

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**ELABORACIÓN DE ALIMENTO EXTRUIDO EMPLEANDO HARINA DE PAPA
MORADA (*Solanum tuberosum l. var. Vitelotte*) Y CONCENTRADO DE
AGUAYMANTO (*Physalis peruviana L.*) CON CARACTERISTICAS
ANTIOXIDANTES**

TESIS

Para optar el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS,
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

JOANA MILAGROS BRAVO ROMAINA

Asesor: M.Sc. WILLIAMS ROLDAN CARBAJAL

Promoción y año de egreso: 2015 - 2017

TINGO MARÍA – PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS - VIRTUAL
EPG-UNAS-2021

En la ciudad universitaria, siendo las 10.00 am del día Lunes 21 de Junio del 2021, reunidos en el Aula virtual *MICROSOFT TEAMS* de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

“ELABORACIÓN DE ALIMENTO EXTRUIDO EMPLEANDO HARINA DE PAPA MORADA (*Solanum tuberosum* L. var. *Vitelotte*) Y CONCENTRADO DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L.) CON CARACTERÍSTICAS ANTIOXIDANTES”

A cargo del candidato al Grado de Maestro En Ingeniería de Alimentos, mención: Ingeniería Agroindustrial: **Joana Milagros, Bravo Romaina.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**

Acto seguido, a horas 12.00 AM, el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.


.....
Dr. ROBERTO DAVILA TRUJILLO
Presidente del Jurado


.....
Dr. JAIME BASILIO ATENCIO
Miembro del Jurado


.....
Ing. Msc MILAGROS FOLLEGATTI ROMERO
Miembro del Jurado


Universidad Nacional Agraria de la Selva
Tingo Maria - Perú

.....
Williams V. Roldán Carbajal
Asesor



**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACION**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAESTRO,
INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA**

1. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Escuela de Posgrado : Escuela de Posgrado de la UNAS

Materia : Ingeniería de Alimentos

Mención : Ingeniería Agroindustrial

Título de tesis : “Elaboración de alimento extruido empleando harina de papa morada (*Solanum tuberosum l. Var. Vitelotte*) y concentrado de aguaymanto (*Physalis peruviana l.*) con características antioxidantes”

Autor : Joana Milagros Bravo Romaina

Línea (s) de Investigación : Procesos en la Ingeniería de Alimentos.

Eje temático de investigación : Diseño y Desarrollo de Nuevos Productos.

Lugar de Ejecución : Tingo María- Huánuco

Duración : Inicio, Enero 2019
Termino, Diciembre 2019

Financiamiento : FONDECYT

Tingo María – Perú

2022

M.Sc. Williams Roldan Carbajal

Ing. Joana Milagros Bravo Romaina

Primeramente a Dios y a mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto OBTENCION DE NUEVOS PRODCUTOS EXTRUIDOS, OPTIMIZACION DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EMPLEANDO MEZCLAS DE MATERIAS PRIMAS DE COSTA, SIERRA Y SELVA (PLANTANO, CAMOTE, PAPA NEGRA MORADA, ARANDANOS, UVA RED GLOBAL Y AGUAYMANTO, 134 - 2018 - FONDECYT – BM – IADT – AV, por la oportunidad de promover, financiar y desarrollar la investigación. Por el apoyo brindado a mí asesor M. Sc Williams Vicente Roldan Carbajal, equipo técnico de investigación, maestros, colegas y amigos, que influyeron en mi formación profesional con experiencias, recomendaciones y lecciones ante ello expreso mi estima personal y gratitud.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Aguaymanto.....	2
2.1.1. Clasificación taxonómica.....	3
2.1.2. Valor nutricional del aguaymanto.....	3
2.1.3. Propiedades antioxidantes del aguaymanto	4
2.1.4. Usos del aguaymanto	5
2.2. PAPA MORADA (<i>Solanum tuberosum l. var. Vitelotte</i>).....	5
2.2.1. Compuestos nutricionales	6
2.2.2. Propiedades antioxidantes.....	8
2.2.3. Antocianinas en papa	8
2.3. EXTRUSIÓN.....	9
2.3.1. Principios básicos de la extrusión.....	9
2.3.2. Sistema de extrusión	10
2.3.2.1. Proceso de extrusión en frío	10
2.3.2.2. Extrusión por cocción.....	10
2.3.2.3. Extrusora de un solo tornillo	10
2.3.3. Efecto de extrusión sobre las características del producto	13
2.3.3.1. Transformación del almidón.....	13
2.3.3.2. Compuestos fenólicos (ácidos fenólicos)	13
2.3.3.3. Actividad antioxidante.....	13
III.MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Lugar de ejecución.....	15
3.2. Material y métodos	15
3.3. Metodología	16
3.3.1. Formulación y elaboración de un alimento extruido empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto.	16
3.3.2. Elaboración del alimento extruido a base de harina de papa morada y concentrado de aguaymanto.....	18
3.3.3. Caracterización fisicoquímica.....	20
3.3.4. Formulación del alimento extruido.....	20
3.4. Análisis estadístico	22
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Obtención de la harina de papa morada y el concentrado de jugo de aguaymanto .	24
4.2. Análisis de actividad antioxidante, fenoles totales y antocianinas totales de harina de papa morada y concentrado de aguaymanto	25

4.3. Evaluación antocianinas totales, fenoles totales y actividad antioxidante (ABTS Y DPPH).....	26
4.3.1. Contenido total de antocianinas	26
4.3.2. Fenoles totales.....	30
4.3.3. Actividad antioxidante en DPPH Y ABTS.....	32
4.3.4. Índice de expansión	36
4.3.5. Método de función de deseabilidad	38
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Análisis proximal del fruto de aguaymanto.....	3
2. Composición nutricional <i>Physalis peruviana L.</i>	4
3. Análisis proximal de la papa	6
4. Restricciones de los componentes del alimento extruido.....	20
5. Formulaciones en base a las restricciones establecidas.....	21
6. Diseño experimental.....	22
7. Análisis de Varianza (ANOVA).....	22
8. Humedad, Rendimiento y características sensoriales de la harina de papa morada y concentrado de aguaymanto	24
9. Análisis de la actividad antioxidante (DPPH Y ABTS), fenoles y antocianinas totales.	24
10. Valores del contenido total de antocianinas de las formulaciones en estudio de los alimento extruidos	26
11. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático.....	27
12. Coeficientes de estimación para el contenido de antocianinas totales	27
13. Valores de fenoles totales en las formulaciones experimentales de los alimento extruido.....	27
14. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático.....	30
15. Coeficientes de estimación para el contenido de fenoles totales.....	31
16. Valores de actividad antioxidante “DPPH y ABTS” en las formulaciones de los alimento extruidos.	24
17. Ajuste y ANVA para el modelo lineal.....	33
18. Coeficientes de estimación de la actividad antioxidante en DPPH.....	34
19. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático.....	34
20. Coeficientes de estimación dela actividad antioxidante en ABTS.....	34
21. Índice de expansión de las formulaciones experimentales de los alimento extruidos.	36
22. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático.....	37
23. Coeficientes de estimación del índice de expansión	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Extrusor de tornillo simple	10
2. Tornillo de extrusión y zonas.....	11
3. Cilindro de calentamiento	11
4. Garganta de alimentación	12
5. Tipos de tolva y tornillo de alimentación	12
6. Esquema de la conducción experimental.....	16
7. Flujograma del concentrado a vacío de aguaymanto.....	17
8. Flujograma de obtención de harina de papa morada	18
9. Flujograma de elaboración del alimento extruido	19
10: Representación gráfica del diseño de mezclas con restricciones sobre harina de papa morada, y concentrado de aguaymanto	21
10. Concentrado de aguaymanto y harina de papa morada	24
11. Superficie respuesta para el contenido total de antocianinas en los alimentos extruido	28
12. Superficie respuesta para el contenido total de antocianinas en los alimentos extruidos	38
13. Optimización de los componentes de la mezcla	39

RESÚMEN

El objetivo de estudio fue obtener y formular un alimento extruido empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto mediante tecnología de extrusión, realizándose mezclas que permitan el poder sinérgico que ambos productos poseen. Los experimentos se llevaron a cabo mediante un diseño de mezclas con tres variables independientes (harina de papa morada, concentrado de aguaymanto y humedad), empleando un extrusor de un solo tornillo, con una boquilla de salida 5 mm, se ajustó a una temperatura de 180 °C a una revolución de 150 RPM, evaluando las variables independientes (contenido de antocianinas totales, fenoles totales y actividad antioxidante DPPH y ABTS e índice de expansión) a partir de nueve formulaciones. La formulación óptima se determinó aplicando el método de función de deseabilidad basada en los modelos de regresión ajustada, se obtuvo maximizando el contenido de antocianinas totales e índice de expansión. La formulación óptima dio como resultado 68,12 % en harina de papa morada, 2 % de concentrado de aguaymanto y 29,88 % de humedad.

El contenido de antocianinas totales, fenoles totales y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) en harina de papa morada fueron $311,128 \pm 20,046$ mg cianidina – 3. glucósido/100 g, $2,504 \pm 0,361$ mg EAG/100g, $283,411 \pm 8,267$ mMol TEAC/100g en DPPH, $53,232 \pm 3,251$ mMol TEAC /100g ABTS respectivamente. En el aguaymanto fueron $0,000 \pm 0,0002$ mg cianidina – 3. glucósido/g, $0,210 \pm 0,038$ mg EAG/100g, $182,037 \pm 7,673$ mMol TEAC/100g DPPH, $93,483 \pm 9,206$ mMol TEAC/100g ABTS respectivamente.

Palabras clave: Antocianinas, Fenoles totales, Diseño de mezclas.

ABSTRACT

The objective of the study was to obtain and formulate an extruded food using purple potato flour and aguaymanto concentrate by means of extrusion technology, making mixtures that allow the synergistic power that both products possess. The experiments were carried out by means of a mixture design with three independent variables (purple potato flour, aguaymanto concentrate and humidity), using a single screw extruder, with a 5 mm outlet nozzle, adjusted to a temperature of 180 ° C at a revolution of 150 RPM, evaluating the independent variables (content of total anthocyanins, total phenols and antioxidant activity DPPH and ABTS and expansion index) from nine formulations. The optimal formulation was determined by applying the desirability function method based on the fitted regression models, it was obtained by maximizing the total anthocyanin content and expansion index. The optimal formulation resulted in 68.12% purple potato flour, 2% aguaymanto concentrate and 29.88% moisture.

The content of total anthocyanins, total phenols and antioxidant activity (DPPH and ABTS) in purple potato flour were 311,128 ± 20,046 mg cyanidin - 3. glucoside / 100 g, 2,504 ± 0,361 mg EAG / 100g, 283,411 ± 8,267 mMol TEAC / 100g in DPPH, 53.232 ± 3.251 mMol TEAC / 100g ABTS respectively. In the aguaymanto they were 0.000 ± 0.0002 mg cyanidin - 3. glucoside / g, 0.210 ± 0.038 mg EAG / 100g, 182.037 ± 7.673 mMol TEAC / 100g DPPH, 93.483 ± 9.206 mMol TEAC / 100g ABTS respectively..

Keywords: *Anthocyanins, Total phenols, Mix design*

I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria genera una gran cantidad de productos al procesar frutas, verduras y tubérculos, entre ellos se encuentran los alimentos extruidos que son populares por sus diversas formas, crujiente y bajo valor nutricional. Sin embargo estos podrían mejorarse agregando fuentes beneficiosas y ricas en antioxidante a las mezclas extruidas tales como legumbres, frutas, bayas, hierbas, semillas, etc. Entre ellos encontramos el aguaymanto y papa morada, por el alto contenido de vitamina A y C, polifenoles, tocoferoles, carotenos y flavonoides debido a su capacidad para eliminar radicales libres de ácidos grasos.

La extrusión es una tecnología con un proceso importante donde los alimentos se plastifican y cocinan mediante una combinación de humedad, altas temperaturas bajo presión a corto tiempo para ser cortadas, moldeadas.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar productos básicos empleando papas nativas y concentrados de frutas como alimentos funcionales en forma de aperitivos extruidos, propiedades que son favorables a la salud que estimulan la búsqueda de nuevas fuentes vegetales ricas en fenoles y antioxidantes, por ello se propuso mejorar el valor nutricional un alimento extruido empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto con capacidad antioxidante, planteándose los siguientes objetivos:

- Obtener y formular un alimento extruido empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto.
- Evaluar las capacidad antioxidante, fenoles totales, antocianinas e índice de expansión del alimento extruido.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. AGUAYMANTO

El Aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es un arbusto de la familia Solanácea, originario de los Andes peruanos (Ponce et al. 2014). Sus frutos son dorados de forma ovoide de 1,25 a 2,5 cm y 4 y 10 g en peso, cubiertas por una cáscara no comestible, aroma exquisito con un sabor agridulce y amargo, que contiene alrededor de 100 a 200 semillas pequeñas (Ruiz, 2014). Puede crecer hasta 0,6 a 0,9 m aproximadamente. La flor es fácilmente polinizada de forma anemófila o automática (Fries y Tapia, 2007).

Physalis peruviana L. posee compuestos biológicamente activos, como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos, fitoesteroles y carotenoides (Luchese et al., 2015).

Otra característica resaltante del aguaymanto crece en un amplio rango de altitud desde 3 300 msnm. Resiste bajas temperaturas, pero su crecimiento se ve afectado por debajo de 10 °C. La temperatura óptima es de 18 °C. Las temperaturas bajo cero afectan la floración y fructificación. Se suministra suficiente agua durante el crecimiento inicial, pero no durante la maduración de la fruta. Crece en suelos pobres, pero bien drenados y tiene pocos requerimientos de fertilización, que prospera mejor en suelos ligeramente ácidos, tolerando valores de pH entre 5,5 y 7,3 con buen contenido de materia orgánica y precipitaciones entre 1000 y 2000 mm, siendo una planta con alto potencial (Puente et al., 2011).

2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Altamirano (2010) hace referencia a la taxonomía del aguaymanto en el Perú la siguiente clasificación:

Reino	:	<i>Plantae</i>
Clase	:	<i>Angiospermae</i>
Orden	:	<i>Tubiflorae</i>
Familia	:	<i>Solanaceae</i>
Género	:	<i>Physalis</i>
Especie	:	<i>Peruviana L.</i>
Nombre científico	:	<i>Physalis peruviana L.</i>
Nombre común	:	Aguaymanto, Uvilla, Uchuva, Capulí.

2.1.2. VALOR NUTRICIONAL DEL AGUAYMANTO

El fruto de *Physalis peruviana L.*, posee propiedades nutricionales y medicinales (Galvis et al., 2005). Actualmente, se usan en confitería, jugos procesados, salsas para carnes y mariscos, almíbar y deshidratada, usándose como conservante para mermeladas y jaleas (Puente et al., 2011). Asimismo contiene agua, carbohidratos, azúcares, pectinas y almidones. Presenta un sabor entre ácido-dulce que contribuye a sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Aparcama y Villareal, 2014).

Tabla 1. Análisis proximal del fruto de aguaymanto

ANÁLISIS	(mg / 100 g en peso de fruto)
Humedad	81
Carbohidratos	13.3
Grasas	1.1
Fibra	0.5

Fuente: Campos et al. (2018)

El fruto presenta componentes bioactivos encontrándose en mayor proporción los ácidos grasos poliinsaturados, vitamina A, B, C y fitoesteroles, así como la presencia de minerales esenciales, vitaminas E y K₁, que proporcionan beneficios para la salud y reduciendo la aparición de enfermedades (Puente et al., 2011).

Tabla 2. Composición nutricional *Physalis peruviana L.*

Componentes	Cada 100 g
Calorías	54.0
Agua	79,6%
Proteína	1,10 g
Grasas	0,40 g
Carbohidratos	13,1 g
Fibra	4,80 g
Cenizas	1,00 g
Calcio	7,00 mg
Fósforo	38,0 mg
Hierro	1,20 mg
Vitamina A	1,1 mg (648 UI)
Tiamina	0,18 mg
Riboflavina	0,03 mg
Niacina	1,30 mg

Fuente: Huachuillca (2017).

Asimismo, Fisher y Miranda (2012) menciona el alto contenido de provitamina A (1,000 – 5,000 U.I., principalmente beta-caroteno) y ácido ascórbico (11 - 42 mg/100 g peso fresco), vitaminas del complejo B (tiamina, niacina y vitamina B₁₂); resalta por sus altos contenidos de proteína cruda (2,2 g), fósforo (39 mg) y hierro (1,1 mg), bajo nivel de calcio (14 mg/100 g peso fresco). Destaca por su alto contenido de “antioxidantes”, ácidos grasos poliinsaturados y fitoesteroles (Puente et al., 2011).

2.1.3. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DEL AGUAYMANTO

La mayor parte de la capacidad antioxidante de frutas y vegetales se le proporciona su contenido en vitamina E, C y carotenos, así como los diferentes fenoles, flavonoides. Así también, las enzimas aumentan la velocidad de ruptura de los radicales libre, que retardan o impiden la oxidación de los lípidos, ácidos nucleicos, o de otras moléculas (Choco, 2014).

Puente et al. (2011) mencionan que la capacidad antioxidante del aguaymanto es $192,51 \pm 30,13$ a $210,82 \pm 9,45$ $\mu\text{mol Trolox}/100$ g muestra, contenido total de fenoles $39,15 \pm 5,43 - 40,45 \pm 0,93$ mg ácido gálico/100 g de muestra; determinado en términos

de actividad del eliminador de radicales libres DPPH, la concentración de fenoles totales (método Folin Ciocalteu).

Repo y Encina (2012) mencionan el contenido de ácido ascórbico $28,55 \pm 0,10$ mg/100 g, carotenos totales $1,77 \pm 0,02$ mg de β -caroteno/100 g, compuestos fenoles $79,23 \pm 0,41$ mg ácido clorogénico/ 100 g.

Según Wang et al. (1996) mencionan que el 15 % de la actividad antioxidante total de una fruta se debe a la vitamina C. El contenido total de antioxidantes depende de la especie de la fruta, cultivo, condiciones ambientales de crecimiento, tiempo de cosecha, etapa de maduración, condiciones de almacenamiento y procesamiento. Por lo tanto, las propiedades medicinales de esta fruta están asociadas con la capacidad antioxidante de los polifenoles (Rabie et al., 2015).

2.1.4. USOS DEL AGUAYMANTO

Actualmente, existen diferentes productos procesados a partir de aguaymanto como néctares, conservas, mermeladas, yogures, helados, concentrados, en fruta fresca, jugo congelado, deshidratados e ingredientes culinarios. Propiedades medicinales: antiespasmódica, diurética, antiséptica, sedante, analgésica, ayudando a fortalecer el sistema inmunológico, alivio de problemas de amígdalas, propiedades antidiabéticas y desparasitario (Puente et al., 2011).

2.2. PAPA MORADA (*Solanum tuberosum* l. var. *Vitelotte*)

Es una variedad de papa con piel azul profundo y pulpa violeta utilizada para el consumo humano y valorado por sus características nutricionales. Actualmente, el interés por las variedades de papas nativas de color rojo y morado debido a su color, sabor exquisito y capacidad de masticabilidad cultivado en climas fríos, en altitudes que van desde los 2000 a los 4000 m.s.n.m (Bontempo et al., 2013).

Según Juli y Arias (2011) indica la clasificación taxonómica y composición proximal de la papa nativa.

Reino	:	<i>Vegetal</i>
División	:	<i>Fanerógamas</i>
Clase	:	<i>Dicotiledónea</i>
Orden	:	<i>Tubiflorales</i>
Familia	:	Solaneaceae
Género:		Solanum
Serie	:	<i>Tuberosa</i>

Tabla 3. Análisis proximal de la papa

ANÁLISIS	(g / 100 g de peso fresco)
Agua	73
Carbohidratos	20,76
Proteínas	2,43
Grasas	0,12
Fibra	0,69

Fuente: Juli y Arias (2011).

La papa es considerado como el cuarto cultivo alimenticio más importante del mundo después del arroz, trigo y el maíz (Zhang et al., 2017), contienen antioxidantes, fenoles, antocianinas (compuestos hidrosolubles responsables de los colores azules, púrpura y rojo como en frutas y vegetales). Los componentes de la papa son controlados en su mayoría por los genes. Los factores que influyen sobre los nutrientes son la edad, madurez de los tubérculos, clima, suelo y prácticas agronómicas (Juli y Arias, 2011).

2.2.1. COMPUESTOS NUTRICIONALES

Las papas (*Solanum tuberosum* L.) proporcionan una fuente de energía alimentaria diaria de 41 a 130 kcal por persona (Ezekiel, Singh, Sharma y Kaur, 2013). Las papas son fuente de carbohidratos, proteínas, vitaminas (B₆, B₃, C), minerales (potasio, fósforo y magnesio) y son ricas en antioxidantes (Andre et al., 2007).

Los tubérculos contienen una variedad compleja de otras moléculas pequeñas, muchas de las cuales son fitonutrientes. Estos incluyen polifenoles, flavonoles, antocianinas, ácidos fenólicos, carotenoides, poliaminas, glicoalcaloides, tocoferoles, calisteginas y sesquiterpenos (Navarre et al., 2009).

El valor nutritivo se ve afectado durante la cocción, por su contenido de vitamina C y tiamina, los cuales son solubles en agua y susceptibles de lixiviarse cuando los tubérculos se cuecen en agua hirviendo (Hampson, 1976).

• **Agua.** Las papas contienen aproximadamente un 80 % de agua y un 20 % de sólidos, estos pueden variar según la variedad. De los 20 gramos de sólidos en un tubérculo de 100 gramos, aproximadamente 18 gramos son carbohidratos y 2 gramos de proteína (Navarre et al., 2009). La diferencia en la composición de nutrientes están relacionadas en el contenido de agua (Burlingame, 2009).

• **Carbohidratos.** La papa es una buena fuente de carbohidratos, siendo los compuestos más abundantes en la naturaleza, encontrándose entre valores de 21,57 a 27,23 % en muestra fresca (Juli y Arias, 2011). El almidón es el carbohidrato predominante en una proporción de 1:3 en las papas, constituido por un 20 % - 25 % de amilosa (Alam y Aslam, 2020).

• **Proteína.** La papa contiene una pequeña cantidad de proteína (menos del 6 %), el valor biológico de la proteína de la papa es el mejor entre las fuentes vegetales, rico en aminoácidos esenciales, como la lisina y otros metabolitos, complementa las dietas a base de cereales. También contiene ácido pantoténico, ácido fólico y riboflavina (Días, 2012).

• **Lípidos y fibra dietética.** Los lípidos representan un bajo contenido (0,1 % - 0,2 %) del peso de la papa (Alam y Aslam, 2020). La fibra dietética es suministrada por las paredes celulares, especialmente las paredes celulares engrosadas del peridermo (cáscara), que constituye el 1 – 2 % del tubérculo (Camire et al., 2009).

• **Minerales.** Los minerales presentes en mayores concentraciones en la papa cruda en peso fresco son: potasio 564 mg/g, fósforo 30 – 60 mg/g, calcio 6 – 18 mg/g. El porcentaje de la cantidad diaria recomendada (CDR) para estos minerales es 22, 6 y 6, respectivamente. Asimismo, la piel de la papa es una buena fuente dietética de potasio (Camire et al., 2009).

• **Vitaminas.** La vitamina C (ácido ascórbico) predomina en las papas, importante para la disponibilidad de hierro, un mineral que tiende a ser limitante en la dieta humana; cuyo contenido varía entre 84 y 145 mg por 100 g de peso seco según el cultivo. Asumiendo que las papas contienen 80 % de agua, se obtiene un rango de 13 a 30,8 mg de vitamina C por 100 gramos de peso fresco (Navarrete et al., 2009). Las papas son una buena fuente dietética de piridoxina (vitamina B₆) y vitaminas B (ácido fólico, niacina, piridoxina, riboflavina y tiamina) (Camire et al., 2009).

2.2.2. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES

Una de las fuentes más ricas en antioxidantes en el consumo humano es *Solanum tuberosum L.*, siendo sus principales antioxidantes los polifenoles, el ácido ascórbico, carotenoides, tocoferoles, ácido α -lipoico y el selenio. Los flavonoides son antioxidantes tienen la capacidad para eliminar los radicales libres de ácidos grasos y oxígeno. El compuesto polifenólico en la papa es el aminoácido tirosina (770 – 3,900 mg/kg), seguido del ácido cafeico (280 mg/kg), escopolina (98 mg/kg), ácido clorogénico (22 - 71 mg/kg), ácido ferúlico (28 mg/kg) y ácido criptoclorogénico (11 mg/kg). Siendo así que la capacidad antioxidante de las papas rojas o azules es 2 - 3 veces mayor en comparación con las papas con pulpa blanca/amarilla, contribuyendo a la porción de antioxidantes en la nutrición humana (Lachman et al., 2009).

Los genotipos pigmentados con piel de pulpa roja y morada contienen ácido clorogénico, ácido gálico, catequina, ácido cafeico y malvidin-3- (p-coumaril rutinósido) -5- galactósido, estimando que el ácido clorogénico contribuye de 28 al 45 % de actividad antioxidante. Por lo que contenido de ácido fenólico total contribuye a valores más altos de actividad antioxidante en papas rojas y moradas (Im et al., 2008).

2.2.3. ANTOCIANINAS EN PAPA

Las antocianinas son pigmentos vacuolares, solubles en agua, responsables de los colores púrpura, violeta, azul, rojo y rosa en tallos, hojas, flores, frutos y raíces. El color en la papa (*Solanum spp*) origina de dos clases principales de pigmentos, los carotenoides y las antocianinas (Lewis et al., 1998).

Las antocianinas son el grupo principal de pigmentos y los tubérculos muestran una gama de colores desde blanco a violeta oscuro. Seis antocianidinas se distribuyen ampliamente en las plantas: pelargonidina (Pg), cianidina (Cy), delphinidina (Dp), peonidina (Pn), petunidina (Pt) y malvidina (Mv) y todas ellas se han encontrado en especies de *Solanum* (Harborne, 1960).

El color de las antocianinas en la planta está determinado por el número y la posición de los grupos hidroxilo y metoxilo en el anillo B (es decir, la identidad de la aglicona), la naturaleza, el número y la posición de los azúcares unidos a la aglicona, la naturaleza y el número de los ácidos alifáticos o aromáticos unidos al azúcar, y el medio fisicoquímico en el que están presentes (Lewis et al., 1998).

Howard et al. (1970) encontraron que las antocianidinas se producían de forma individual en los cultivares de *S. tuberosum* pigmentados de color rosa y púrpura, asimismo las mezclas de antocianidinas eran comunes en los cultivares de papa diploide.

Según Harborne (1960), describió el aislamiento y caracterización de diez antocianinas de especies de papa diploide y tetraploide. Dependiendo del color, los derivados de p-cumaroil-3-rutinósido-5-glucósido (-3-pC-rut-5 glu) de las seis antocianinas comunes, más los derivados de 3-rutinósido (3-rutina) de pelargonidina, cianidina, se encontraron papa diploide y tetraploide. Posteriormente, los derivados -3-pC-rut-5-glu de las seis antocianinas comunes se han encontrado en forma acilada en muchos miembros de las solanáceas (por ejemplo, patata, tomate, petunia, berenjena).

Lewis et al. (1999) reportó el contenido de antocianinas en papa fue de 0 – 2000 µg/g en peso fresco, y las principales antocianinas en los tubérculos fueron:
 Urenika (violeta oscuro): (Pt-3- (pC-rutina) -5-glu (anth-1) y Mv-3- (pC-rutina) -5-glu (anth-2)
 Arran Victory (violeta medio): Pt-3- (pC-rutina) -5-glu (ant-4).

2.3. EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso que convierte la materia prima en un producto en la forma deseada al forzar el material a través de una pequeña abertura mediante presión. Implica una serie de operaciones unitarias como mezclar, amasar, cortar, calentar, enfriar y dar formar. Los productos extruidos se elaboran por cocción por extrusión, que convierten los ingredientes crudos en productos como hojuelas para el desayuno, pastas, pellets para mascotas, bocadillos y alimentos cárnicos (Singh y Heldman, 2014).

2.3.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA EXTRUSIÓN

El proceso de extrusión es una combinación operaciones de transporte, circulación de materiales hacia dentro del sistema, la transferencia de masa del material durante la extrusión. Todos los ingredientes involucrados en el proceso de extrusión fluyen a través de un barril con una forma definida de altas temperaturas y corto tiempo (Singh y Heldman, 2014).

En el proceso de cocción por extrusión los más populares en la industria alimentaria son los extrusores de tornillo, que consiste en un barril fijo que encierra herméticamente un tornillo de Arquímedes giratorio con una abertura, llamada matriz, en la descarga. Las materias primas mezcladas y acondicionadas se alimentan a través de una tolva para ser transportadas al interior del barril fijo hasta el extremo de descarga mediante los tornillos giratorios. El diseño y la forma del extruido son impartidos por la matriz cuando el

producto sale de la extrusora. La extrusión de materias primas menos complejas a pequeña escala se requiere de un solo tornillo, caso contrario se recomiendan extrusoras de doble tornillo (Alam y Aslam, 2020).

2.3.2. SISTEMA DE EXTRUSIÓN

Según Singh y Heldman (2014) mencionan dos métodos de operación: Extrusión en frío o cocción por extrusión y dos diferentes configuraciones de barril (Tornillo simple o doble). Ambas configuraciones de barril se pueden utilizar para cualquier método de operación.

2.3.2.1. PROCESO DE EXTRUSIÓN EN FRÍO

Se utiliza para mezclar, amasar, dispersar, texturizar, disolver y formar un producto alimenticio o ingrediente de producto. Tales como dulces individuales, trozos de pasta, salchichas y alimentos para mascotas seleccionados (Singh y Heldman, 2014).

2.3.2.2. EXTRUSIÓN POR COCCIÓN

Se denomina extrusión por cocción cuando se incluye una fuente externa una energía térmica o mecánica como resultado de la fricción en las superficies internas por el contacto con las mezclas o ingredientes para elaborar el extruido (Singh y Heldman, 2014).

2.3.2.3. EXTRUSORA DE UN SOLO TORNILLO

Moya (2016), indica que los equipos de extrusión constan de un cilindro que aloja en su interior un tornillo que transporta y mezcla el material mediante giros mecánicos comprimiendo a lo largo del barril hasta la boquilla de salida.

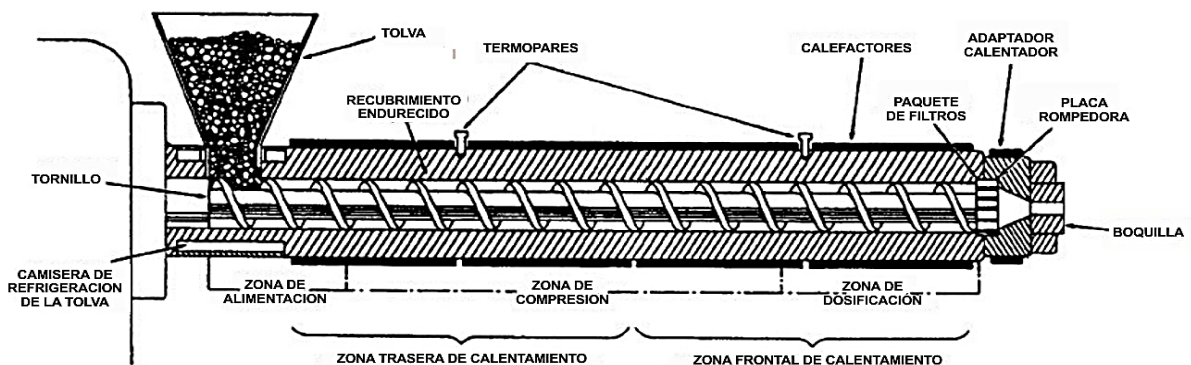


Figura 1. Extrusor de tornillo simple

Los componentes de la extrusora son los siguientes:

- **Tornillo de extrusión.** El tornillo de un extrusor tiene uno o dos “hilos” en espiral a lo largo de su eje de anchura constante. El diámetro medido hasta la parte externa del hilo, con una distancia entre ellas apenas suficiente para dejarlo rotar.

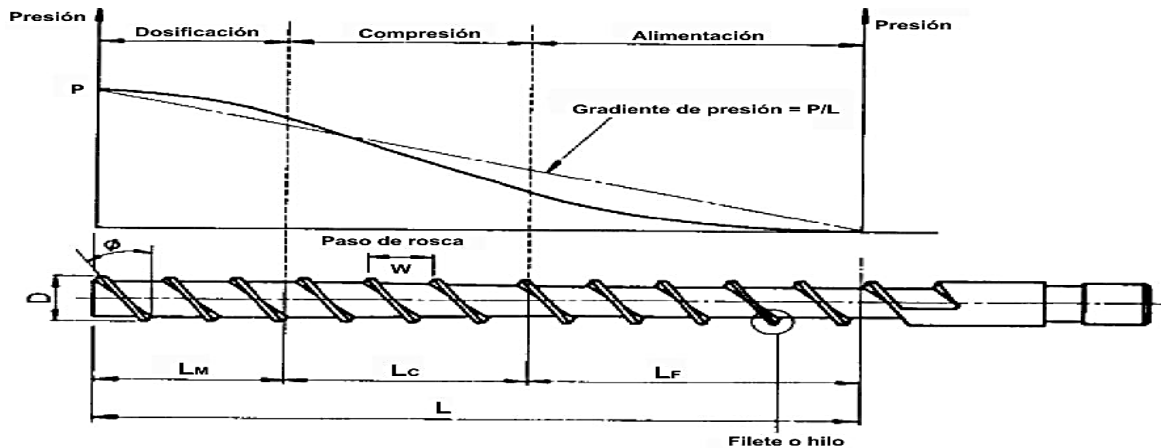


Figura 2. Tornillo de extrusión y zonas

Según Moya (2016), existen tres zonas que cumplen tres funciones principales: alimentación, compresión y dosificación. Las funciones de cada una de las zonas:

Zona de alimentación. Ocurre el precalentamiento y transporte (suministra) la mezcla hacia el tornillo.

Zona de compresión. Se logra la fricción y conducción de calor.

Zona de dosificación o medición. Ocurre la homogenización del material fundido (mezcla distributiva) a temperatura y presión constante.

- **Cilindro de calentamiento.** El cilindro de calefacción presenta en su interior un tornillo (Figura 3). La superficie debe ser áspera para incrementar la fuerza de cizalla y permita la circulación del material a lo largo del extrusor. La energía térmica se ubican en la longitud del cilindro en forma de resistencias eléctricas (Figura 3), controlando cada zona de calefacción desde la temperatura de la tova hasta la boquilla (Moya, 2016).

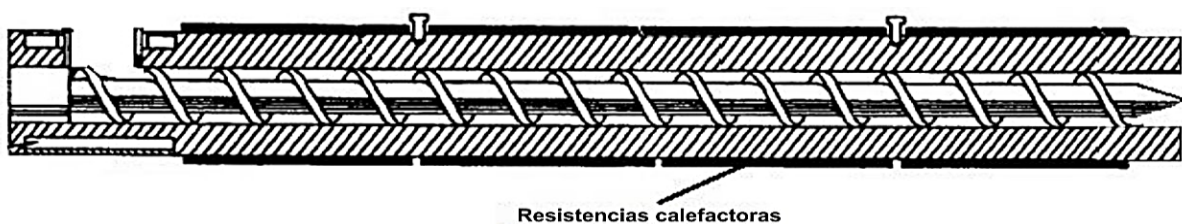


Figura 3. Cilindro de calentamiento

El cilindro debe enfriarse por calor originada al someter la materia prima por cizalla la cual supera la temperatura nominal del proceso (Moya, 2016).

- **Garganta de alimentación.** Presenta una camisa de refrigeración que mantiene la temperatura baja evitando que las partículas no se adhieran a las paredes internas del equipo.

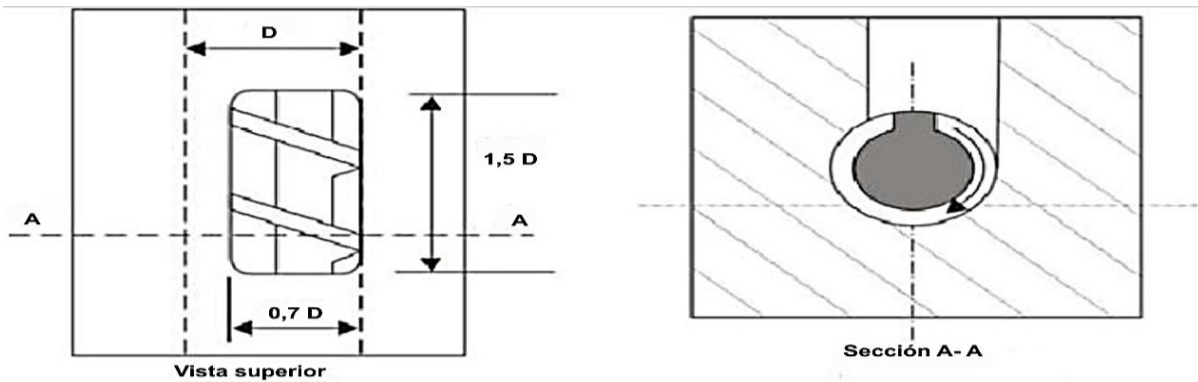


Figura 4. Garganta de alimentación

- **Tolva.** Es el contenedor donde almacena la materia prima o mezcla para introducirlo en el equipo, el cual proporcionan una circulación constante del material (Figura 5) (Moya, 2016).

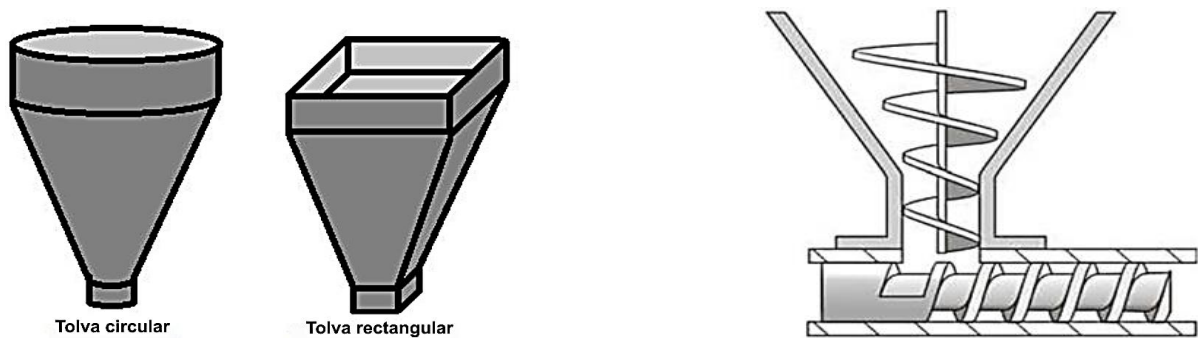


Figura 5. Tipos de tolva y tornillo de alimentación

- **Cabezal y boquilla.** Otorga la forma deseada del alimento extruido o un moldeado al final del proceso. En algunos casos, se hace uso de plato o plantilla que definirá la forma (Moya, 2016).

2.3.3. EFECTO DE EXTRUSIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Esta tecnología es un proceso a temperatura altas y corto tiempo en que la materia prima se plastifican y cocinan mediante la combinación de temperatura, presión y cizallamiento mecánico, resultando una transformación molecular y reacciones químicas que modifican las propiedades funcionales de los alimentos y podrían afectar sus nutrientes y fitoquímicos (Morales et al., 2015).

2.3.3.1. TRANSFORMACIÓN DEL ALMIDÓN

La extrusión es la responsable de la transformación del almidón sobre las propiedades fisicoquímicas (índice de absorción de agua, índice de solubilidad del agua, grado de expansión, densidad y textura) del alimento extruido, debido a la exposición a altas temperaturas y a la fuerza de cizalla del producto dentro del barril (Peksa et al., 2016) o al contenido de polisacáridos solubles liberados de las cadenas del polímero de almidón, ya que el número de grupos hidroxilo forman enlaces de hidrógeno con el agua, el cual depende el grado de gelatinización, y esto incide en la disminución o aumento del índice de absorción de agua, ya que los contenidos de humedad más altos (superiores al 18 %) ayudan a que los polisacáridos se disuelvan fácilmente en la matriz del alimento (Seth, 2013).

2.3.3.2. COMPUESTOS FENÓLICOS (ÁCIDOS FENÓLICOS)

Los polifenoles son un grupo complejo de sustancias que pueden encontrarse libres, unidas a proteínas o ligadas covalentemente a fracciones de fibras insolubles, comúnmente conocidas como polifenoles no extraíbles. Solo pueden absorberse después de ser liberados de las estructuras celulares por enzimas digestivas o microorganismos del tracto intestinal. En este sentido, su bioaccesibilidad está condicionada a la matriz alimentaria, método de extracción, después del uso de tecnologías (como extrusión) o fermentación (mediante fermentación de fibra intestinal) (Morales et al., 2015).

El tratamiento térmico, humedad, la cocción por extrusión pueden influir en el contenido de polifenoles en los productos alimenticios (Nayak, 2011), las altas temperatura ocasionan la descomposición de compuestos fenólicos termolábiles y conducen a la polimerización de fenoles a alta presión en cocción por extrusión (Wang, 2014).

2.3.3.3. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El proceso de extrusión a alta temperatura y corto tiempo, permite la menor destrucción de componentes sensibles al calor, (Camacho et al., 2014); afectando las

características físicas y composición química de los alimentos; los cuales pueden aumentar o disminuir el contenido fenólico y actividad antioxidante en alimentos procesados (Burgos et al., 2013).

El aumento en la actividad antioxidante también podría ser el resultado de la presencia de productos de reacción de Maillard, durante la extrusión y la fritura de masa que contiene sustratos necesarios, como la reducción de azúcares y aminoácidos (Nems et al., 2015); y pérdidas de ácido ascórbico y antocianinas (Burgos et al., 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se desarrolló en los ambientes de experimentación de la Facultad de Industrias Alimentarias: Laboratorio de Ingeniería de Alimentos, Laboratorio de procesamiento de Frutas y Hortalizas, y en el ambiente del HPLC de la “Universidad Nacional Agraria de la Selva” de Tingo María. La procedencia de las materias primas fueron de dos Centros poblados de la ciudad de Huánuco, el Aguaymanto se obtuvo de Acomayo, distrito de Chinchao, provincia y región Huánuco, Latitud Sur 9° 48' 5.9", longitud Oeste de 76° 4' 13.8" de altitud a 2213 m.s.n.m., la papa negra morada de Tambogan a 3600 m.s.n.m., distrito de Churubamba - Huánuco.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales, reactivos y equipos: Se utilizó materiales de vidrio como: tubos cónicos, micro tubos, fioles de 10, 25 y 50 mL, vasos precipitados 10, 25 y 100 mL de Erlenmeyers de 125, 250 y 500 mL, papel de filtro Wathman N° 42, vasos de precipitados de 50, 100 y 1000 mL, y micro pipetas de 20 - 200 μ L, 100 - 1000 μ L, desecadores de vidrio, crisoles, etc. Ácido clorhídrico al 37 % (Sigma - Aldrich), agua destilada, 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH - Calbiochem), ABTS, acetato de sodio, cloruro de potasio (KCl - Scharlau), DPPH, Ac. Gálico (EMURE®, Merck), etanol 96°, metanol al 99.9 % (Sigma - Aldrich), (ácido per sulfato de potasio ($K_2S_2O_8$ - EMURE®, Merck), hidróxido de sodio (NaOH - EMURE®, Merck), Tartrato de sodio y potasio tetrahidrato ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ - Riedel de Haen), (\pm)-6 - Hydroxy -2,5,7,8 -tetramethylchromane - 2 - carboxylic acid (Trolox), Reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich), hidróxido de aluminio (AlOH) - EMURE®, Merck), catequina, etc, Espectrofotómetro UV VISIBLE Genesys 10, balanza analítica (OHAUS® mod. Adventurer), centrífuga (Boeco®, mod. C28A) (1mg de precisión), pH-metro digital (Handylab 11), micro centrifuga refrigerada, baño maría con agitación (GFL®, mod. 1083), analizador de humedad (ADAM- mod. PMB 53), balanza gramera (RADWAO), extrusor prefabricados de un solo tornillo, refrigeradora, concentrador a vacío, marmitas, congelador, microondas (OSTER), molino de martillo, secadoras, estufas, cocinas eléctricas, selladoras a vacío y otros que mencione la metodología.

3.3. Metodología

Durante el desarrollo de la investigación se consideró el esquema experimental (Figura 6). Se obtuvo la harina de papa morada y concentrado de aguaymanto, se hizo la formulación y se elaboró el alimento extruido, posteriormente se realizó los análisis respectivos.

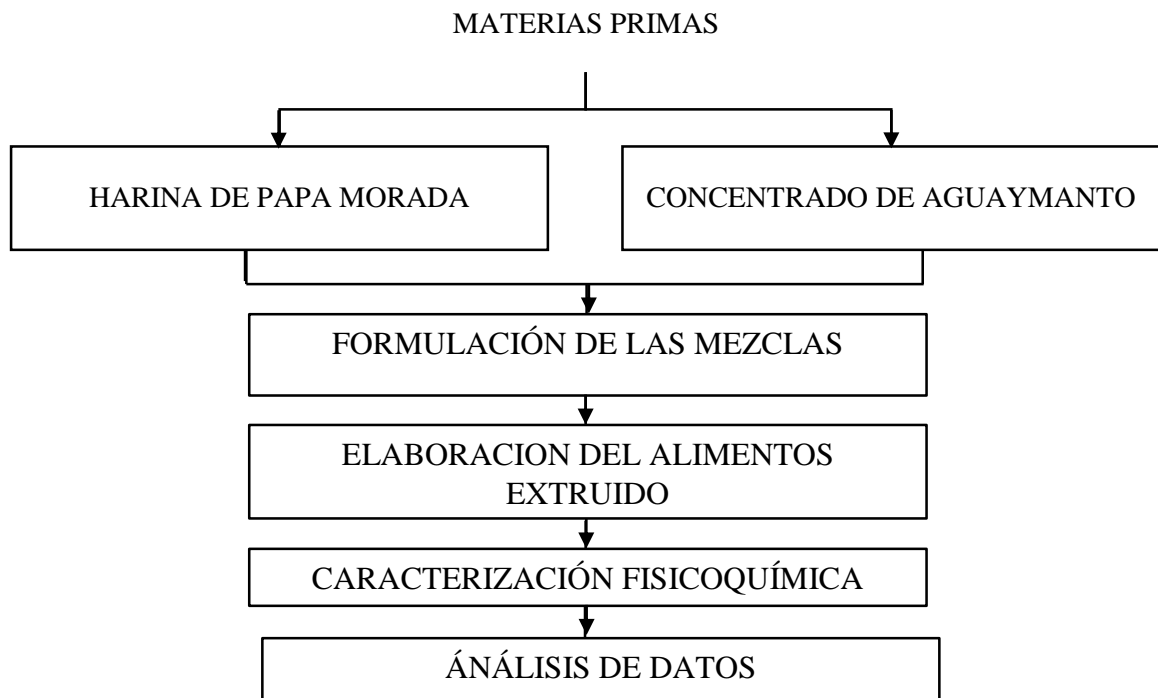


Figura 6. Esquema de la conducción experimental.

3.3.1. Formulación y elaboración de un alimento extruido empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto.

Obtención del concentrado al vacío de zumo de aguaymanto

Recepción. Los frutos de aguaymanto maduros se cosecharon manualmente.

Selección. Se realizó la separación de los frutos dañados.

Lavado y desinfección. Los frutos fueron lavados y sumergidos en agua potable con hipoclorito de sodio a 0.1ml/L durante 5 minutos.

Escaldado. Se realizó a 85 °C durante 15 segundos, para ablandar la fruta y facilitar el pulpeado.

Pulpeado. Se extrajo el zumo en la pulpeadora, con un tamiz de 1 mm de luz.

Concentrado. Se concentró el zumo a una temperatura de 50 °C por 45 minutos.

Envasado. La pulpa concentrada fue envasada al vacío en bolsas de polietileno.

Almacenado. Se cubrió las bolsas con papel metálico para proteger de la luz y se almacenó a temperatura de congelación de -15 a -10 °C, para conservar la vitamina C.

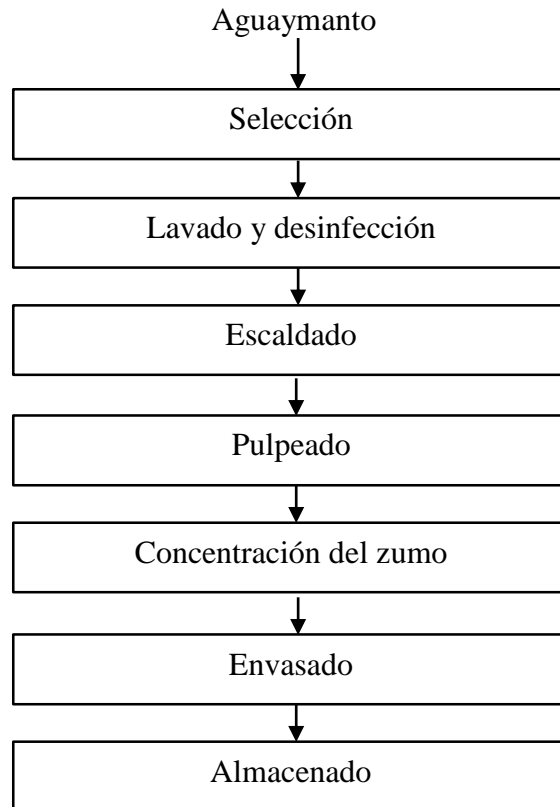


Figura 7. Flujograma del concentrado a vacío de aguaymanto.

Obtención de harina de papa morada

Según Sibina et al. (2001), la elaboración de la harina propiamente dicha se presenta a continuación:

Recepción de materia prima. Los tubérculos se cosecharon manualmente.

Clasificación. Se realizó la separación de los tubérculos dañados clasificándolos en tamaño de 10 cm.

Lavado y desinfectado. Los tubérculos fueron lavados, desinfectados por inmersión en hipoclorito de sodio a 0.1ml/L durante 5 minutos.

Escaldado. Se sometió a temperatura de 85 °C por 10 minutos.

Cortado. Se hizo rodajas de 3 mm de espesor.

Secado. Las rodajas de papa fueron secados la estufa a 50 °C por 24 horas. El material seco se almacenó en bolsas de polietileno, hasta su posterior uso.

Molienda: Las hojuelas secas fueron trituradas en un molino de martillos.

Almacenado. Se almacenó en oscuridad a temperatura ambiente.

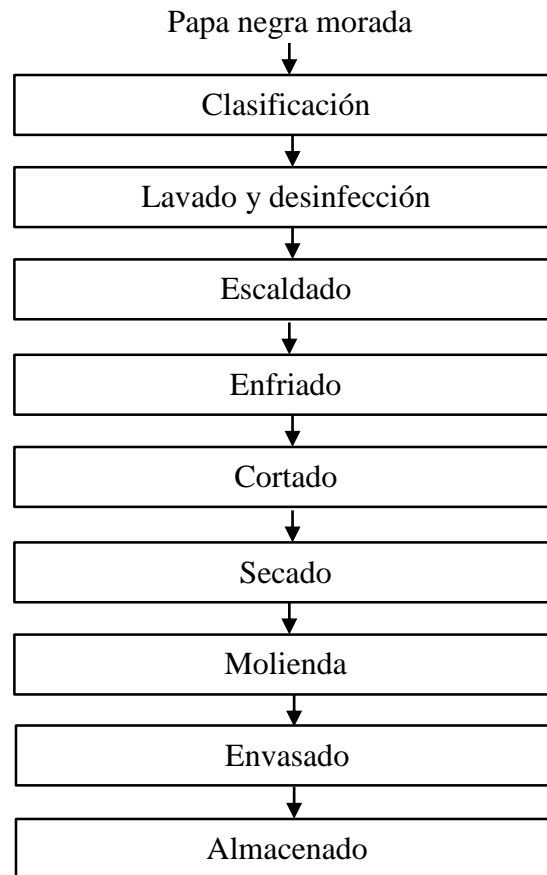


Figura 8. Flujograma de obtención de harina de papa morada

3.3.2. Elaboración del alimento extruido a base de harina de papa morada y concentrado de aguaymanto.

Pérez (2019), menciona la elaboración de los alimentos extruidos se presentan a continuación:

Pesado: Las harinas de papa negra morada y concentrado de aguaymanto se pesaron de acuerdo a los porcentajes de las formulaciones.

Humectado - Mezclado: Se determinó la cantidad de agua a adicionar en la formulación mediante el cálculo de balance de masa, teniendo en cuenta la humedad de las muestras. La hidratación de las muestras se utilizó un recipiente de aluminio agregando agua y

la mezcla de harina con el concentrado, homogenizando con un cuchara. Las mezclas se envasaron en bolsas de polietileno.

Extrusión: Las 9 formulaciones se realizaron en un extrusor prefabricado de un solo tornillo, a una velocidad de 150 RPM a una temperatura de 180 °C (a lo largo de las secciones del extrusor).

Laminado. Los extruidos se laminaron en un rodillo para pastas de fideo a 3 mm de espesor, para luego ser cortados a 3 cm.

Horneado. Una vez cortados los extruidos se horneó en un horno microondas durante 1 minuto a 60 °C.

Oreado. Los alimentos extruidos se colocaron en bandejas de aluminio para regular la temperatura y posteriormente envasarlo.

Envasado: Los alimentos extruidos se envasaron en bolsas de aluminio.

Almacenamiento: Se almacenaron a temperatura ambiente.

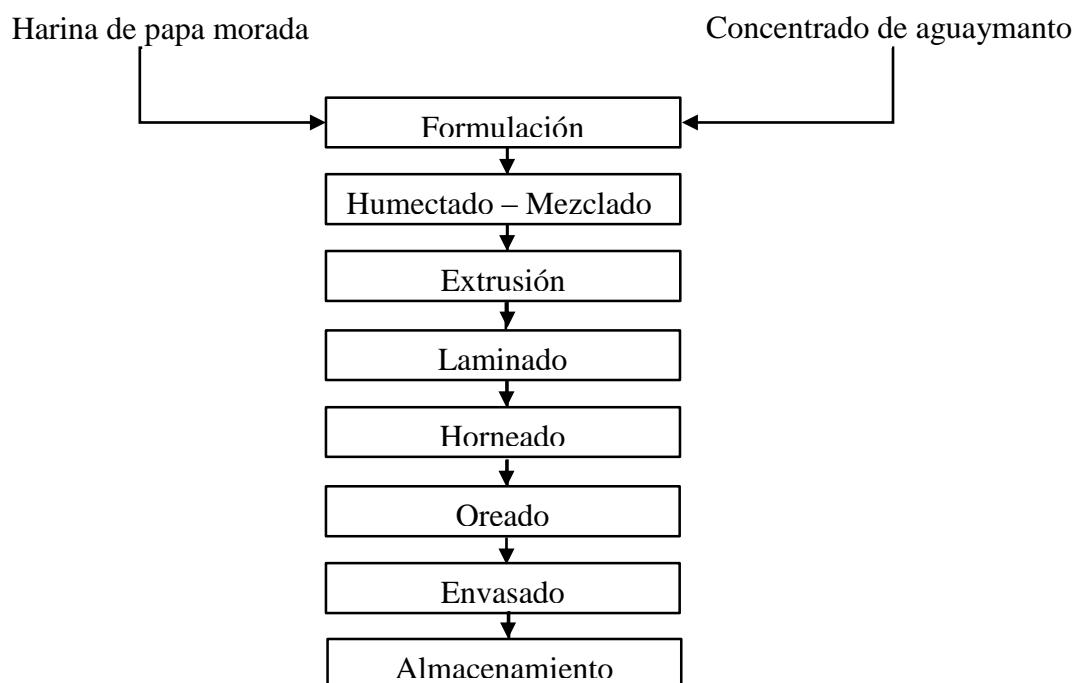


Figura 9. Flujograma de elaboración del alimento extruido

3.3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Se realizaron los siguientes análisis: Se determinó la humedad en termobalanza infrarroja a 105 °C por 5 minutos (AOAC, 2005), en la materia prima y en los extruidos, fenoles totales, contenido total de antocianinas, actividad antioxidante como 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y ácido 2,2'-azino- bis (3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS).

Extracción de las muestras, se utilizó el método descrito por (Eichhorn & Winterhalter, 2005).

Índice de expansión, Se determinó utilizando la relación entre el espesor del extruido laminado luego del moldeado y la separación entre los rodillos. Se utilizó un calibrador digital marca (Revelo, 2010).

Cuantificación de fenoles totales, método de Folin– Ciocalteau (Singleton y Rossi, 1965).

Cuantificación de antocianinas monoméricas totales, técnica de Rapisarda et al. (2000).

Actividad antioxidante (ABTS Y DPPH): se evaluará la actividad antioxidante frente al radical 2,2-diphenyl-1-picrilhydrayl (DPPH), mediante el método reportado por Brand-Williams et al. (1995).

3.3.4. FORMULACIÓN DEL ALIMENTO EXTRUIDO.

Evaluar el efecto de la harina de papa morada y concentrado de aguaymanto (variables independientes) sobre las características antioxidantes, antocianinas, fenoles totales e índice de expansión (variables dependientes) de los alimentos extruidos, se aplicó el método de diseño de mezclas con restricciones usando STATISTICA® versión 7,0.

Se estableció las restricciones máximas y mínimas de los componentes mediante pruebas preliminares (Tabla 4).

Tabla 4. Restricciones de los componentes del alimento extruido

Restricciones	Bajo	Alto
Papa	50 %	90 %
Aguaymanto	2 %	19 %
Humedad	25 %	30 %

Considerando las restricciones en los 3 componentes, se utilizó el software STATISTICA® versión 7,0; con el cual se obtuvo los puntos experimentales conformado por 9 formulaciones (Tabla 5).

Tabla 5. Formulaciones en base a las restricciones establecidas.

Formulaciones	HP (%)	C.A (%)	Humedad (%)
1V	73	2	25
2 V	56	19	25
3 V	68	2	30
4 V	51	19	30
5 C (1)	70	2	27,5
6 C (1)	53,5	19	27,5
7 C (1)	64,5	10	25
8 C (1)	59,5	10,5	30
9 C (2)	62	10,5	27,5

HP: Harina de papa morada, C.A: Concentrado de aguaymanto

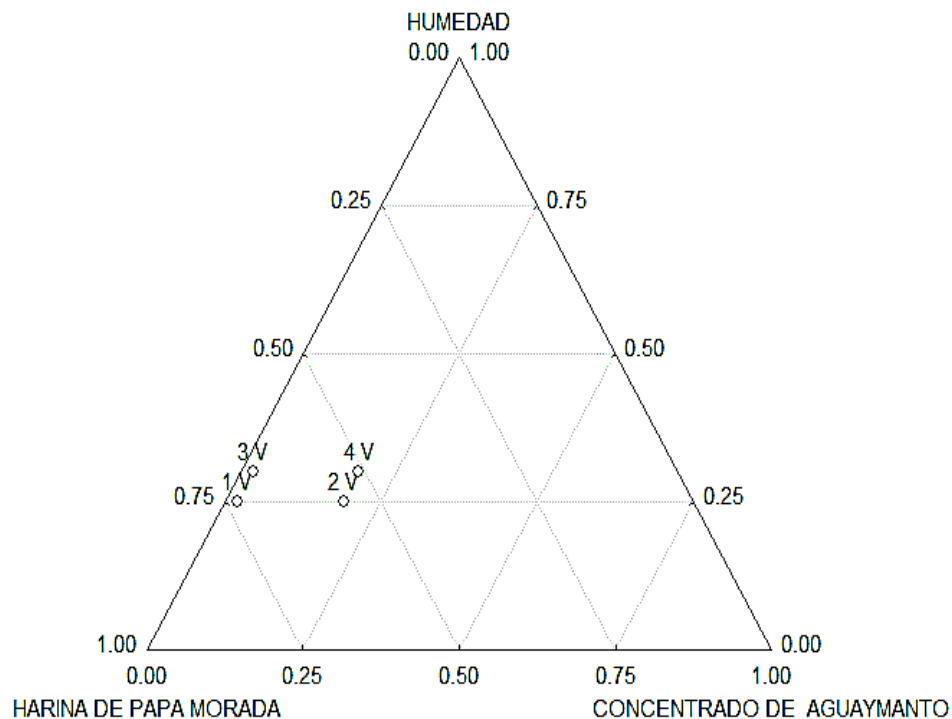


Figura 10. Gráfica del diseño de mezclas con restricciones sobre harina de papa morada, concentrado de aguaymanto, humedad.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron evaluados por el Diseño de mezclas, mediante el test p (grado de significancia estadística). Asimismo, se realizó el análisis de varianza del modelo (ANOVA). A partir de la ecuación de regresión se obtuvo el grafico tridimensional de superficie respuesta y grafico de contorno para cada análisis.

Tabla 6. Diseño experimental

Formulación	Repetición	Variables respuestas				
		Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var n
F ₁	1					
	2					
	3					
F ₂	1					
	2					
	3					
F ₃	1					
	2					
	3					
F _n	1					
	2					
	3					

Tabla 7. Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de Variación (F.V)	Grados de libertad	Suma de Cuadrados (S.C)	Cuadrados Medios (C.M)	F ₀
Tratamiento	t-1	$\sum_{i=1}^t n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$	$\frac{S.C. TRAT}{t-1}$	$\frac{C.M. TRAT}{C.M. ERROR}$
Error	$\sum_{i=1}^t n_i - t$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_j} n_i (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y})^2$	$\frac{S.C. ERROR}{\sum_{i=1}^t n_i - t} = \sigma^2$	
Total	$\sum_{i=1}^t n_i - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_j} (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y})^2$		

Modelo que se pueden ajustar al proceso:

Lineal:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

Cuadrático:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3$$

Cubico especial:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3$$

Cubico

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) \\ + \beta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \beta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)$$

Donde:

Y= Variable respuesta

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Coeficientes de la ecuación

x_1, x_2, x_3 = Componentes de las formulaciones

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE PAPA MORADA Y EL CONCENTRADO DE JUGO DE AGUAYMANTO

El contenido de humedad del concentrado de aguaymanto fue superior al de harina de papa morada de $51,77 \pm 0,499$ y $10,15 \pm 0,191$ por ciento respectivamente (Tabla 8), el fruto contiene de 75 a 95 % de agua, al ser expuesto a un proceso de concentrado se elimina el 50 % de agua, combinándose con agua u orujos de la pulpa otorgando consistencia, color y sustancias aromáticas (Codex Alimentario, 2005). Osorio et al. (2014), indica el contenido de humedad de $10,92 \pm 1,11$ en harina de papa.



Figura 10. Concentrado de aguaymanto harina de papa morada

Tabla 8. Humedad, Rendimiento y características sensoriales de la harina de papa morada y concentrado de aguaymanto.

Componentes	Humedad	Rendimiento (%)	Color	Consistencia
Harina de papa morada	$10,15 \pm 0.19$	45 %	Violeta clara	Granulada
Concentrado de aguaymanto	$51,77 \pm 0,50$	25,08 %	anaranjado oscuro	Pastosa

Los valores representan el promedio \pm desviación estándar (n=3)

4.2. ANÁLISIS DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, FENOLES TOTALES Y ANTOCIANINAS TOTALES DE HARINA DE PAPA MORADA Y CONCENTRADO DE AGUAYMANTO

Se muestran los resultados de los análisis de actividad antioxidante (ABTS, DPPH) (Tabla 9), fenoles y antocianinas totales.

Tabla 9. Análisis de la actividad antioxidante (DPPH Y ABTS), fenoles y antocianinas totales.

Análisis	Concentrado de aguaymanto	Harina de papa morada
Antocianinas	0,000 ± 0,0002 mg cianidina – 3. glucósido/g	311,128 ± 20,046 mg cianidina – 3. glucósido/100 g
Fenoles totales	0,210 ± 0,038 mg EAG/100g	2,504 ± 0,361 mg EAG/100g
Actividad antioxidante (DPPH)	182,037 ± 7,673 mMol TE/100g	283,411 ± 8,267 mMol TE/100g
Actividad antioxidante (ABTS)	93,483 ± 9,206 mMol TE/100g	53,232 ± 3,251 mMol TE /100g

Los valoresl promedio ± desviación estándar (n=3).

Los valores obtenidos del concentrado de aguaymanto y harina de papa morada varían con respecto al lugar de procedencia, tecnología de procesamiento, parámetros (temperatura, presión, etc.).

Ponce y Rodriquez (2014) menciona que hay una disminución de los compuestos fenólicos entre 4,54 a 5,05 (mg equiv ácido gálico/100 g) desde 50 a 60 °C. Asimismo, reportó $2,70 \pm 0,0294$ $\mu\text{mol TE/ g}$ muestra en capacidad antioxidante, en su estudio de compuestos fenólicos a diferentes temperaturas de secado en aguaymanto.

Barragán y Aro (2017), reportó disminución severa en contenido de antocianinas totales de 19,35 a 1,31 mg de cianidina 3 – glucósido /100 g, fenoles totales de 87,92 a 12,19 mg ácido gálico/100 g, actividad antioxidante ABTS de 2013,2 equiv. Trolox $\mu\text{g/g}$, en el proceso de cocción en papa morada.

Moscoso (2014), reportó una disminución del 76,65 % - 84,35 % de la capacidad antioxidante en la elaboración de puré deshidratado a partir de clones de papa nativa, obteniendo valores de 286,47 y 714,06 $\mu\text{g equiv Trolox/g}$ muestra b.s, fenoles totales fue 5821,2

- 6040,41 mg EAG/100 g de muestra b.s y antocianinas totales 122,75 - 605,24 mg de cianidina 3 – glucósido /100 g muestra b.s.

Camacho-Hernández et al. (2014) en su estudio la harina de maíz azul presentó un contenido total de antocianinas de 374 ± 9.60 mg / kg b.s, para la elaboración de alimentos extruidos.

Málaga et al. (2013), evaluó el contenido de fenoles totales en puré de aguaymanto y capacidad antioxidante, lo valores fueron $179,22 \pm 11,94$ mg AGE/ 100 g b.s. y $13,62 \pm 0,75$ umol equiv Trolox/ g b.s, respectivamente.

4.3. EVALUACIÓN ANTOCIANINAS TOTALES, FENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (ABTS Y DPPH)

Los modelos estadísticos se ajustaron bajo los criterios de p valor y los coeficientes de determinación para antocianinas totales, fenoles totales y actividad antioxidante (DPPH y ABTS).

4.3.1. CONTENIDO TOTAL DE ANTOCIANINAS

Tabla 10. Valores del contenido total de antocianinas de las formulaciones en estudio de los alimento extruidos

Formulación	x_1	x_2	x_3	Y
	Harina de papa morada (HP) (%)	Concentrado de aguaymanto (CA) (%)	Humedad ((%)	CTA (mg/100g)
F ₁	73	2	25	$61,58 \pm 0,51$
F ₂	56	19	25	$57,682 \pm 1,35$
F ₃	68	2	30	$73,049 \pm 1,84$
F ₄	51	19	30	$57,682 \pm 1,65$
F ₅	70	2	27,5	$74,386 \pm 1,07$
F ₆	53,5	19	27,5	$44,765 \pm 1,53$
F ₇	64,5	10	25	$66,479 \pm 4,64$
F ₈	59,5	10,5	30	$66,813 \pm 4,11$
F ₉	62	10,5	27,5	$74,72 \pm 3,80$

CTA: Contenido total de antocianinas (mg cianidina – 3. glucósido/100 g

Los promedios obtenidos en medición del contenido de antocianinas totales en 9 formulaciones de los alimentos extruidos, se sometieron al análisis de regresión múltiple, del cual se obtuvo el siguiente modelo cuadrático:

$$\hat{y} = 65.227 x_1 + 37.974 x_2 + 103.500 x_3 + 54.253x_1x_2 \quad (1)$$

Donde

\hat{y} : Contenido total de antocianinas

x_1, x_2 y x_3 : Harina de papa, concentrado de aguaymanto y humedad.

Tabla 11. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo cuadrático	575,40	3	191,80	4,82	0,06
Error total	198,86	5	39,77		
Total (corr.)	774,26	8			
R² =0,743			R²(ajus)=0,589		

El p valor (0.06) es mayor a 0,05 (Tabla 11) no es significativo. Por el cual, se elige el modelo adecuado bajo el criterio de p valor (es significativo cuando su valor es menor a 0,05) o por los coeficientes de determinación ($0 < \mathbf{R}^2_{ajus} \leq \mathbf{R}^2 < 1$) cuando sus valores son mayores a 0,7 (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Deduciendo que cuanto más cerca de 1, mayor será el ajuste del modelo. El \mathbf{R}^2 (Tabla 11) es cercano a 0,7 es decir, el modelo se ajusta a un modelo cuadrático.

El valor de F_{cal} para el modelo (4,82) fue menor al valor F_{tab} (5,409) (Tabla 11), a un nivel de significación de 0,05; afirmando que harina de papa morada, concentrado de aguaymanto y humedad, se relacionan entre sí en el contenido total antocianinas totales del alimento extruido.

Tabla 12. Coeficientes de estimación para el contenido de antocianinas totales

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	p-valor
x_1	0,13	0,35	0,38	0,720
x_2	-6,60	3,16	-2,09	0,091
x_3	2,10	0,85	2,48	0,056
x_1, x_2	0,11	0,05	1,97	0,106

La magnitud de los coeficientes lineales de la mezcla (Tabla 12), el componente X_3 (Humedad) logra el mayor valor en comparación con las dos mezclas puras, Según Marszałek et al. (2017) menciona que las antocianinas son el grupo más grande de pigmentos que son compuestos fenólicos solubles en agua. La mezcla pura que produce el menor valor de \hat{y} es el concentrado de aguaymanto (x_2); presentando el signo negativo. Asimismo, la interacción x_1, x_2 no presenta un efecto significativo al tener valor de p mayor a 0,05. Por lo expuesto Camire et al. (2007) reporto valores negativos para el contenido total de antocianinas en productos extruidos empleando polvo de frutas y harina de maíz.

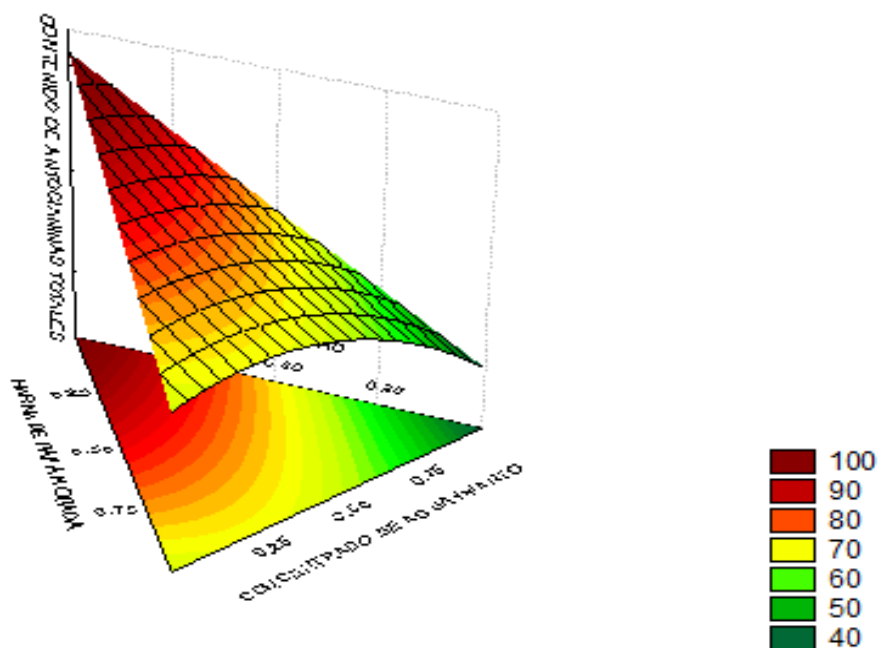


Figura 11. Superficie respuesta para total de antocianinas en los alimentos

La Figura 11 se observa el efecto de los ingredientes de la formulación en el contenido total de antocianinas de los alimentos extruidos analizados por superficie - respuesta; representando el modelo ajustado que detalla el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región experimental.

Los valores superiores del contenido total de antocianinas se muestran por el color rojo y los valores inferiores por el color verde.

Los valores de contenido de antocianinas de las formulaciones varían entre (43 - 75 mg/100g de materia seca). La formulación F₉ (62,5 % HP – 10,5 % CA – 27,5 % H) obtuvo mayor contenido de antocianinas 74,720 mg/100g con respecto a las demás

formulaciones. La harina de papa morada mostró un contenido total de antocianinas de $311,359 \pm 20,048$ mg/100g, disminuyendo un 79 % en el proceso de extrusión y en el horneado por microondas. Los alimentos (harinas, frutos secos, etc.) con mayor concentración de antocianinas presentan una pérdida aparente aproximadamente del 90 % de los pigmentos durante la extrusión (Camire et al., 2007). Según Escalante-Aburto et al. (2013) la alta velocidad y temperatura del tornillo son los factores de extrusión que afectan los polifenoles y el contenido de antocianinas de los alimentos extruidos por descarboxilación.

Marszałek et al. (2017) menciona aquellos alimentos que contienen antocianinas son procesados térmicamente antes de su consumo influyendo en la degradación del contenido total de antocianinas y vitamina C en el producto final

Asimismo, los valores obtenidos son superiores a Camacho – Hernandez et al. (2014) reportando un CTA de $37,4 \pm 9,60$ mg/100g de maíz azul y extruidos de $24,867 \pm 4,33$ mg/100 g empleando la mezcla de harina de maíz azul y maicena.

Observamos que la disminución del contenido de antocianinas se ve directamente afectado por el aumento de la temperatura de trabajo (180 °C); al estudiar una variedad de papa rica en antocianinas; Xu *et al.* (2015) menciona que el horneado por microondas, cocción a vapor, alta presión y fritura reduce entre el 8 y el 16 % del total de antocianinas.

El variable independiente con mayor efecto positivo fue la harina de papa morada, al incrementar el porcentaje de este componente a la formulación, aumenta el contenido total de antocianinas. Según Escalante-Aburto et al. (2013) menciona que al aumentar las cantidades de maíz morado y al disminuir el contenido de humedad de alimentación, proporcionan un efecto positivo en el contenido total de antocianinas en bocaditos extruidos. Debido a que son compuesto solubles en agua, una cierta cantidad provoca cambios estructurales o la degradación de este compuesto, así como también la temperatura de procesamiento.

4.3.2. FENOLES TOTALES

Tabla 13. Valores de fenoles totales en las formulaciones experimentales de los alimento extruidos

Formulación	x_1	x_2	x_3	Y
	Harina de papa morada (HP) (%)	Concentrado de aguaymanto (CA) (%)	Humedad (%)	FNT
F ₁	73	2	25	1,172 ± 0,88
F ₂	56	19	25	2,033 ± 1,22
F ₃	68	2	30	1,371 ± 0,91
F ₄	51	19	30	1,71 ± 1,03
F ₅	70	2	27,5	1,262 ± 1,08
F ₆	53,5	19	27,5	1,327 ± 0,98
F ₇	64,5	10	25	1,364 ± 1,06
F ₈	59,5	10,5	30	1,604 ± 1,21
F ₉	62	10,5	27,5	2,188 ± 1,32

FNT: Fenoles totales

Con los promedios obtenidos y bajo el criterio mencionado por (Gutiérrez y de la Vara, 2008), se obtuvo el siguiente modelo cuadrático:

$$\hat{y} = 1.102 x_1 + 1.620 x_2 - 0.572 x_3 + 1.604 x_1 x_2 + 3.872 x_1 x_3 + 2.504 x_2 x_3 \quad (2)$$

Donde

\hat{y} : Contenido de fenoles totales

x_1 , x_2 y x_3 harina de papa, concentrado de aguaymanto y humedad.

Tabla 14. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo cuadrático	0,46	5	0,09	0,495	0,770
Error total	0,55	3	0,19		
Total (corr.)	1,01	8			
$R^2 = 0,452$			R^2 (ajus)=0,000		

El modelo no es significativo con un p – valor de 0,770 (Tabla 14), bajo el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2008), menciona que se pueden considerar otros modelos cuando el valor p es pequeño (menor a 0.10). En este caso, consideramos el modelo cuadrático por presentar el p valor más pequeño con respecto a todos los modelos evaluados.

Tabla 15. Coeficientes de estimación para el contenido de fenoles totales

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	p - valor
x_1	-0,069	0,367		
x_2	-0,137	0,555		
x_3	-0,357	2,554		
x_1x_2	0,003	0,004	0,789	0,488
x_1x_3	0,008	0,049	0,165	0,880
x_2x_3	0,005	0,050	0,104	0,924

La magnitud de los coeficientes lineales de las mezclas puras (x_1, x_2, x_3) (tabla 15) se presentan con el signo negativo y no logran valores grandes para \hat{y} (fenoles totales). El valor más grande de las interacciones entre mezclas son a base de papa morada y humedad (x_1x_3), pero no presentan un efecto significativo al tener valor de p mayor a 0,05.

Según Ruttarattanamongkol, et al. (2015), indica que los contenidos fenólicos y la actividad antioxidante son afectados mediante procesos de cocción como al vapor, hervir y secar. Disminuyendo hasta un 50 % mediante el procesamiento de extrusión (Wani y Kumar *et al.* 2015).

Según Wani y kumar (2015) reportaron 0.31 mg EAG/ g muestra en alimento extruido enriquecido con harina de arroz y guisantes y 115,98 a 299,29 mg GAE/100 g en harina de camote morado. Estos valores es superiores a las formulaciones F₂ (56 % HP – 19 % CA – 25 % H) y F₉ (62 % HP – 10,5 % CA – 27,5 %) con 2,033 ± 1,222 y 2,188 ± 1,320 mg EAG/ 100 g respectivamente. Esta reducción puede deberse a la descarboxilación de compuestos fenólicos (Brennan et al., 2011). Según Soison et al. (2014) reportaron una pérdida de compuestos fenólicos en extruidos empleando harinas de maíz, harina de papa morada, guisantes secos y cebada; causada por la alta temperatura del barril y humedad de alimentación.

Según Ruttarattanamongkol et al. (2015), indica que a temperatura de 110 °C provocan una degradación y disminución de la cantidad de fenoles y la actividad antioxidante. Tokusoglu y Yildirim (2012) deduce que aplicación de vapor durante 10 minutos

antes de un proceso de secado podría romper los tejidos y liberar más componentes antioxidantes. Por lo mencionado, se afirma que el proceso de obtención de harina de papa hubo liberación de estos compuestos, posteriormente ser sometidos a un proceso de extrusión a temperaturas altas lo cual ocasionó la degradación de compuestos fenólicos y antioxidantes.

4.3.3. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN DPPH Y ABTS

La actividad antioxidante de las muestras utilizando ensayos de DPPH y ABTS fueron 365,328 y 40,356 mg equiv trolox / 100g de muestra de las formulaciones 3 y 9 respectivamente. Al utilizar mayor proporción de harina de papa morada y humedad incrementa la actividad antioxidante en el alimento extruido (Cuadro 16). Los ácidos fenólicos liberados pueden contribuir al aumento de la capacidad antioxidante del ABTS (Soison et al., 2014), relacionándose así los valores obtenidos (Tabla 13 y 16).

Soison et al. (2014) mencionan que el proceso de extrusión puede resultar en un aumento o disminución de las actividades antioxidantes dependiendo de las condiciones de extrusión. Esto concuerda con Nayak et al. (2011) que a temperaturas de calentamiento de 110 y 140 °C la actividad antioxidante incrementa, permanece sin cambios en harinas extruidas.

Según Stojceska et al. (2009) mencionan que al aumentar la alimentación de agua incrementa el grado de fibra dietética, capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos totales.

Tabla 16. Valores de actividad antioxidante DPPH y ABTS en las formulaciones de los alimento extruidos.

Formulación	x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2
	HPM	CA	H	DPPH (mg et/100g)	ABTS (mg et/100g)
F ₁	73	2	25	324,82 ± 15.43	18,70 ± 3.15
F ₂	56	19	25	362,82 ± 5.915	32,96 ± 1.36
F ₃	68	2	30	365,33 ± 8.23	33,53 ± 3.86
F ₄	51	19	30	352,96 ± 6.81	29,70 ± 5.77
F ₅	70	2	27,5	316,57 ± 8.89	20,04 ± 0.63
F ₆	53,5	19	27,5	303,85 ± 3.46	23,80 ± 2.10
F ₇	64,5	10	25	352,96 ± 32.22	40,05 ± 0.33
F ₈	59,5	10,5	30	323,56 ± 31.67	26,21 ± 0.75
F ₉	62	10,5	27,5	347,05 ± 4.85	40,36 ± 0.20

HPM: Harina de papa morada, CA: Concentrado de aguaymanto, H: Humedad

De acuerdo a los promedios de los valores obtenidos por DPPH y ABTS, se muestra las siguientes ecuaciones de primer y segundo grado respectivamente:

$$\hat{y} = 336.519 x_1 + 342.087 x_2 - 338.358 x_3 \quad (3)$$

$$\hat{y} = 20.652 x_1 + 24.645 x_2 + 184.440 x_3 + 60.865 x_1 x_2 - 164.741 x_1 x_3 - 206.911 x_2 x_3 \quad (4)$$

Donde:

\hat{y} : Actividad antioxidante en DPPH y ABTS

x_1 , x_2 y x_3 harina de papa, concentrado de aguaymanto y humedad.

Los modelos fueron evaluados con el análisis de varianza (Tabla 17 y 19). Se observa que el valor p de ambos modelos es mayor a 0,05; lo cual prueba que los modelos no son significativos.

Tabla 17. Ajuste y ANVA para el modelo lineal

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo lineal	28,027	2	14,0136	0,02	0,979
Error total	3865,084	6	644,1806		
Total (corr.)	3893,111	8			
$R^2 = 0,0072$			$R^2(\text{ajus}) = 0,00$		

El modelo no es significativo con un p – valor de 0,979 (Tabla 14), bajo el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2008), En este caso, consideramos el modelo lineal por presentar el p valor más pequeño con respecto a todos los modelos evaluados.

Como se observa el valor F_{cal} para el modelo (0,02) es menor al F_{tab} (5,14) (Tabla 17). Deduciendo que a un nivel de significación del 0,05 no existen diferencias significativas entre las variables independientes (harina de papa morada, concentrado de aguaymanto y humedad) en la actividad antioxidante del alimento extruido.

Tabla 18. Coeficientes de estimación de la actividad antioxidante en DPPH

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor - p
x_1	3,34	1,15	2,90	0,027
x_2	3,60	1,58	2,27	0,063
x_3	3,42	3,01	1,14	0,299

La magnitud de los coeficientes lineales de las mezclas (Tabla 18) el componente x_1 (Harina de papa morada) en forma particular presenta un efecto significativo en la actividad antioxidante del extruido, con $p = 0,027$ menor a 0,05. Se observa que el mayor valor presenta x_2 , (3.60), sin embargo su presencia no es significativa. Deduciendo, que al incrementar la harina de papa morada como mezcla pura o como factor predominante, incrementaría la actividad antioxidante del alimento extruido.

Tabla 19. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo cuadrático	290,38	5	58,077	0,804	0,613
Error total	216,60	3	72,200		
Total (corr.)	506,98	8			
$R^2 = 0,573$		$R^2(\text{ajus}) = 0,00$			

De la misma manera, el modelo para ABTS no es significativo $p = 0,613$ (Tabla 14), bajo el criterio de Gutiérrez y de la Vara (2008), En este caso, consideramos el modelo cuadrático por presentar el p valor más pequeño con respecto a todos los modelos evaluados.

Tabla 20. Coeficientes de estimación de la actividad antioxidante en ABTS.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor - p
x_1	2 17	7.263		
x_2	-1 63	10.982		
x_3	19,58	50.523		
x_1x_2	0 13	0.083	1.512	0.228
x_1x_3	-0 34	0.961	-0.354	0.747
x_2x_3	-0 43	0.985	-0.434	0.694

La mezcla pura que produce el menor valor para \hat{y} es el concentrado de aguaymanto (x_2) y coeficientes de las interacciones de x_1x_3 y x_2x_3 presentan el signo negativo, a excepción de x_1x_2 , el cual no es significativo, deducimos que la harina de papa morada y concentrado de aguaymanto podrían incrementar la actividad antioxidante de los alimentos extruidos.

Según Nayak et al. (2011) reportaron la disminución de la actividad antioxidantes en ABTS y DPPH de 1546 ± 5 a 1302 ± 82 μg equiv trolox/g muestra y 1243 ± 97 y 1860 ± 21 μg equiv trolox/g muestra respectivamente a temperaturas de calentamiento desde 100 a 150° C. Asimismo menciona que la aplicación de calor haya inducido la escisión de las antocianinas aciladas en sus correspondientes acilglucósidos, luego en calconas intermedias y finalmente en fenólicos incoloros (como ácidos fenólicos y aldehídos) que contribuyeron a incrementar el TAC en las muestras.

Sharma et al. (2012) mencionan que el aumento de la actividad antioxidante en extruidos de cebada es debido a la formación de pigmentos marrones a partir de la reacción de maillard durante la extrusión.

Asimismo, Soison et al. (2014) mencionan que el proceso de extrusión disminuye significativamente las actividades antioxidantes al 13 % y 16 % en contenido de humedad de alimentación de las harinas extruidas de camote, siendo la principal causa la reducción de los compuestos fenólicos totales.

4.3.4. ÍNDICE DE EXPANSIÓN

Tabla 21. Índice de expansión de las formulaciones experimentales de los alimento extruidos.

Formulación	x_1	x_2	x_3	Y
	Harina de papa morada (HP) (%)	Concentrado de aguaymanto (CA) (%)	Humedad (%)	IE
F ₁	73	2	25	3,547 ± 0,54
F ₂	56	19	25	2,337 ± 0,64
F ₃	68	2	30	4,063 ± 0,55
F ₄	51	19	30	2,645 ± 0,63
F ₅	70	2	27,5	4,002 ± 0,46
F ₆	53,5	19	27,5	2,573 ± 0,60
F ₇	64,5	10	25	3,418 ± 0,62
F ₈	59,5	10,5	30	3,639 ± 0,66
F ₉	62	10,5	27,5	3,775 ± 0,54

IE: Índice de expansión

Con los promedios obtenidos y bajo el criterio mencionado por (Gutiérrez y de la Vara, 2008), se obtuvo el siguiente modelo cuadrático

$$Y = 3.586 x_1 + 1.337 x_2 - 4.906 x_3 + 2.787 x_1 x_2 + 13.565 x_1 x_3 + 15.168 x_2 x_3 \quad (5)$$

Donde:

\hat{y} : índice de expansión

x_1 , x_2 y x_3 harina de papa, concentrado de aguaymanto y humedad.

El índice de expansión de los bocaditos oscilo entre 2,337 – 4,063; las mayores expansiones se observaron con la adición de harina de papa morada de 68 % y 70 % en las formulaciones F₃ y F₅ de 4,063 y 4,002 respectivamente. Esto concuerda según Néms et al. (2015) utilizó harina de papa de color azul y rojo obteniendo índice de expansión entre 4,86 y 5,59; valores superiores a los snacks tradicionales (en promedio 3,83). Podemos inferir que a mayor porcentaje de harina de papa mayor será la expansión de los alimentos extruidos, dependiendo del grado de gelatinización del almidón, siendo el componente principal de los extruidos.

En el análisis de varianza (Tabla 22) el p valor del modelo es menor a 0,05; indicando que el modelo es significativo.

Tabla 22. Ajuste y ANVA para el modelo cuadrático

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo cuadrático	3,344	5	0,669	92,638	0,002
Error total	0,022	3	0,007		
Total (corr.)	3,365	8			
R² =0,994		R²(ajus)=0,983			

El valor de F_{cal} (92,638) fue mayor al valor tabular F (9,013) a un nivel de significación de 0,05. Se deduce que al menos una de las variables independientes (harina de papa morada, concentrado de aguaymanto o la humedad) tiene relación con el índice de expansión de los alimentos extruido.

Tabla 23. Coeficientes de estimación del índice de expansión

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor - p
x_1	-0,199	0,073	-2,74	0,07
x_2	-0,666	0,110	-6,06	0,01
x_3	-1,365	0,505	-2,70	0,07
x_1x_2	0,005	0,001	6,93	0,01
x_1x_3	0,028	0,010	2,92	0,06
x_2x_3	0,031	0,010	3,18	0,05

De las magnitudes de los coeficientes de estimación de la interacción x_1x_2 p valor = 0,01 es menor a 0,05; generando un efecto significativo en el índice de expansión de los alimentos extruidos. Por lo que el componente x_2 (concentrado de aguaymanto) interfiere en el índice de expansión. Según Obradović et al. (2015) menciona que las fibras presentan paredes rígidas a diferencia de los polímeros del almidón, el cual no permite que las burbujas de aire se expandan

Según Pérez y Delgado (2017) mencionan que los alimentos altos en fibra, grasa o carbohidratos, el índice de expansión son baja. Podemos decir que los porcentajes

mayores de concentrado de aguaymanto obtuvieron valores inferiores (tabla 21) en el índice de expansión.

Según Kowalski et al. (2016) mencionan la expansión se reduce principalmente por la presencia de fibra insoluble por la retención de agua en la matriz de la fibra durante la cocción por extrusión, disminuyendo el vapor creado.

Asimismo, Lee, Lim, Lim y Lim (2000) observaron que el nivel de gelatinización y el contenido de humedad de los gránulos son dos componentes relevantes para establecer la forma, densidad aparente y la expansión de los productos expandidos por microondas.

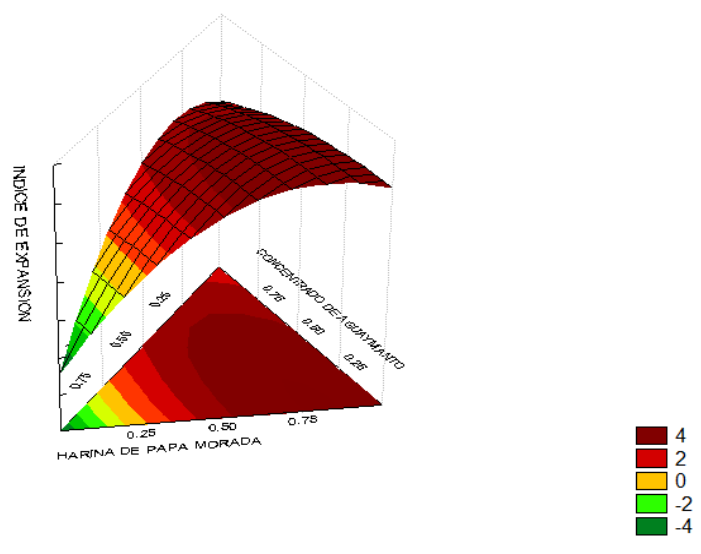


Figura 12. Superficie respuesta del índice de expansión en los alimentos extruidos

El efecto de las interacciones de la mezcla en el índice de expansión de los alimentos extruidos analizados mediante superficie - respuesta; representando el modelo ajustado que describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región experimental.

El área de color rojo indica el índice de expansión es superior cuando la mezcla contiene mayor proporción de harina de papa morada.

4.3.5. MÉTODO DE FUNCIÓN DE DESEABILIDAD

De acuerdo con los modelos matemáticos polinomiales y valor máximo de la función de deseabilidad, los porcentajes de los componentes se maximizaron con el contenido de antocianinas e índice de expansión con harina de papa (68.119 %), concentrado de aguaymanto (2 %) y la humedad de (29.881 %).

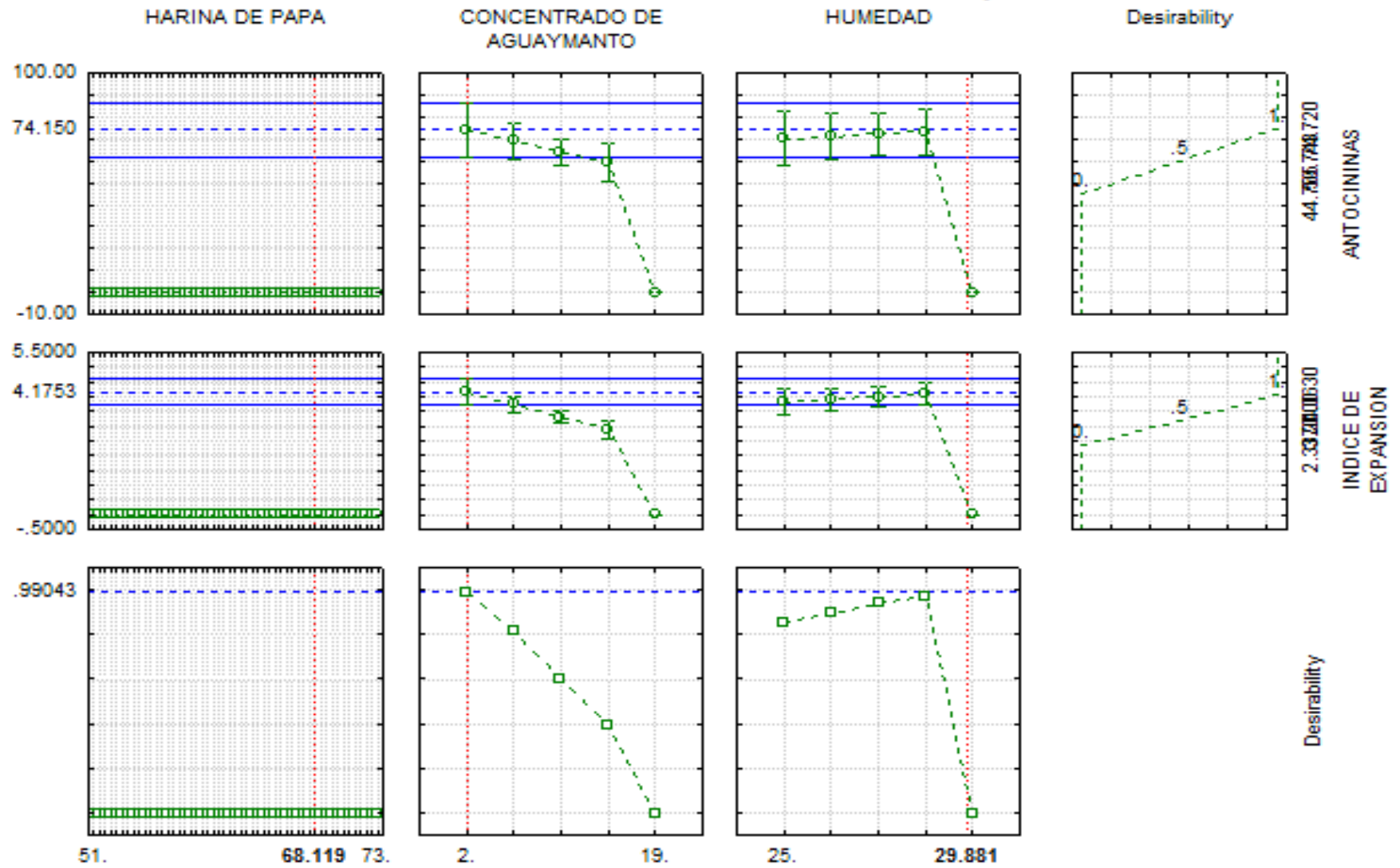


Figura 13. Optimización de los componentes de la mezcla.

V. CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos en la investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se elaboró un alimento extruido empleando harina de papa morada y concentrado de aguaymanto, cuyos porcentajes de incorporación en la mezcla optima fueron 68.119 %, 2 % respectivamente y de humedad 29.881 %.
- La incorporación de harina de papa morada en las mezclas aumentó el contenido de antocianinas totales e índice de expansión en el alimento extruido. Al incorporar mayor proporción de concentrado de aguaymanto influye en el índice de expansión y no muestra efecto sinérgico en la actividad antioxidante, fenoles totales en los extruidos.
- Los fenoles totales, actividad antioxidante DPPH y ABTS disminuyeron en el proceso de extrusión en un rango de $1.262 \pm 1.08 - 2.188 \pm 1.32$ mg EAG/100 g, $303,85 \pm 3.46 - 365,33 \pm 8.23$ mg ET/100g y $18,70 \pm 3.15 - 40,36 \pm 0.20$ mg ET/100g, respectivamente en las formulaciones.
- El proceso de concentración al vacío en el aguaymanto influyó en sus características antioxidantes y compuestos nutricionales.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo observado y resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación, se recomienda:

- Investigar sobre los efectos de cocción en la papa morada.
- Realizar estudios sobre los cambios del contenido de antocianinas totales por el proceso de escaldado, secado y extrusión.
- Cuantificar los perfiles de antocianinas en la harina de papa morada
- Utilizar frutos secos o deshidratados en mezclas para la elaboración de alimentos extruidos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam, MS y Aslam, R. (2020). Extrusión para la producción de alimentos e ingredientes funcionales. Módulo de referencia en ciencia de los alimentos. doi: 10.1016 / b978-0-08-100596-5.23041-2
- Altamirano Caicedo, M. A. (2010). Estudio de la cadena productiva de uvilla (*Physalis peruviana* L.) en la Sierra norte del Ecuador, de la Universidad de San Francisco de Quito, 2010 (Tesis de bachiller en Agroempresa, Universidad de San Francisco de Quito). <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/950/1/95220.pdf>
- AOAC Method 979.20 (2005). Official methods of analysis of AOAC International. In W. Horwitz (Ed.), *Proline in honey* (pp. 25–37). Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC International.
- Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., del Rosario Herrera, M., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., Larondelle, Y., & Evers, D. (2007). Andean Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a Source of Antioxidant and Mineral Micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 366–378. <https://doi.org/10.1021/jf062740i>
- Aparcana Ataurima, I. M., & Villarreal Inca, L. S. (2014). Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de *Physalis peruviana* "aguaymanto" de diferentes lugares geográficos del Perú, Facultad de Farmacia y Bioquímica, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014 (Tesis EP Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3791>
- Barragan Condori, M., & Aro Aro, J. M. (2017). Determinación del efecto de procesos de cocción en papas nativas pigmentadas (*Solanum tuberosum* spp. andigena) sobre sus compuestos bioactivos. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(1), 47-52.
- 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)

- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E. & Tiwari, BK (2011). Efectos de la extrusión sobre los polifenoles, vitaminas y actividad antioxidante de los alimentos. *Trends in Food Science & Technology*, 22 (10), 570-575.
- Bontempo, P., Carafa, V., Grassi, R., Basile, A., Tenore, G. C., Formisano, C., Rigano, D., & Altucci, L. (2013). Antioxidant, antimicrobial and anti-proliferative activities of *Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte. *Food and Chemical Toxicology*, 55, 304–312. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.048>
- Burgos, G., Amoros, W., Muñoa, L., Sosa, P., Cayhualla, E., Sanchez, C., Díaz, C., & Bonierbale, M. (2013). Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. *Journal of Food Composition and Analysis*, 30(1), 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.12.001>
- Burlingame, B., Mouillé, B., & Charrondière, R. (2009). Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.09.001>.
- Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelos, E., Rocha-Guzmán, N. E., Navarro-Cortez, R. O., Jacobo-Valenzuela, N., & Gómez-Aldapa, C. A. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *CyTA - Journal of Food*, 12(4), 320–330. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.861517>
- Camire, M. E., Dougherty, M. P., & Briggs, J. L. (2007). Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chemistry*, 101(2), 765–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.031>
- Camire, ME, Kubow, S. y Donnelly, DJ (2009). Patatas y salud humana. *Revisiones críticas en ciencia alimentaria y nutrición*, 49 (10), 823-840.
- Campos, D., Chirinos, R., Ranilla, LG y Pedreschi, R. (2018). Potencial bioactivo de frutas andinas, semillas y tubérculos. En *Avances en la investigación de alimentos y nutrición* (Vol. 84, pp. 287-343). Prensa Académica.

- Choco Matute, O. B. (2014). Variación del potencial antioxidante durante la maduración de uvilla (*Physalis peruviana* L.) y su estabilidad frente a tratamientos térmicos, de la Universidad del Azuay, 2014 (Tesis de bachiller en Alimentos, Universidad del Azuay). <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4242/1/10801.pdf>
- Días, JS (2012). Calidad nutricional y beneficios para la salud de las verduras: una revisión. *Ciencias de la alimentación y la nutrición*, 3 (10), 1354-1374.
- Eichhorn, S., & Winterhalter, P. (2005). Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Food Research International*, 38(8–9), 943–948. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.03.011>
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Figueroa-Cárdenas, J. D., López-Cervantes, J., Barrón-Hoyos, J. M., & Morales-Rosas, I. (2013). Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA - Journal of Food*, 11(sup1), 29–37. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.764929>
- Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S. y Kaur, A. (2013). Fitoquímicos beneficiosos en la papa: una revisión. *Food Research International*, 50 (2), 487-496.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 01-15.
- Fries, A. M., & Tapia, M. E. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. FAO, ANPE-PERÚ.
- Galvis, J. A., Fischer, Gerhard., & Gordillo, O. P. (2005). Cosecha y poscosecha de la uchuva. *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva*, 165-190.
- Gutiérrez, H; De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2.ª ed.) McGraw-Hill.
- Hampson, CP (1976). Valor nutricional de las patatas. *Boletín de nutrición*, 3 (5), 299-309.
- Harborne, J. B. (1960). Plant polyphenols. 1. Anthocyanin production in the cultivated potato. *Biochemical Journal*, 74(2), 262-269. <https://doi.org/10.1042/bj0740262>

- Huachuilla Lizarme, D. (2017). Efecto de Liofilización sobre los Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante en la Pulpa de Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Institucional UNAJMA.
<https://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/263>
- Im, H. W., Suh, B. S., Lee, S. U., Kozukue, N., Ohnisi-Kameyama, M., Levin, C. E., & Friedman, M. (2008). Analysis of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography and liquid chromatography/mass spectrometry in potato plant flowers, leaves, stems, and tubers and in home processed potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 3341–3349.
- Jain, D., Devi, M. y Thakur, N. (2013). Estudio sobre el efecto de los parámetros operativos de la máquina sobre las características físicas de los extruidos de pulpa de frutas / vegetales fortificados a base de arroz / maíz. *Internacional de Ingeniería Agrícola: Revista CIGR*, 15 (2), 231-242.
- Juli Mamani, D. M., & Arias Jordán, E. (2011). Antocianinas polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos clones de papa nativa del género *Solanum* de pulpa azul y roja [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio de Abad] Repositorio Institucional UNSAAC.
<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/1094>
- Lachman, J., Hamouz, K., Šulc, M., Orsák, M. š., Pivec, V., Hejtmánková, A., Dvořák, P., & Čepl, J. (2009). Cultivar differences of total anthocyanins and anthocyanidins in red and purple-fleshed potatoes and their relation to antioxidant activity. *Food Chemistry*, 114(3), 836–843. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.029>.
- Lee, E. Y., Lim, K. I., Lim, J.-, & Lim, S.-T. (2000). Effects of Gelatinization and Moisture Content of Extruded Starch Pellets on Morphology and Physical Properties of Microwave-Expanded Products. *Cereal Chemistry Journal*, 77(6), 769–773.
<https://doi.org/10.1094/cchem.2000.77.6.769>
- Lewis, C.E., Walker, J.R.L., Lancaster, J.E., (1999). Changes in anthocyanin, flavonoid and phenolic acid concentrations during development and storage of coloured potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 79, 311–316

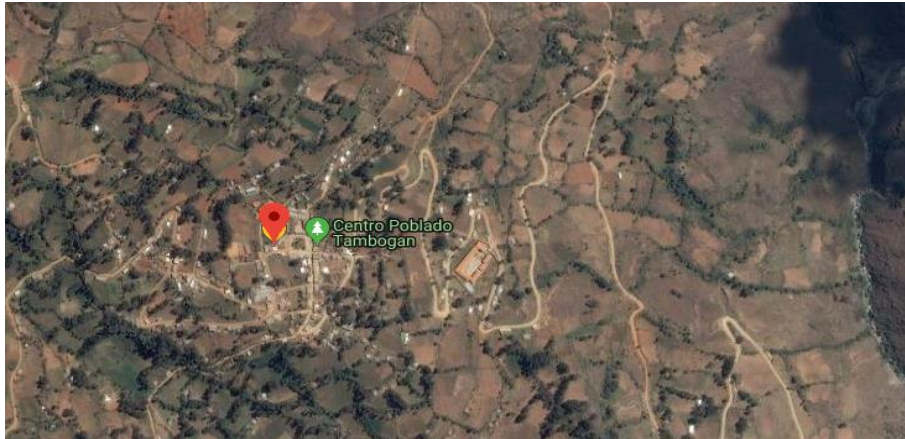
- Ilo, S., Schoenlechner, R., & Berghofe, E. (2000). Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas y Aceites*, 51(1-2), 1-2.
<https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i1-2.410>
- Lohani, U. C., & Muthukumarappan, K. (2016). Effect of Extrusion Processing Parameters on Antioxidant, Textural and Functional Properties of Hydrodynamic Cavitated Corn Flour, Sorghum Flour and Apple Pomace-Based Extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12424. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12424>
- Luchese, C. L., Gurak, P. D., & Marczak, L. D. F. (2015). Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1128–1136. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.060>
- Marszałek, K., Woźniak, U., Kruszewski, B., & Skapska, S. (2017). The Effect of High Pressure Techniques on the Stability of Anthocyanins in Fruit and Vegetables. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(2), 277. <https://doi.org/10.3390/ijms18020277>
- Navarre, DA, Goyer, A. & Shakya, R. (2009). Valor nutricional de las patatas. *Avances en la química y la tecnología de la papa*, 395–424.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.00014-3>
- Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., & Tang, J. (2011). Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. *Journal of Food Science*, 76(6), C874-C883. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02279.x>
- Mäkilä, L., Laaksonen, O., Ramos Diaz, J. M., Vahvaselkä, M., Myllymäki, O., Lehtomäki, I., Laakso, S., Jahreis, G., Jouppila, K., Larmo, P., Yang, B., & Kallio, H. (2014). Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 57(2), 618–627.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.005>
- Málaga Barreda, R., Guevara Pérez, A., & Araujo Vargas, M. (2013). Efecto del procesamiento de puré de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(2), 162-174.

- Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, RM, Reis, FS, Barros, L., Berrios, JDJ, & Cámara, M. (2015). Formulaciones de harina de lentejas para desarrollar nuevos productos tipo snack mediante procesos de extrusión: Fitoquímicos y capacidad antioxidante. *Revista de alimentos funcionales*, 19, 537-544.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.044>
- Moscoso Moscoso, E. (2014). Determinación de la capacidad antioxidante y compuesto bioactivos de cinco clones de papa nativa (*solanum tuberosum*) y del puré deshidratado [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Institucional UNAJMA.
<https://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/209>
- Moya Verdú, G. (2016). Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico, 2016 (Tesis Doctoral en Ingeniería mecánica, Universidad Politecnica de Valencia). <https://riunet.upv.es/handle/10251/72723>.
- Osorio Mora, O., Ceron Cardenas, A. F., & Bucheli, M. A. (2014). Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*). *Acta Agronómica*, 63(2), 101–109.
<https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.39575>
- Pęksa, A., Kita, A., Carbonell-Barrachina, AA, Miedzianka, J., Kolniak-Ostek, J., Tajner-Czopek, A. & Drożdż, W. (2016). Atributos sensoriales y características fisicoquímicas de los snacks de maíz afectados por diferentes tipos de harina y condiciones de extrusión. *LWT-Ciencia y tecnología de los alimentos*, 72, 26-36.
- Pérez Ramos, K. P. (2019). Elaboración de un bocadito extruido de quinua, tarwi y fécula de camote para niños escolares [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina].
Repositorio La Molina
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3894>
- Pérez Ramos, K., Elías Peñafiel, C., & Delgado Soriano, V. (2017). Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377-388.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>

- Ponce Alvarado, A. W., & Rodríguez Asto, F. D. (2014). Evaluación del efecto de Secado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) [Tesis de pregrado Universidad Nacional Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1959>
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>.
- Rapisarda, P., Fanella, F., & Maccarone, E. (2000). Reliability of Analytical Methods for Determining Anthocyanins in Blood Orange Juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2249–2252. <https://doi.org/10.1021/jf991157h>
- Repo, C. R., Encina, Z. C., y Ureña, M. (2012). Determinación de los Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante del Aguaymanto (*Physalis peruviana* 1753) y de su conserva en almíbar maximizando la retención de Ácido ascórbico. *Revista Sociedad Química de Perú*, 72: 108-124.
- Revelo Mera, A. G. (2010). Desarrollo y evaluación de las tecnologías para la elaboración de un snack tipo laminado a partir de quinua (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
- Ruiz Alfaro, K. E. (2014). Oportunidades de negocio en el mercado de Canadá para incrementar las exportaciones peruanas de aguaymanto deshidratado de la región de Cajamarca en el período 2014-2018.
- Ruttarattanamongkol, K., Chittrakorn, S., Weerawatanakorn, M., & Dangpium, N. (2015). Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 1811–1822. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2086-7>
- Sarkar, P., Setia, N. y Choudhury, GS (2011). Procesamiento de extrusión de nopal. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3(2), 102-110. <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=20424876-201104-201601260020-201601260020-102-110>

- Seth, D., Badwaik, L. S., & Ganapathy, V. (2013). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830-1838. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1181-x>
- Sibina, D. L. R., Laura, M. I. M., Zagaceta, C. C., Zagaceta, F. C., & Huayta, L. A. (2001). Elaboración de galletas utilizando harinas sucedáneas obtenidas con productos de la región. *Alimentaria*, 1(1), 43-48.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Capítulo 14 - Procesos de extrusión de alimentos (Quinta ed.). <https://doi.org/10.1016/C2011-0-06101-X>.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Soison, B., Jangchud, K., Jangchud, A., Harnsilawat, T., Piyachomkwan, K., Charunuch, C., & Prinyawiwatkul, W. (2014). Physico-functional and antioxidant properties of purple-flesh sweet potato flours as affected by extrusion and drum-drying treatments. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(9), 2067–2075. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12515>
- Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131(4), 1406–1413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.009>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1), 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>
- Tokuşoğlu, Ö. y Yildirim, Z. (2012). Efectos de los métodos de cocción sobre los niveles de antocianinas y la actividad antioxidante de un camote turco local [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] Cultivar Hata. *Revista turca de cultivos de campo*, 17 (1), 87-90.

- Wani, S. A., & Kumar, P. (2015). Effect of Extrusion on the Nutritional, Antioxidant and Microstructural Characteristics of Nutritionally Enriched Snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 166–173. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12593>
- Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1997). Oxygen Radical Absorbing Capacity of Anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(2), 304–309. <https://doi.org/10.1021/jf960421t>
- 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>
- Xu, J., Su, X., Lim, S., Griffin, J., Carey, E., Katz, B., Tomich, J., Smith, J. S., & Wang, W. (2015). Characterisation and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato P40. *Food Chemistry*, 186, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.123>
- Yang, S.-, Peng, J., Lui, W.-B., & Lin, J. (2008). Effects of adlay species and rice flour ratio on the physicochemical properties and texture characteristic of adlay-based extrudates. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 489–494. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.010>
- ZHANG, H., XU, F., WU, Y., HU, H.-, & DAI, X.-. (2017). Progress of potato staple food research and industry development in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2924–2932. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(17\)61736-2](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(17)61736-2)

ANEXO 1**PANEL FOTOGRAFICO**

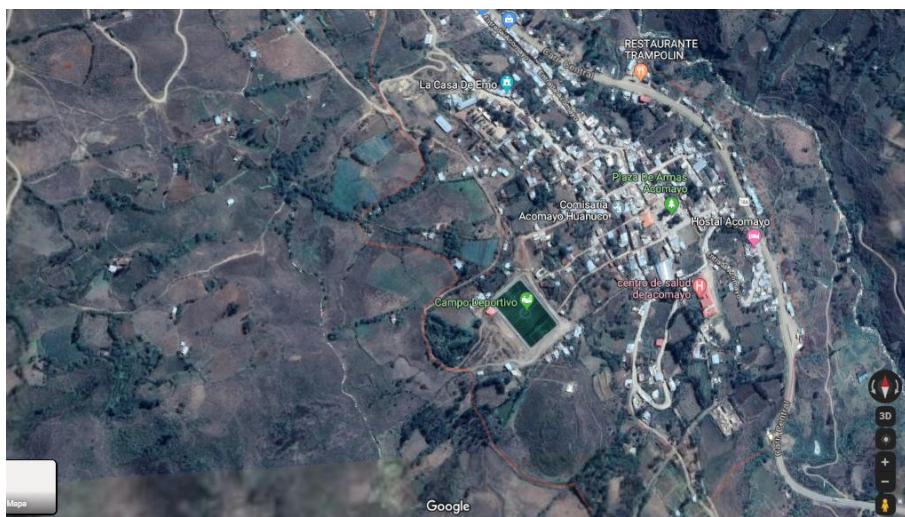
Centro poblado: Tambogan

Departamento: Huánuco, Provincia: Huánuco, Distrito: Churubamba

Latitud sur: 9° 46' 28.4" S (-9.77454362000)

Longitud oeste: 76° 13' 44.7" W (-76.22907477000).

Altitud: 2430 msnm



Centro poblado: Acomayo

Departamento: Huánuco, Provincia: Huánuco, Distrito: Chinchao

Latitud: -9.80105, Longitud: -76.0719



Recepción de papa negra morada



Verificación del color



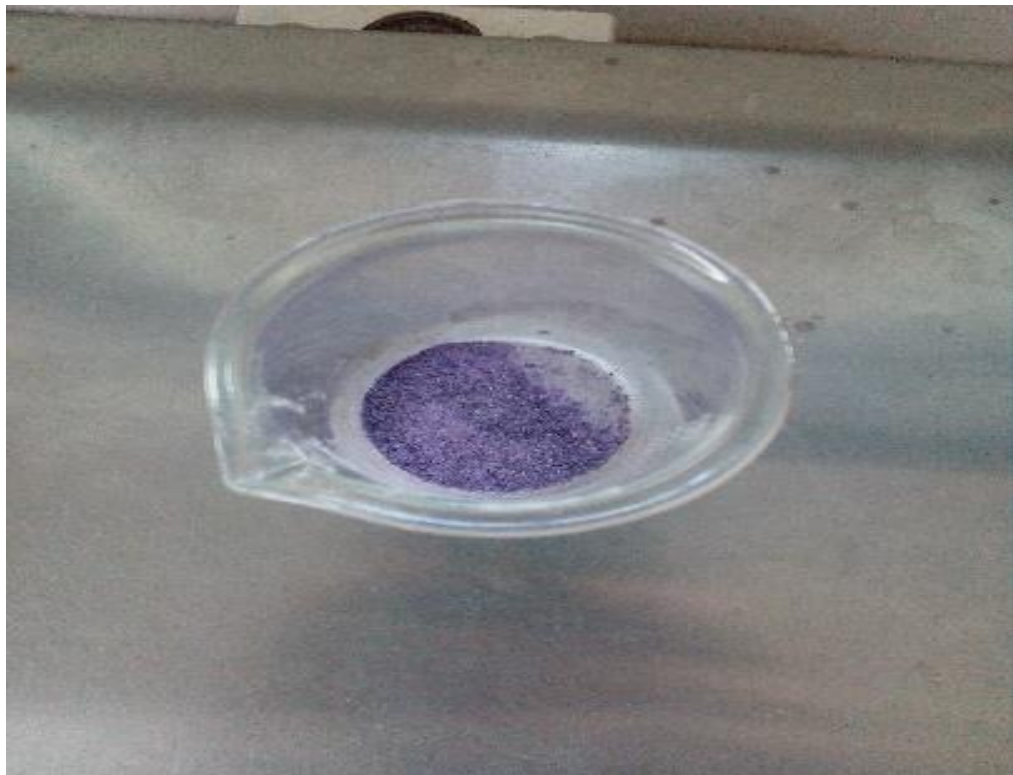
Secado de la papa negra morada



Secado final de la muestra



Triturado de muestra



Harina de papa negra



Pesado de la muestra



Humedad de la muestra



Desinfectado de Aguaymanto



Escaldado de Aguaymanto



Pesado de jugo de Aguaymanto



Concentrado de Aguaymanto



Pesado del concentrado de Aguaymanto



Pesado de cascara y semilla



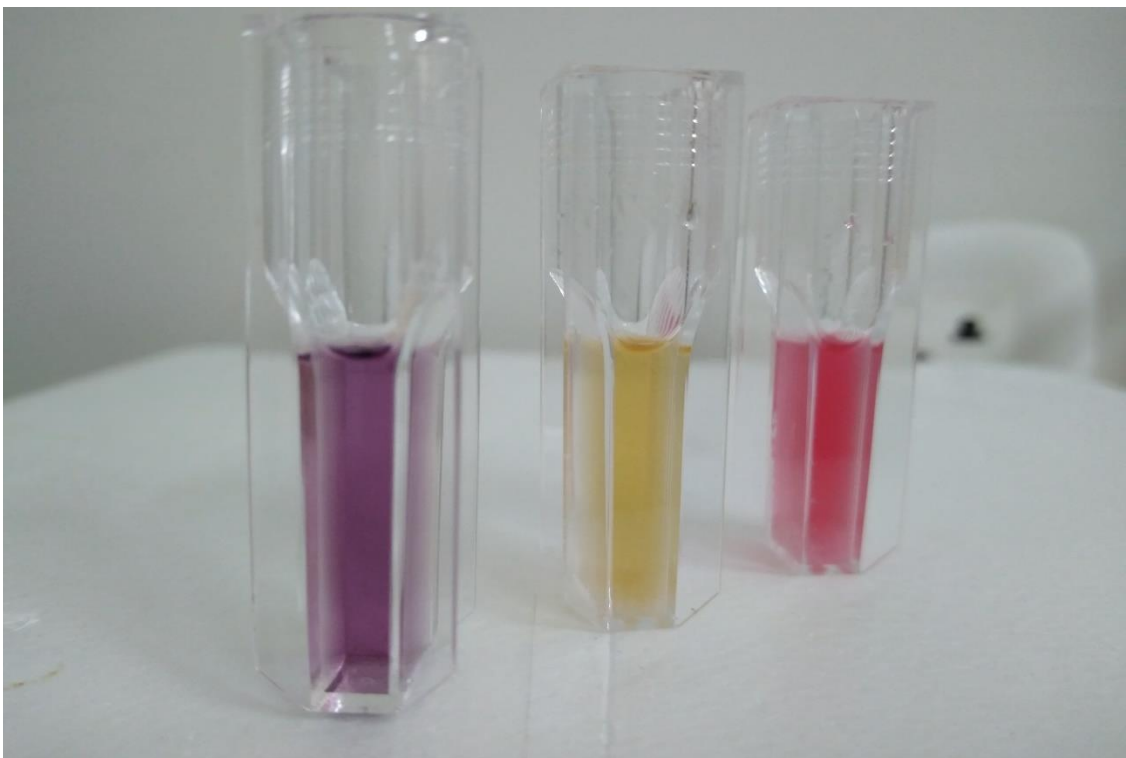
Molienda y envasado de harina de cascara y semilla secas de aguaymanto.



Mezcla del concentrado y harina.



Análisis de actividad antioxidante, polifenoles y antocianinas de las materias primas



Lecturas de las materias primas



Formulación de mezclas de un alimento extruido a base de harina de papa negra morada y concentrado de aguaymanto



Proceso de extrusión



Laminado de un alimento extruido



Empacado de un alimento extruido



Alimento extruidos



Alimento extruido terminado