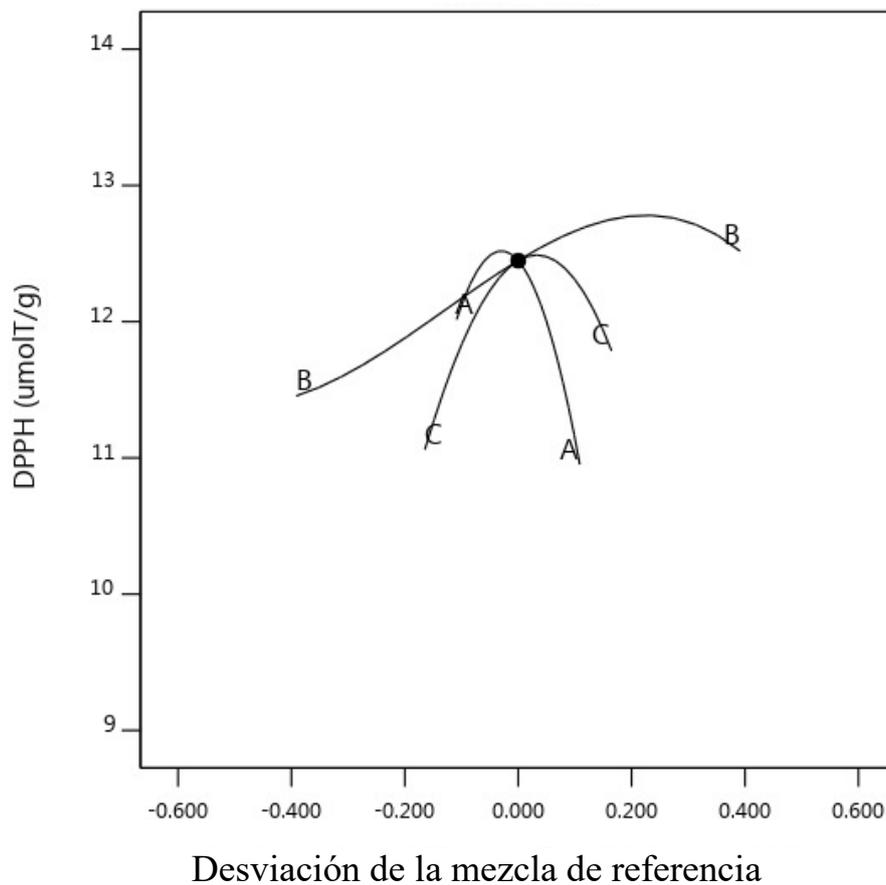


Figura 8. Trazos Cox de la capacidad antioxidante frente al DPPH expresado en $\mu\text{Mol Trolox/g}$.

Siendo A: Agua, B: Uva, C: Camote

En el caso del concentrado de uva (B) mientras la proporción de esta aumenta se obtienen incremento mayor de la capacidad antioxidante frente al DPPH del

extruido hasta alcanzar un valor máximo y luego disminuir ligeramente; este comportamiento es similar con el efecto que tiene la cantidad de concentrado de uva de los extruidos frente al contenido de fenoles, al respecto Lohani y Muthukumarappan (2017) menciona que es comportamiento es porque la mayoría de actividad antioxidante en los productos extruidos se debía a la presencia de ácidos fenólicos. Sin embargo, Gui et al. (2014) menciona que el aumento de actividad antioxidante también puede darse debido al pardeamiento no enzimático, la oxidación química de los fenoles o la caramelización. En el caso del camote (C) se observa un ligero aumento de la capacidad antioxidante frente al DPPH que luego disminuye rápidamente, al respecto Grasso (2020). Menciona que investigaciones recientes han destacado que tratar de agregar más no es necesariamente mejor, ya que las inclusiones más pequeñas de subproductos podrían producir mejores resultados en términos de retención de antioxidantes como se ve en extruidos de orujo de manzana, zanahoria y cereza.

4.4. Capacidad antioxidante frente al radical ABTS

4.4.1. Capacidad antioxidante de los extruidos de la mezcla de uva y camote frente al radical ABTS.

En la **Tabla 7** se muestran los valores de la capacidad antioxidante en función del radical ABTS expresada en uMol Trolox/g correspondiente a cada tratamiento.

Tabla 7. Capacidad antioxidante del extruido de la mezcla de camote y uva red globe frente al radical ABTS expresado en uMol Trolox/g

Formulación	Harina de camote (%)	Concentrado de uva (%)	Agua (%)	ABTS (uMol Trolox/g)
T1	15	0	85	97,53 ± 0,66 f
T2	20	0	80	109,19 ± 0,69 d
T3	15	18	67	69,02 ± 0,77 g
T4	20	18	62	126,62 ± 0,58 b
T5	17,5	0	82,5	111,45 ± 1,01 d
T6	15	9	76	117,54 ± 1,51 c
T7	20	9	71	143,1 ± 0,77 a
T8	17,5	18	64,5	101,64 ± 1,02 e
T9	17,5	9	73,5	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 ($p \leq 0,05$), ABTS : 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzotiazolina-6-acido sulfónico.

A través del análisis de regresión múltiple se desarrolló a un modelo en que los resultados se ajustaron a una ecuación especial cubica (Ecuac. (5)):

$$y = -94.85972X_1 - 71.47872X_2 - 3.69958X_3 + 3.85326X_1X_2 + 1.43883X_1X_3 + 0.799519X_2X_3 - 0.023501X_1X_2X_3 \quad (5)$$

Donde y es la capacidad antioxidante del extruido frente al radical ABTS, en cuanto X_1 , X_2 y X_3 corresponde a los porcentajes de agua, uva y camote, respectivamente.

Según Méndez (2018) como primer paso a la hora de analizar una regresión hemos de comprobar la p-value, pues este valor nos indica la cuan significativa son nuestros resultados, en nuestro caso el valor p-valor $< 0,0001$, por lo común, suele ser significativo, lo que implica que hemos conseguido explicar información de la variable dependiente a partir de muestras independientes.

El modelo hallado tiene un $R^2 = 0,996$ y según Cruz y Sánchez (2020) El coeficiente de determinación múltiple (R^2) representa el porcentaje de variación de la variable “Y” que se explica a través de todas las variables independientes del modelo y siempre se encuentra situado entre 0 y 1; además, cuanto mayor sea R^2 mayor será el poder explicativo del modelo. Como es en nuestro caso.

Para determinar el modelo se tomó en cuenta también el valor de R^2 ajustado = 0,9947. al respecto Gutiérrez y Vladimirovna (2016) mencionan que el coeficiente de determinación (R^2) no es un estadístico muy acertado cuando se realizan regresiones lineales múltiples porque su valor tiende a elevarse cuanto mas variables se agregan al modelo a pesar de que esta no refleje la influencia en la predicción del resultado. Conociendo las características de este estimador se debe optar por el uso del coeficiente de determinación múltiple ajustado (R^2 Ajustado).

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

La influencia de los ingredientes sobre la capacidad antioxidante frente al ABTS en los extruidos se analizó mediante el ploteo de contornos y grafico de trazas.

En la **Figura 9** se presenta el grafico de contornos observando que la mayor capacidad antioxidante es 143,997 uMol Trolox/g (color rojo) y la menor 68,5736 uMol Trolox/g (color Azul). Del grafico se puede observar que la actividad antioxidante del frente al ABTS está siendo influenciada por el contenido del agua en la mezcla a extraer.

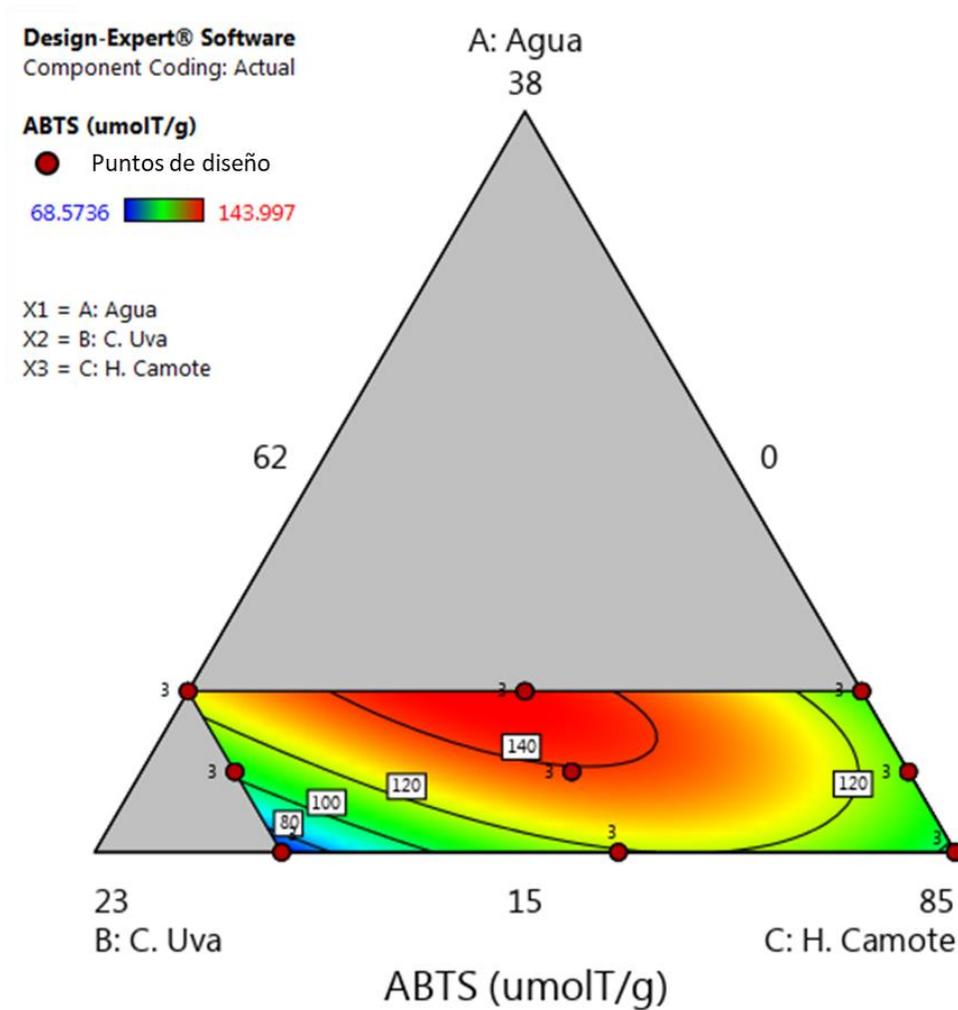


Figura 9. Ploteo de contornos de la capacidad antioxidante del extruido frente al ABTS

En la **Figura 10** se presenta la gráfica de traza de la capacidad antioxidante frente al ABTS en función de los ingredientes de la mezcla.

Se observa de la traza del agua (A), que al aumentar el contenido del agua aumenta la capacidad antioxidante 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.

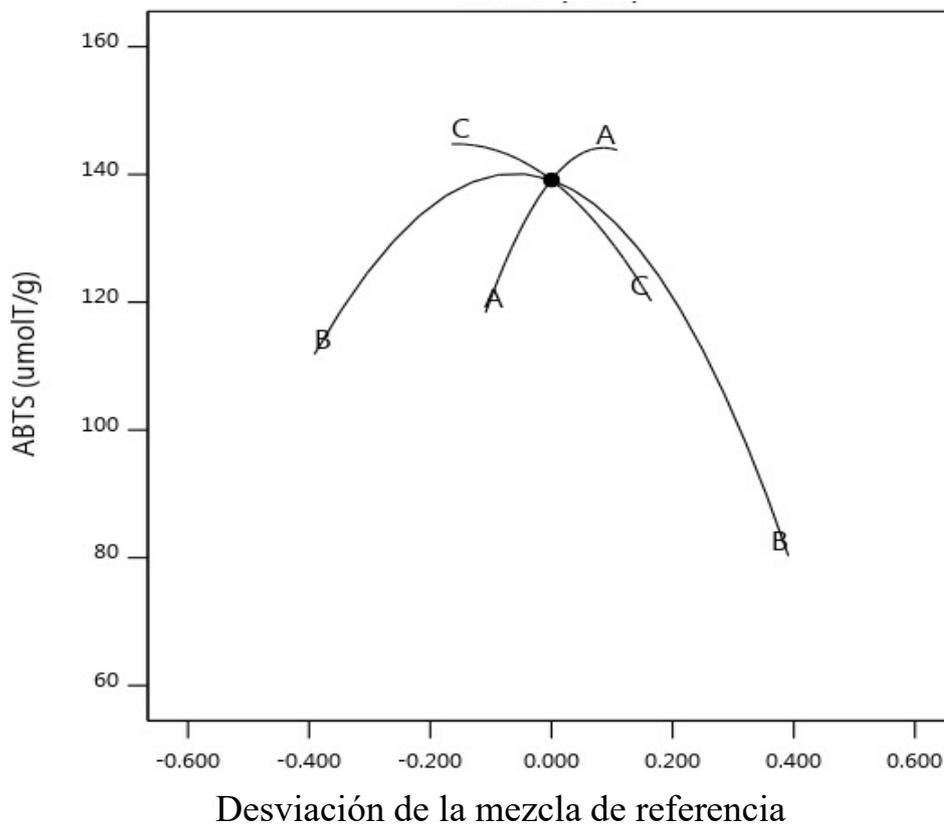


Figura 10. Trazos Cox de la capacidad antioxidante frente al ABTS expresado en uMol Trolox/g Siendo A: Agua, B: Uva, C: Camote

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 capacidad antioxidante aumenta hasta que llega a una cima para continuar con un descenso, este descenso puede ser explicado por las observaciones de Reis, Rai y Abu-Ghannam (2014) en que la adición de orujo de manzana aumentó significativamente los compuestos fenólicos en los extruidos en comparación con el control, sin embargo, las recuperaciones de compuestos fenólicos disminuyeron a medida que aumentó la incorporación de orujo de manzana. Según los autores, esto podría deberse a la polimerización que afectó a la extractabilidad de los compuestos fenólicos, por lo que cuantos más compuestos fenólicos se incorporaron, mayor será la polimerización. Caso contrario observo Lohani y Muthukumarappan (2016) en que la actividad antioxidante de los extruidos se incrementó cuando la pulpa de manzana aumentó dentro del rango experimental, esto lo atribuyó al mayor contenido de fenoles y actividad antioxidante iniciales en la materia prima. Jozinović et al. (2019) el contenido de fenoles y la actividad antioxidante de los extruidos aumentaron proporcionalmente con la adición de

cáscaras de cacao. Según Alam et al. (2015) La actividad antioxidante y antirradical de los productos extruidos depende no solo del nivel de compuestos bioactivos sino también de la composición de los compuestos bioactivos y observaron una menor actividad antioxidante para los frijoles de color rojo oscuro en comparación con los frijoles de color marrón negro y crema, a pesar de que los frijoles de color rojo oscuro extruidos exhibieron un contenido fenólico total más alto en comparación con los frijoles de color marrón negro y crema.

4.5. Optimización de la capacidad antioxidante

Para la optimización simultanea de las variables respuesta se utilizó la función de deseabilidad. Derringer y Suich (1980) propusieron el uso de una función de deseabilidad para experimentos de optimización de respuesta múltiple. Según Gomes et al. (2017) Para obtener la deseabilidad general, deben determinarse las deseabilidades individuales de todas las respuestas (en este caso, contenido de fenoles, actividad antioxidante DPPH y ABTS). Así, cada respuesta y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) se transforma en un valor libre de escala, que se denomina función de deseabilidad individual (d_i), donde $0 \leq d_i \leq 1$, con 0 para una respuesta inaceptable y 1 para una respuesta deseable. El valor de “ d_i ” aumenta a medida que aumenta la conveniencia de la respuesta correspondiente. La función de deseabilidad individual se calculó de acuerdo con la Ecuac. (6), que se utilizó para maximizar la deseabilidad general (D); L y H son las respuestas observadas superior e inferior para cada variable independiente. El valor D se calculó determinando la media geométrica de las deseabilidades individuales según la Ecuac. (7).

$$d_i = \frac{y_i - L}{H - L} \quad (6)$$

$$D = (d_1 * d_2 * d_3 * \dots * d_k)^{\frac{1}{k}} \quad (7)$$

Donde k es el número de respuestas (en este caso, 3). D=1 indica una respuesta completamente deseada, por encima de la cual no son importantes las mejoras adicionales.

Para la optimización simultánea de la capacidad antioxidante y fenoles totales se utilizó las restricciones presentadas en la **Tabla 8**, Todas las variables respuestas fueron consideradas con la misma importancia al establecer los criterios de optimización.

Tabla 8. 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 (mg EAG/100g)	Maximizar	517,357	758,927
CA frente al DPPH (uMol Trolox/g)	Maximizar	9,46	13,046
CA frente al ABTS (uMol Trolox/g)	Maximizar	68,573	143,997

Bajo estas condiciones se obtuvo dos formulaciones optimas 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 9** se observa la formulación con mayor deseabilidad (elegida) y respuestas estimadas.

Tabla 9. Ingredientes de la formula optima del extruido

Soluci ón	Agua	C. Uva	H. Camot e	Fenoles (mg EAG/100 g)	CA frente al DPPH (uMol Trolox/g)	CA f. al ABTS (uMol Trolox/g)	Deseab ilidad
1	17,424	11,996	70,58	703,385	12,655	133,669	0,84

En la **Figura 11** se observa el punto que obtuvo la mayor deseabilidad el cual se considera como la formulación óptima.

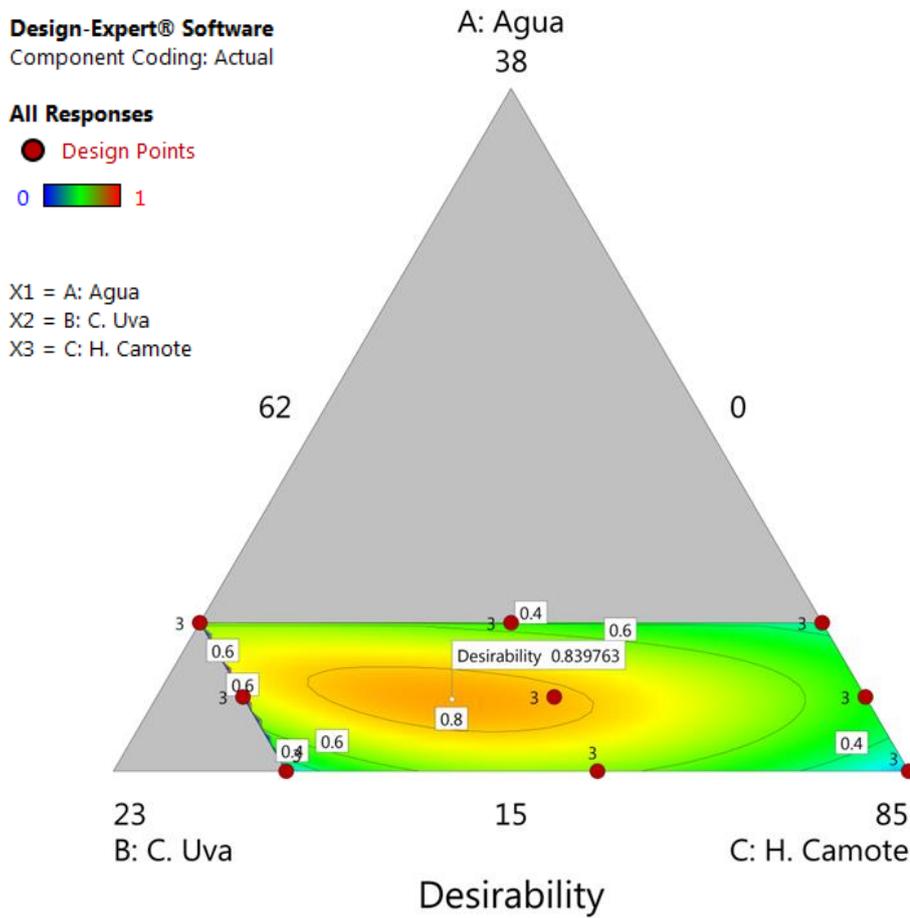


Figura 11. Ploteo de contornos de la optimización del producto extruido mediante la función de deseabilidad.

V. CONCLUSIONES

- Se encontró un contenido de fenoles en la materia prima de $882,16 \pm 59,89$ y $481,07 \pm 15,06$ mg EAG/100g para el concentrado de uva y la harina de camote respectivamente.
- Se observó una capacidad antioxidante del concentrado de uva de $27,13 \pm 0,106$ $\mu\text{mol ET/g}$ y de $260,47 \pm 1,28$ de materia seca frente al DPPH y al ABTS respectivamente; en el caso de la harina de camote se obtuvo $9,258 \pm 0,038$ $\mu\text{mol ET/g}$ y $133,76 \pm 0,51$ de materia seca frente al DPPH y al ABTS respectivamente.
- Las variables respuesta del contenido de fenoles, Capacidad antioxidante frente al DPPH y Capacidad antioxidante frente al ABTS se ajustaron a un modelo cuadrático ($R^2=0,8476$), cubica especial ($R^2 = 0,8735$) y cubica especial ($R^2 = 0,996$) respectivamente.
- Se 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 que respondieron a un contenido fenoles de 703,385 mg EAG/100g, capacidad antioxidante de 12,655 y de 133,669 $\mu\text{Mol Trolox/g}$ frente al DPPH y al ABTS respectivamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Consumir extruidos que en su formulación contenga frutas u hortalizas.
- Estudiar cómo evitar la polimerización de compuestos fenólicos en el proceso de extrusión.
- Utilizar el diseño de mezclas para optimizar productos alimenticios
- Utilizar subproductos del proceso de frutas u hortalizas para elaborar extruidos.
- Realizar el análisis sensorial de los extruidos a base de camote y uva red Globe
- Realizar el estudio de vida útil del la formula optima del extruido a base de camote y uva red Globe.

VII.REFERENCIAS

- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2015). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. doi:10.1080/10408398.2013.779568
- Anaya, A. (2003). *Ecología química*. Plaza y Valdes.
- AOAC. (1997). *Official Methods of analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists) International*; Agricultural Chemicals, Foods, Contaminants and Drugs. V1 y V2 Arlington: A.O.A.C. Inc. 2658 p.
- Barthelemy, c., Cornago p., Esteban s., Gálvez, M. (2013). *La química en la vida cotidiana*. Madrid, Editorial UNED. 288 p.
- Bernhoft, A. (2010). A brief review on bioactive compounds in plants. *Bioactive compounds in plants-benefits and risks for man and animals*, 50, 11-17.
- Bisharat, G. I., Lazou, A. E., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. (2014). Antioxidant potential and quality characteristics of vegetable-enriched corn-based extruded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3986–4000. doi:10.1007/s13197-014-1519-z
- 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. doi:10.1016/s0023-6438(95)80008-5
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 570–575. doi:10.1016/j.tifs.2011.05.007
- Campos, M. (2018). *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*. Woodhead Publishing.
- Cásseres, E. (1986). *Papa, yuca y camote: cultivo y aprovechamiento* (No. 633.49). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación..
- 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. doi:10.1016/j.lwt.2015.04.066
- 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. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125129
- Cruz, S., Sánchez, A. (2020). *Métodos matemáticos para la valoración de empresas y proyectos de inversión*. Universidad Almería.
- De Carvalho Tavares, I., De Castilhos, M., Mauro, M., Ramos, A., De Souza, R., Gómez-Alonso, S., Lago-Vanzela, E. (2019). BRS Violeta (BRS Rúbea× 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. doi:10.1016/j.foodchem.2019.124971
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214–219. doi:10.1080/00224065.1980.11980968.
- Dominguez, H., Munoz, M. (2017). *Water Extraction of Bioactive Compounds: From Plants to Drug Development*. Elsevier.
- Fernández, R., Trapero, A., Domínguez, J. (2018). *Experimentación agraria*. Ediciones Díaz de Santos.
- Gomes, S. V., Portugal, L. A., dos Anjos, J. P., de Jesus, O. N., de Oliveira, E. J., David, J. P., & David, J. M. (2017). Accelerated solvent extraction of phenolic compounds exploiting a Box-Behnken design and quantification of five flavonoids by HPLC-DAD in Passiflora species. *Microchemical Journal*, 132, 28-35.
- Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 284–294. doi:10.1016/j.tifs.2020.03.012
- Guan, Y., Chu, Q., Fu, L., & Ye, J. (2005). Determination of antioxidants in cosmetics by micellar electrokinetic capillary chromatography with electrochemical detection. *Journal of Chromatography A*, 1074(1-2), 201–204. doi:10.1016/j.chroma.2005.03.063
- Gutiérrez, H., DE La Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.
- Gutiérrez, E., Vladimirovna, O. (2016). *Estadística Inferencial I: para ingeniería y ciencias*. Grupo Editorial Patria.

- 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. doi:10.1016/j.jgr.2013.12.002
- Hirth, M., Preiß, R., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2015). Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 511–516. doi:10.1016/j.lwt.2014.08.032
- Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almli, V. L., Sozer, N., & Alminger, M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT*, 92, 422–428. doi:10.1016/j.lwt.2018.02.042
- Hoyos-Arbeláez, J., Vázquez, M., & Contreras-Calderón, J. (2017). Electrochemical methods as a tool for determining the antioxidant capacity of food and beverages: A review. *Food Chemistry*, 221, 1371–1381. doi:10.1016/j.foodchem.2016.11.017
- Rahman, S., & Ahmed, J. (2012). *Handbook of food process design*. John Wiley & Sons.
- Jiang, Z. M., Wang, L. J., Gao, Z., Zhuang, B., Yin, Q., & Liu, E. H. (2019). Green and efficient extraction of different types of bioactive alkaloids using deep eutectic solvents. *Microchemical Journal*, 145, 345–353.
- Jozinović, A., Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Babić, J., Pajin, B., Miličević, B., ... Šubarić, D. (2018). Cocoa husk application in the enrichment of extruded snack products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(2), e13866. doi:10.1111/jfpp.13866.
- Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Pełksa, A., Wawrzyniak, A., Hamułka, J., Jeznach, M., ... Jariene, E. (2017). Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 64, 147–155. doi:10.1016/j.jfca.2017.08.008.
- Kowalski, R. J., Morrow, C. D., McDonald, A. G., & Ganjyal, G. M. (2016). A new technique for cross-sectional density profiling of extruded foods by X-ray scanning. *Food Structure*, 8, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2016.03.001>.
- Kuan, L. Y., Thoo, Y. Y., & Siow, L. F. (2016). Bioactive components, ABTS radical scavenging capacity and physical stability of orange, yellow and purple sweet potato (*I pomoea batatas*) powder processed by convection-or vacuum-drying

methods. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(3), 700-709.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13023>

- Lazic, Z. (2006). *Design of experiments in chemical engineering: a practical guide*. John Wiley & Sons.
- Leyva-Corral, J., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A., de Jesús Zazueta-Morales, J., Aguilar-Palazuelos, E., Ruiz-Gutiérrez, M. G., ... de Jesús Ruiz-Anchondo, T. (2016). Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 228–236. doi:10.1016/j.lwt.2015.07.073.
- 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. doi:10.1016/s2095-3119(18)62138-0.
- Lu, G., & Gao, Q. (2011). Use of Sweet Potato in Bread and Flour Fortification. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, 407–416. doi:10.1016/b978-0-12-380886-8.10037-6
- 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. doi:10.1016/j.lwt.2017.08.034.
- 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), e12424. doi:10.1111/jfpe.12424.
- López, A. (2011). *Contribución al conocimiento del microclima de los invernaderos mediterráneos mediante anemometría sónica y termografía*. Universidad Almería.
- Martínez, M., Sánchez A., Toledo E., Faulin J. (2020). *Bioestadística Amigable*. Elsevier Health Sciences.
- Mendez, M. (2018). *Análisis de datos con R: Una aplicación a la investigación de mercados*. ESIC Editorial.
- Miller, N. J., Rice-Evans, C., Davies, M. J., Gopinathan, V., & Milner, A. (1993). A Novel Method for Measuring Antioxidant Capacity and its Application to Monitoring

- the Antioxidant Status in Premature Neonates. *Clinical Science*, 84(4), 407–412. doi:10.1042/cs0840407
- Moser, P., Telis, V. R. N., de Andrade Neves, N., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2017). Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. *Food Chemistry*, 214, 308–318. doi:10.1016/j.foodchem.2016.07.081
- Muñoz-Rodríguez, P., Carruthers, T., Wood, J. R. I., Williams, B. R. M., Weitemier, K., Kronmiller, B., ... Scotland, R. W. (2018). Reconciling Conflicting Phylogenies in the Origin of Sweet Potato and Dispersal to Polynesia. *Current Biology*, 28(8), 1246–1256.e12. doi:10.1016/j.cub.2018.03.020
- INIA. 2017. *Manual del cultivo de uva de mesa. Convenio INIA-INDAP. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago (Chile). Boletín N° 18.*
- Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10–36. doi:10.1016/j.foodres.2015.04.018.
- Pantelić, M. M., Dabić Zagorac, D. Č., Davidović, S. M., Todić, S. R., Bešlić, Z. S., Gašić, U. M., ... Natić, M. M. (2016). Identification and quantification of phenolic compounds in berry skin, pulp, and seeds in 13 grapevine varieties grown in Serbia. *Food Chemistry*, 211, 243–252. doi:10.1016/j.foodchem.2016.05.051
- Pešić, M. B., Milinčić, D. D., Kostić, A. Ž., Stanisavljević, N. S., Vukotić, G. N., Kojić, M. O., ... Tešić, Ž. L. (2019). In vitro digestion of meat- and cereal-based food matrix enriched with grape extracts: How are polyphenol composition, bioaccessibility and antioxidant activity affected? *Food Chemistry*, 284, 28–44. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.107
- Reis, S. F., Rai, D. K., & 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. doi:10.1111/ijfs.12477.
- Rodríguez, M. (2019). *Estadística inferencial aplicada*. Universidad del Norte.
- Salazar, D., Melgarejo P. (2005). *Viticultura. Técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*. Mundi-Prensa.

- Salgado, N., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2017). Influence of the extrusion operating conditions on the antioxidant, hardness and color properties of extruded mango. *LWT*, 86, 209–218. doi:10.1016/j.lwt.2017.07.049.
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33–39. doi:10.1016/j.foodchem.2013.07.081
- Selvamuthu, D., Das, D. (2018). *Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and Statistical Quality Control*. Springer Singapore.
- Shih, M.-C., Kuo, C.-C., & Chiang, W. (2009). Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. *Food Chemistry*, 117(1), 114–121. doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.084
- 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.
- Hernández Suárez, M., Montes Hernández, A. I., Rodríguez Galdón, B., Hernández Rodríguez, L., Medina Cabrera, C. E., Ríos Mesa, D., ... Díaz Romero, C. (2016). Application of multidimensional scaling technique to differentiate sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivars according to their chemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 43–49. doi:10.1016/j.jfca.2015.10.008
- Rayan, A. M., Morsy, N. E., & Youssef, K. M. (2017). Enrichment of rice-based extrudates with Cactus *Opuntia dillenii* seed powder: a novel source of fiber and antioxidants. *Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 523–531. doi:10.1007/s13197-017-2961-5.
- Riaz, M. (2013). Food Extruders. En Kuts, *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*. (pp.427–440). Elsevier.
- Reyes M., Gómez I., Espinoza C. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud.
- Teow, C. C., Truong, V.-D., 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*, 103(3), 829–838. doi:10.1016/j.foodchem.2006.09.033

- Uitterhaegen, E., & Evon, P. (2017). Twin-screw extrusion technology for vegetable oil extraction: A review. *Journal of Food Engineering*, 212, 190–200. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.06.006.
- 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. doi:10.1016/j.jff.2014.01.033.
- Wu, G., Chang, C., Hong, C., Zhang, H., Huang, J., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 33–45. doi:10.1016/j.tifs.2019.07.043.
- Yang, L., Wen, K.-S., Ruan, X., Zhao, Y.-X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors. *Molecules*, 23(4), 762. doi:10.3390/molecules23040762.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., & Quintanar-Guerrero, D. (2019). Novel Techniques for Extrusion, Agglomeration, Encapsulation, Gelation, and Coating of Foods. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 379–392. doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.22280-4.

ANEXOS

A-I. ANOVA del model cuadratico para el contenido de Fenoles totales.

Fuente	Suma de		Cuadrado		F-value	p-value	
	cuadrados	GL	medio				
Bloque	3079.63	2	1539.81				
Modelo	90557.86	5	18111.57	21.13	< 0.0001	Significante	
Mezcla lineal	62332.72	2	31166.36	36.36	< 0.0001		
AB	19051.9	1	19051.9	22.23	0.0002		
AC	22590.67	1	22590.67	26.35	< 0.0001		
BC	1662.33	1	1662.33	1.94	0.1798		
Residual	16287.3	19	857.23				
Cor Total	1.10E+05	26					

Std. Dev. = 29.28; Mean=634.11; C.V. %=4.62; R²=0.8476; R²ajus=0.8074

A-II. ANOVA del model cubico especial para Capacidad antioxidants frente al DPPH

Fuente	Suma de		Cuadrado		F-value	p-value	
	cuadrados	GL	medio				
Bloque	0.0065	2	0.0032				
Modelo	21.93	6	3.65	20.71	< 0.0001	significant	
Mezcla lineal	11.69	2	5.84	33.11	< 0.0001		
AB	7.06	1	7.06	40.02	< 0.0001		
AC	7.89	1	7.89	44.69	< 0.0001		
BC	2.79	1	2.79	15.79	0.0009		
ABC	3.01	1	3.01	17.07	0.0006		
Residual	3.18	18	0.1765				
Cor Total	25.11	26					

Std. Dev. = 0,4201; Mean=11,65; C.V. %=3,61; R²=0.8735; R²ajus=0.8313

A-III. ANOVA del model cubico especial para Capacidad antioxidants frente al ABTS

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-value	p-value	
Bloque	1.62	2	0.8091			
Modelo	12681.88	6	2113.65	756.01	< 0.0001	significant
Mezcla lineal	4715.24	2	2357.62	843.27	< 0.0001	
AB	1103.06	1	1103.06	394.54	< 0.0001	
AC	438.13	1	438.13	156.71	< 0.0001	
BC	3287.55	1	3287.55	1175.89	< 0.0001	
ABC	97.58	1	97.58	34.9	< 0.0001	
Residual	50.32	18	2.8			
Cor Total	12733.82	26				

Std. Dev. = 1,67; Mean=113,06; C.V. %=1,48; R²=0.996; R²ajus=0.9947

A-VI. Soluciones de optimizacion de la capacidad antioxidante por medio de la function de deseabilidad

Solu.	Agua	C. Uva	H. Camote	DPPH	ABTS	Fenoles	Desirability
1	17.424	11.996	70.58	12.655	133.669	703.385	0.84
2	18.32	18	63.68	12.802	112.114	705.299	0.748

A-VII Desinfeccion de la uva:**A-VIII Blanqueado De Las Uvas**

A-IX Pulpeado de las uvas



A-X Concentrado de la pulpa de uva



A-XI Concentrado de uva



A-XII Envasado del concentrado



A-XII Cortado de camote



A-XIII Secado del camote



A-XIV Harina de camote



A-XV Extrusor



A-XVI- Laminado del extruido



A-XVII Cortado



A-XVIII Envasado

