

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE  
LA OBTENCIÓN DE UN SNACK EXTRUIDO ADICIONADO CON HARINA DE  
FRESA



Universidad  
del Cauca

JUDITH CAROLINA GÓMEZ MUÑOZ  
ASTRID CAROLINA VANEGAS GUILOMBO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN, COLOMBIA  
2022

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE  
LA OBTENCIÓN DE UN SNACK EXTRUIDO ADICIONADO CON HARINA DE  
FRESA.

JUDITH CAROLINA GOMEZ MUÑOZ  
ASTRID CAROLINA VANEGAS GUILOMBO

Trabajo de grado en la modalidad de investigación, para obtener el título de  
Ingenieras Agroindustriales

Directores  
JOSE LUIS HOYOS CONCHA, Ph.D.  
LINA FERNANDA RESTREPO BUESAQUILLO, Qca.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN, COLOMBIA  
2022

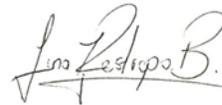
## Nota de aceptación

Los directores y Jurados han leído este documento, escuchado la sustentación del mismo por sus autoras y lo encuentran satisfactorio.



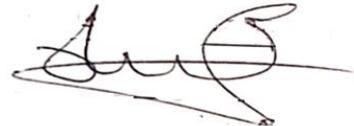
---

JOSE LUIS HOYOS CONCHA, Ph. D  
Director



---

LINA FERNANDA RESTREPO B., Qca.  
Directora



---

DANNY ALEJANDRO ARTEAGA F., Ph. D  
Presidente del Jurado



---

JHON EDINSON NIETO CALVACHE., Ph. D  
Jurado

Popayán, 01 de abril de 2022

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, toda la honra y la gloria sea para él, pues nunca me dejó desfallecer y me mantuvo firme en este camino a pesar de las adversidades. A mi madre Gladys y mis hermosos hijos Daniel y Belén, quienes son mi motor y mis ganas de salir adelante cada día. A mis hermanas y mis sobrinos que siempre me apoyaron en toda esta etapa y que hoy se sienten orgullosas de este logro realizado. Finalmente, a mis amigos, conocidos y compañeros por creer en mí y brindarme su amistad incondicional.

Astrid Carolina

Agradezco inmensamente a Dios por darme la bendición de abrir mis ojos cada día, a él agradecerle por estar en cada paso de mi vida y brindarme su apoyo durante los momentos más difíciles y darme el valor de mirar siempre hacia adelante, para él toda la gloria. Este logro también se lo dedico a mi madre Nubia Yaneth Muñoz Imbachi, por ser mi pilar y enseñarme que las mejores cosas de la vida se consiguen con esfuerzo y constancia, a ti, agradecerte tantos sacrificios que hiciste para que pudiéramos salir adelante. A mis hermanos Magaly Esthefania, Verónica, Santiago, Juan Carlos y Julián por ser un gran apoyo en mi vida; a mi abuela, tíos y primos también por ser una guía y apoyo. Se lo dedico también a Pao, amiga incondicional que siempre estuvo a mi lado en los mejores y malos momentos, apoyándome y motivándome a ser mejor cada día. Por último, a mis amigos y compañeros de carrera por los momentos gratos compartidos.

Judith Carolina

*La vida no es fácil, para ninguno de nosotros. Pero... ¡qué importa!  
Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo.  
Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa  
Y que esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste."*

-Marie Curie

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por este logro culminado, por apoyarnos siempre y mantenernos firme durante todo este proceso.

A nuestra amada familia, por motivarnos, por darnos ánimos y brindarnos su respaldo en todo momento.

Gracias a nuestra amada universidad y a nuestra hermosa facultad de ciencias agrarias por darnos el espacio y el placer de enriquecer nuestros conocimientos a lo largo de todos estos años.

Agradecemos a todos los docentes que con paciencia y entusiasmo nos brindaron sus conocimientos con el fin de ayudarnos a crecer como profesionales.

Infinitas gracias a nuestros directores José Luis Hoyos y Luisa Fernanda Restrepo por compartirnos su conocimiento y forjarnos a ser mejores personas a nivel personal y profesional, además de motivarnos y apoyarnos siempre.

A nuestros compañeros y amigos de carrera por el trabajo en conjunto y por los buenos momentos que se compartieron en todos estos años.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
OBJETIVOS.....	22
1. MARCO REFERENCIAL.....	23
1.1 LOCALIZACIÓN.....	23
1.2 MARCO TEÓRICO .....	23
1.2.1 Generalidades de la fresa.....	23
1.2.2 Compuestos bioactivos de la fresa .....	24
1.2.3 Compuestos fenólicos.....	24
1.2.4 Antocianinas .....	25
1.2.5 Secado por convección.....	26
1.2.6 Análisis proximal .....	26
1.2.7 Análisis colorimétrico .....	27
1.2.8 Actividad Antioxidante.....	27
1.2.9 Método DPPH .....	27
1.2.10 Método ABTS.....	28
1.2.11 Actividad de agua .....	29
1.2.12 Alimentos extruidos.....	29
1.2.13 Propiedades tecnofuncionales de productos extruidos.....	29
1.2.14 Método DNS .....	30
1.2.15 Dureza .....	30
1.3 MARCO HISTÒRICO.....	30
2. METODOLOGÍA .....	36
2.1 MATERIA PRIMA.....	36
2.2 REACTIVOS .....	36
2.3 MÉTODOS.....	37
2.4 CARACTERIZAR LA FRESA MEDIANTE UN ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARA ESTABLECER LAS CONDICIONES INICIALES DE LA FRUTA. ....	38
2.4.1 Recepción y acondicionamiento .....	38
2.4.2 Pruebas de plataforma.....	39

2.4.3	Caracterización física de la fresa fresca .....	39
2.4.4	Caracterización química de la fresa fresca .....	40
2.5.	ESTUDIAR LA CINÉTICA DE SECADO Y SU INCIDENCIA SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE FRESA.....	44
2.5.1	Secado de la fresa por convección .....	44
2.5.2	Caracterización química de la harina de fresa .....	46
2.5.3	Diseño experimental .....	46
2.6.	EVALUAR EL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE UN SNACK CON INCLUSIÓN DE HARINA DE FRESA. ....	47
2.6.1	Proceso de extrusión. ....	47
2.6.2	Pruebas físicas del snack .....	47
2.6.3	Análisis estadístico .....	48
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO DE LA FRESA FRESCA .....	49
3.1.1	Composición inicial de la fresa.....	49
3.1.2	Análisis proximal de las materias primas .....	50
3.1.3	Caracterización química de la fresa fresca .....	52
3.2	ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE SECADO Y SU INCIDENCIA SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE FRESA.....	53
3.2.1	Curva de secado.....	53
3.2.2	Velocidad de secado.....	54
3.2.3	Análisis químico de la harina de fresa .....	56
3.3	EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE UN SNACK CON INCLUSIÓN DE HARINA DE FRESA. ....	63
3.3.1	Análisis químico de los snacks extruidos con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C. ....	63
3.3.2	Análisis colorimétrico .....	69
3.3.3	Propiedades físicas.....	72
3.3.4	Azúcares reductores .....	75
4	CONCLUSIONES .....	77
5	RECOMENDACIONES .....	79

BIBLIOGRAFÍA.....80  
ANEXOS.....97

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Condiciones ideales para el cultivo de fresa.....	23
Tabla 2. Valores nutricionales de la fresa ( <i>Fragaria Vesca</i> ) porción de 100g.....	24
Tabla 3. Reactivos necesarios para las determinaciones de polifenoles totales, antocianinas, azúcares reductores y actividad antioxidante.....	36
Tabla 4. Ecuaciones para el cálculo de los parámetros de velocidad de secado $X_t$ (Humedad en un determinado tiempo t), X (Humedad libre) y R (Velocidad de secado).....	46
Tabla 5. Diseño experimental unifactorial.....	46
Tabla 6. Composición inicial de la fresa fresca en cuanto a tamaño, peso, °Brix, acidez titulable, pH e Índice de madurez.....	49
Tabla 7. Calibres de la fresa variedad Chandler.....	50
Tabla 8. Índice de madurez mínimo de acuerdo con la tabla de color.....	50
Tabla 9. Análisis proximal (Humedad, Cenizas, Extracto Etéreo, Proteína total, Fibra cruda y Extracto no nitrogenado) presentes en fresa fresca y harina de maíz. ....	51
Tabla 10. Contenido total de polifenoles (mg AG/g muestra b.s), Capacidad antioxidante ABTS y DPPH ( $\mu\text{mol}$ de TROLOX/g muestra b.s) y Antocianinas (mg pelargonidina 3-O-glúcosido/g b.s), para la fresa fresca.....	52
Tabla 11. Contenido de polifenoles extractables, hidrolizables y totales de la fresa fresca y las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.....	57
Tabla 12. Contenido de antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH de fresa fresca y harinas de fresa secadas a temperaturas de 40, 55 y 70°C.....	59
Tabla 13. Contenido de polifenoles totales de las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.....	63
Tabla 14. Contenido de antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH para las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y	

70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.....65

Tabla 15. Parámetros de color L\* a\* y b\* en las muestras de fresa fresca y snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C....69

Tabla 16. Parámetros de índice de expansión y dureza para los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.....72

Tabla 17. Contenido de azúcares reductores para fresa fresca y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70 °C.....75

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Clasificación de los compuestos fenólicos.....	25
Figura 2. Principales estructuras de antocianinas presentes en fresa. A (Estructura del grupo flavilo), B (Pelargonidina-3-O-glucósido), C (Cianidin-3-O-rutinósido) y D (Cianidina 3-O-glucósido).....	26
Figura 3. Diagrama de flujo para la obtención de un snack extruido adicionado con harina de fresa.....	37
Figura 4. Tabla de color de fresa variedad <i>Chandler</i> .....	38
Figura 5. Rodajas de fresa cortada en láminas de 2mm.....	45
Figura 6. Diagrama de flujo de fresa fresca en la etapa de recepción, adecuación, acondicionamiento, despigonado y almacenamiento.....	49
Figura 7. Gráficas de humedad libre (Kg agua libre/ Kg sólido seco) con respecto al tiempo (h), para fresas secadas en un horno de convección forzada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.....	54
Figura 8. Gráficas de Velocidad de secado (Kg agua / h.m <sup>2</sup> ) con respecto a la humedad libre (Kg agua libre/ Kg sólido seco), para fresas secadas en un horno de convección forzada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.....	56
Figura 9. Estructura general de los flavonoides (Aglicona).....	62
Figura 10. Muestras de fresa fresca (A) y snack con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C (B).....	69
Figura 11. Espacio de colores CIELAB/ L*a*b*.....	70

## LISTA DE ESQUEMAS

	pág.
Esquema 1. Estructuras del DPPH* antes y después de la reacción con el antioxidante.....	28
Esquema 2. Reacción del ABTS con el Persulfato de Potasio ( $K_2S_2O_8$ ) para formar el radical ABTS.....	28
Esquema 3. Estructura del ABTS*+ antes y después de la reacción con compuestos antioxidantes.....	29

## LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO A. Contenido de polifenoles extractables, hidrolizables y totales de fresa fresca y harinas de fresa seca.....	97
ANEXO B. Contenido de antocianinas de fresa fresca y harinas de fresa seca.....	98
ANEXO C. Capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH de fresa fresca y harinas de fresa seca.....	99
ANEXO D. Contenido de polifenoles totales de harinas de fresa y snacks con inclusión de harina de fresa.....	100
ANEXO E. Contenido de antocianinas de harinas de fresa y snacks con inclusión de harina de fresa.....	101
ANEXO F. Capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH de harina de fresa y snacks con inclusión de harina de fresa.....	102
ANEXO G. Análisis de color L*, a* y b*.....	103
ANEXO H. Prueba física de índice de expansión.....	105
ANEXO I. Prueba física de dureza.....	105
ANEXO J. Contenido de azúcares reductores de fresa fresca y snacks con inclusión de harina de fresa.....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

aw: Actividad de agua

A: Antocianinas

AA: Actividad antioxidante

ABTS: Radical catiónico 2,2'-azino- bis (3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico

AC-ABTS: Capacidad antioxidante por ABTS

AC-DPPH: Capacidad antioxidante por DPPH

AD: Secado con aire caliente

AG: Acido gálico

AOAC: Association of Analytical Communities

b.s: base seca

BRAE: Extractos de antocianina de arroz negro

CAE: Equivalente de catequina

CE50: Concentraciones del extracto al 50% de inhibición

CFE: Compuestos fenólicos extraíbles

CFH: Compuestos fenólicos hidrolizables

CFT: Compuestos fenólicos totales

Cy-3G: Cianidin-3-O-glucósido

D-BRAE: Extractos de antocianina de arroz negro secados en tambor

DNS: Ácido 3,5-dinitrosalicílico

DPPH: Radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

E-BRAE: Extractos extruidos de antocianina de arroz negro

EDTA: Ácido etilendiamino tetraacético

ELN: Sustancias libres de nitrógeno

FRAP: Antioxidante reductor férrico  
GAE: Equivalente de ácido gálico  
HPP: Polifenoles hidrolizables  
IE: Índice de expansión  
LPS: Lipopolisacáridos  
LT: Velocidad del tornillo  
MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
MS: Materia seca  
n: número de réplicas  
N: Newton  
pH: Potencial de Hidrogeno  
SEI: Índice de expansión seccional  
TA: Antocianinas totales  
TE: Equivalente de Trolox  
TF: Flavonoides totales  
TMA: Antocianinas monoméricas totales  
TPC: Contenido total de compuestos fenólicos  
WSI: Índice de solubilidad en agua

## RESUMEN

La fresa es uno de los cultivos de frutas más populares en todo el mundo, es caracterizada por su sabor, su valor energético y su atractivo color. También es una fruta versátil, ya que se puede utilizar en productos frescos, congelados o procesados. Contiene muchos componentes importantes, incluidos minerales, fibras y una rica fuente de fitoquímicos y vitaminas, por lo que han sido altamente clasificados entre las fuentes dietéticas más importantes de polifenoles y antioxidantes (Berutto Ahouagi *et al.*, 2021). En Colombia, dentro de la comercialización de fresa, se distinguen varias categorías conocidas como tipo extra, de primera, segunda, tercera, cuarta y quinta categoría, las cuales difieren entre ellas por su tamaño. Las dos primeras categorías, son las que mejor se comercializan en el mercado en fresco, mientras que las otras, también llamadas tipo industrial, son dirigidas por lo regular a otro tipo de mercados como el de pulpas, mermeladas y procesados debido a su menor tamaño. Para la evaluación inicial de la fresa, se realizó una caracterización físico-química obteniendo los siguientes resultados: °Brix (7,69), acidez titulable (0,89), pH (3,47) e índice de madurez (8,64). El análisis proximal de la fresa fresca arrojó resultados de humedad: 92,2051%, cenizas: 1,6573%, extracto etéreo: 0,5241%, proteína total: 0,7157%, fibra cruda: 2,1721% y extracto libre de nitrógeno: 2,7257%. El contenido de polifenoles totales de la fresa fresca fue de 21,6201 mg AG/g muestra b.s, los valores de capacidad antioxidante fueron de 133,4181  $\mu\text{mol}$  TROLOX/g muestra b.s por el método ABTS y 22,2912  $\mu\text{mol}$  TROLOX/g muestra b.s por el método DPPH, en cuanto a antocianinas y azúcares reductores los valores fueron de 0,5063 mg pelargonidina 3-O-glucosido/g de muestra b.s y 52,1840 mg glucosa/g de muestra b.s respectivamente. En el secado de la fresa, se utilizó un diseño unifactorial, en donde el factor fue la temperatura y los niveles fueron 40, 55 y 70°C. A partir de la cinética de secado, se realizaron gráficas de humedad libre respecto al tiempo y velocidad de secado respecto a humedad libre. Al final, se realizó una caracterización química de la harina de fresa secada a las diferentes temperaturas, en donde se observó que hubo una reducción del contenido de polifenoles extractables entre un 12 a 32%, mientras que un aumento en los polifenoles hidrolizables de más del 100%. En cuanto a las antocianinas, estas incrementaron de forma significativa de un 20 a 100% frente al valor obtenido en fresa fresca. Por el contrario, la capacidad antioxidante tanto por el método ABTS como DPPH disminuyó, observándose pérdidas de hasta 89,51% por el método ABTS y de un 66,91% para el método DPPH. Posteriormente, se llevaron las muestras a un proceso de extrusión, en donde se realizó una caracterización química a los snacks. Los polifenoles y antocianinas, mostraron una disminución después del proceso de 50 a 80% para compuestos fenólicos y de un 30 a 60% para el contenido de antocianinas. En cuanto a la capacidad antioxidante, se observó que esta aumento, tanto por el método ABTS como por DPPH en más del 100% en cada muestra. El análisis colorimétrico arrojó que la luminosidad ( $L^*$ ) y la coordina  $a^*$  disminuyeron, mientras que la coordenada  $b^*$

aumento. Los resultados arrojaron que en cuanto a índice de expansión los valores oscilaron entre 1,3996 y 1,4942, mientras que los valores de dureza se encontraron dentro del rango de 12,5172 y 25,6990N. Finalmente, los resultados de azúcares reductores de todos los snacks presentaron un aumento de más del 100% en comparación a los de la fresa fresca. La caracterización inicial, permitió clasificar las fresas según la NTC 4103 en un rango de calibre C y un estado de madurez entre 5 y 6. El análisis fisicoquímico, determinó que estas categorías de fresa presentan valores importantes de compuestos fenólicos, por lo que su aprovechamiento ayudaría tanto a la producción de fresa como a los pequeños productores. La cinética de secado, permitió determinar parámetros como humedad y velocidad de secado, con el fin de conocer el comportamiento de la muestra y así poder observar las diferentes etapas que se producen durante la deshidratación. El secado provocó una disminución de la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles extractables ya que estos están más expuestos a la degradación y oxidación por causa de algunas enzimas como la polifenol oxidasa después del colapso que sufre la pared celular. Sin embargo, los polifenoles hidrolizables presentaron un aumento al igual que las antocianinas, debido a la liberación de estos de la matriz celular. La extrusión, a diferencia del secado de la fresa, disminuyó los compuestos fenólicos y antocianinas, posiblemente a parámetros propios del proceso, como lo son las altas temperaturas (125°C), velocidad del tornillo, cizallamiento, humedad y altas presiones, los cuales son muy agresivos y permiten la formación de algunos compuestos productos de la reacción de Maillard como los furanos. En cuanto a los resultados del análisis colorimétrico en los snacks, posiblemente fueron ocasionados por el procesamiento térmico, en donde se redujo el color rojo característico de la fresa por la degradación de las antocianinas, tornándose un color más amarillo evidenciado en el aumento de la coordenada  $b^*$ . Las pruebas físicas están relacionadas con otros factores como por ejemplo la actividad de agua, la cual juega un papel importante dentro del extrusor, ya que, si se utilizan las harinas muy húmedas, estas aumentarían la humedad dentro del extrusor, provocando a su vez un aumento de la dureza. Finalmente, en los azúcares reductores se pudo evidenciar un incremento notable de estos compuestos, ocasionado posiblemente a algunas enzimas generada en los diferentes procesos, las cuales, con ayuda de la temperatura, reducen los azúcares complejos a sus monómeros más simples, generando así, el aumento de los mismos.

## ABSTRACT

Strawberry is one of the most popular fruit crops in the world, it is characterized by its flavor, its energy value, and its attractive color. It is also a versatile fruit, as it can be used in fresh, frozen, or processed products. It contains many important components, including minerals, fibers, and a rich source of phytochemicals and vitamins, which is why they have been highly ranked among the most important dietary sources of polyphenols and antioxidants (Berutto Ahouagi *et al.*, 2021). In Colombia, within the commercialization of strawberries, there are several categories known as extra type, first, second, third, fourth, and fifth categories, which differ among them by their size. The first two categories are the ones that are best marketed in the fresh market, while the others, also called industrial type, are usually directed to other types of markets such as pulp, jams, and processed due to their smaller size. For the initial evaluation of the strawberry, a physical-chemical characterization was carried out, obtaining the following results: °Brix (7.69), titratable acidity (0.89), pH (3.47) and maturity index (8.64). The proximal analysis of fresh strawberries yielded results of moisture: 92.2051%, ashes: 1.6573%, ether extract: 0.5241%, total protein: 0.7157%, crude fiber: 2.1721%, and free extract. Nitrogen: 2.7257%. The total polyphenol content of fresh strawberry was 21.6201 mg AG/g sample bs, the antioxidant capacity values were 133.4181 µmol TROLOX/g sample bs by the ABTS method and 22.2912 µmol TROLOX/g sample bs by the DPPH method, in terms of anthocyanins and reducing sugars, the values were 0.5063 mg pelargonidin 3-O-glucoside/g of sample bs and 52.1840 mg glucose/g of sample bs, respectively. In strawberry drying, a unifactorial design was used, where the factor was temperature and the levels were 40, 55, and 70°C. From the drying kinetics, graphs of free moisture vs. time and drying rate vs. free moisture were made. In the end, a chemical characterization of the strawberry flour dried at different temperatures was carried out, where it was observed that there was a reduction in the content of extractable polyphenols between 12 and 32%, while an increase in hydrolysable polyphenols of more than 100%. Regarding anthocyanins, these increased significantly from 20 to 100% compared to the value obtained in fresh strawberries. On the contrary, the antioxidant capacity of both the ABTS and DPPH methods decreased, with losses of up to 89.51% being observed for the ABTS method and 66.91% for the DPPH method. Subsequently, the samples were taken to an extrusion process, where a chemical characterization of the snacks was carried out. Polyphenols and anthocyanins showed a decrease after the process from 50 to 80% for phenolic compounds and from 30 to 60% for anthocyanin content. Regarding the antioxidant capacity, it was observed that this increase, both by the ABTS method and by DPPH in more than 100% in each sample. The colorimetric analysis showed that the luminosity (L\*) and a\* coordinate decreased, while the b\* coordinate increased. The results showed that in terms of expansion index, the values ranged between 1.3996 and 1.4942, while the hardness values were found within the range of 12.5172 and 25.6990N. Finally, the results of reducing sugars of all the snacks

presented an increase of more than 100% compared to those of the fresh strawberries. The initial characterization allowed the strawberries to be classified according to NTC 4103 in a range of caliber C and a maturity stage between 5 and 6. The physicochemical analysis determined that these strawberry categories present important values of phenolic compounds, so their use would help both strawberry production and small producers. The drying kinetics allowed determining parameters such as humidity and drying speed, to know the behavior of the sample and thus be able to observe the different stages that occur during dehydration. Drying caused a decrease in the antioxidant capacity and the content of extractable polyphenols since these are more exposed to degradation and oxidation due to some enzymes such as polyphenol oxidase after the collapse of the cell wall. However, hydrolysable polyphenols showed an increase, as well as anthocyanins, due to their release from the cellular matrix. Extrusion, unlike strawberry drying, decreased phenolic compounds and anthocyanins, possibly due to process parameters such as high temperatures (125°C), screw speed, shear, humidity, and high pressure, which are very aggressive and allow the formation of some compounds that are products of the Maillard reaction, such as furans. Regarding the results of the colorimetric analysis in the snacks, they were possibly caused by the thermal processing, where the characteristic red color of the strawberry was reduced due to the degradation of the anthocyanins, turning a more yellow color, evidenced in the increase of the coordinate  $b^*$ . The physical tests are related to other factors such as water activity, which plays an important role inside the extruder, since, if very wet flours are used, they will increase the humidity inside the extruder, causing in turn increased hardness. Finally, in the reducing sugars, a notable increase in these compounds could be evidenced, possibly caused by some enzymes generated in the different processes, which, with the help of temperature, reduce the complex sugars to their simplest monomers, thus generating the increase of them.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fresa es una fruta considerada una baya de estructura leñosa y corta vida. Su tallo es comprimido en forma de roseta o corona y se cultiva a temperaturas entre 18 y 25°C, con altitudes entre 0 y 3000 msnm (Cámara de comercio de Bogotá, 2015). Es uno de los principales productos frutícolas de Colombia, registrando una producción de 82.000 toneladas hasta el 2020. Los principales departamentos productores de fresa del país son Cundinamarca, Antioquia, Norte de Santander, Boyacá y Cauca. El departamento del Cauca, cuenta con una producción de 2.681 toneladas y es Sotará, el municipio con la mayor producción de fresa del departamento, registrando un 91% del área sembrada, seguida por los municipios de Totorò, Puracè y Silvia (MADR, 2020).

En Colombia, durante la producción y comercialización de fresa se distinguen varias categorías conocidas como extra, primera, segunda, tercera, cuarta y quinta categoría. Generalmente, el 25% de la producción se comercializa en el mercado en fresco, en donde son las fresas tipo extra y primera categoría las de mejor aceptación por los consumidores, mientras que el 75% restante son fresas de tercera, cuarta y quinta categoría de menor tamaño y generalmente, son dirigidas a otros mercados de la industria, como por ejemplo el de pulpas, deshidratados, mermeladas y procesados (MADR, 2020). Las pérdidas relacionadas por fresa que no se comercializa, se dan en la mayoría de las veces por no cumplir con los requerimientos solicitados en el mercado como se mencionó anteriormente, lo que conduce por lo general, a mermas económicas sustanciales en los pequeños productores. Sin embargo, este tipo de fruta puede ser transformada en otros productos con valor agregado, lo cual ofrecería nuevas soluciones y alternativas sostenibles para el consumo de la fresa y a su vez, incrementaría el tiempo de conservación de productos procesados e impulsaría ganancias económicas a familias beneficiarias.

Las fresas contienen más de 360 compuestos volátiles como aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, terpenos, furanos y compuestos que contienen azufre y algunos de ellos son responsables de su sabor. Los valores nutricionales de las fresas se correlacionan con la presencia de azúcares solubles, ácidos orgánicos, aminoácidos y vitaminas como: ácido fólico, tiamina, riboflavina, niacina, vitaminas: C, B6, K, A y E. También, se consideran una buena fuente de hierro, magnesio, yodo, cobre y fósforo. Las fresas son una fuente rica en compuestos fenólicos y flavonoides (principalmente antocianinas), responsables de la pigmentación de las plantas otorgando el color rojizo o morado, taninos hidrolizables (elagitaninos y galotaninos), ácidos fenólicos y taninos condensados (proantocianidinas), que son responsables de las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias de las frutas (Nizol, Misiorek y Ruman, 2019).

En las últimas décadas, se ha visto el creciente interés en los recursos de origen vegetal poco comercializados para aplicaciones en las industrias alimentaria,

como por ejemplo cereales para el desayuno, bocadillos, bebidas instantáneas o harinas pregelatinizadas. Los bocadillos o también llamados snacks, son ampliamente utilizados como ingredientes funcionales dado su alto contenido proteico, además de su capacidad antioxidante, la cual es otorgada por los compuestos fenólicos de la materia prima de origen vegetal. No obstante, para la elaboración de estos productos, es necesario el uso de tecnologías como el secado y la extrusión. El secado es una técnica convencional para la conservación y alargamiento de la vida útil de los alimentos, especialmente en aquellos con contenidos de humedad superiores al 80%, como es el caso de frutas y hortalizas. Por otra parte, la tecnología de extrusión, es un proceso de alta temperatura y corto tiempo, en donde pueden ocurrir diversas reacciones o cambios estructurales (físico-químicos y nutricionales), debido a factores como la temperatura, humedad, velocidad del tornillo, presión y alimentación, las cuales, a su vez, pueden degradar o alterar el contenido de polifenoles presentes en el alimento (Arribas *et al.*, 2019). Por esta razón, surge la pregunta de investigación ¿Qué cambios se generan en los compuestos fenólicos durante la obtención de un snack extruido adicionado con harina de fresa? Por lo que el objetivo principal de este proyecto, es dar inicialmente un aprovechamiento a las fresas tipo industrial, identificando las condiciones iniciales de la fruta, evaluando sus características fisicoquímicas y secándolas en un horno de convección forzada, para así obtener una harina de fresa, la cual se mezclará con harina de maíz y se llevará a extrusión. Además, se realizará una caracterización química en cada etapa del proceso, con el fin de evaluar la incidencia de las tecnologías de secado y extrusión en los compuestos fenólicos desde la fresa fresca hasta el producto final.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar los cambios en compuestos fenólicos durante la obtención de un snack extruido adicionado con harina de fresa.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la fresa mediante un análisis fisicoquímico para establecer las condiciones iniciales de la fruta.
2. Estudiar la cinética de secado y su incidencia sobre los compuestos fenólicos durante la obtención de harina de fresa.
3. Evaluar el efecto del proceso de extrusión en compuestos fenólicos durante la obtención de un snack con inclusión de harina de fresa.

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 LOCALIZACIÓN.

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Reología y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, ubicada en el municipio de Popayán, vereda las Guacas, con coordenadas geográficas 2°27'0.000" latitud Norte, 76°37'0.000" latitud oeste del meridiano de Greenwich, temperatura promedio de 18°C y precipitación promedio de 2000mm/año (Alcaldía Popayán, 2021).

### 1.2 MARCO TEÓRICO

#### 1.2.1 Generalidades de la fresa

Las características generales del cultivo de fresa se describen a continuación en la tabla 1:

Tabla1. Condiciones ideales para el cultivo de fresa.

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Altura sobre el nivel del mar	0 a los 3.000 msnm
Temperatura	Día entre 18 y 25 °C, noche entre 8 y 13 °C
Humedad relativa	Entre 60% y 75%
Requerimiento Hídrico	400-600 mm/año
Tipo de Suelo	Arenoso o franco arenoso con contenido de arena superior a 50%
Rango de pH	Moderadamente ácido, valores entre 5,7 y 6,5
Luminosidad	Las variedades de día corto requieren entre 8 y 12 horas de luz

Fuente: Cámara de comercio de Bogotá, 2015.

La fresa se desarrolla de manera adecuada en suelos ligeramente ácidos, sueltos, aireados y bien drenados, ya que los suelos pesados limitan el desarrollo radicular. La raíz es altamente sensible a la salinidad generando reducciones de hasta el 50% en el rendimiento de la planta. Se deben evitar suelos donde se haya cultivado antes papa, tomate, pimentón, melón, sandía y calabaza, con el fin de prevenir la propagación de enfermedades que comparten con estos cultivos. (Morales y Ramos, 2019. La fresa se caracteriza por tener un importante contenido de agua cercano al 90%, además de ser una fuente importante de compuestos fenólicos y antocianinas. En la tabla 2 se muestran los valores de la composición proximal del fruto (Trejo, Ramos y Pérez, 2007).

Tabla 2. Valores nutricionales de la fresa (*Fragaria Vesca*) porción de 100g.

COMPONENTE	CONTENIDO EN 100g	COMPONENTE	CONTENIDO EN 100g
Agua	89.6%	Vitamina A	1 ucg
Proteína	0,7%	Vitamina C	60 mg
Extracto etéreo	0,5%	Vitamina E	0,2mg
Carbohidratos	7%	Fósforo	26mg
Fibra	2,2%	Fenoles Totales	58-210mg
Potasio	190mg	Antocianinas Totales	55-145mg

Fuente: Díaz *et al.*, 2017.

### 1.2.2 Compuestos bioactivos de la fresa

Numerosos estudios epidemiológicos indican que la ingesta de frutas, verduras y extractos derivados, está relacionada con la promoción de la salud y la prevención de enfermedades. Las frutas de bayas, consumidas en todo el mundo, contienen diversos compuestos bioactivos vinculados a múltiples beneficios para la salud. Estos compuestos bioactivos son principalmente polifenólicos y se clasifican, según su estructura química, en varias categorías como ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, lignanos y taninos (hidrolizado o condensado). Los beneficios para la salud asociados con estos polifenoles se basan en sus propiedades antioxidantes, siendo los principales determinantes de la capacidad antioxidante total de la fruta, que se define como la capacidad de los compuestos antioxidantes para proteger un sistema biológico contra el efecto potencialmente dañino de los procesos o reacciones que implican especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (Cervantes *et al.*, 2020).

### 1.2.3 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal (Quiñones *et al.*, 2012). Son los metabolitos vegetales secundarios más comunes con más de 8.000 estructuras conocidas. Van desde estructuras simples como los ácidos fenólicos hasta estructuras complejas como los taninos. Los compuestos fenólicos se clasifican en diferentes clases como se muestra en la figura 1, en donde se observa que estos se dividen en 4 grupos como lo son los ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y estilbenos. Los flavonoides son los principales polifenoles de la dieta humana. Hay

seis subgrupos de flavonoides, estos son flavonas, flavanonas, flavonoles, flavonoides, antocianinas e isoflavonas. Las diferencias en la estructura de cada subgrupo se atribuyen en parte al patrón y grado de hidroxilación, prenilación, glicosilación y metoxilación. Los flavonoides más comunes son la quercetina, la catequina, la naringenina, la cianidina-glucósido y daidzeína (Oluwaseun *et al.*, 2021).

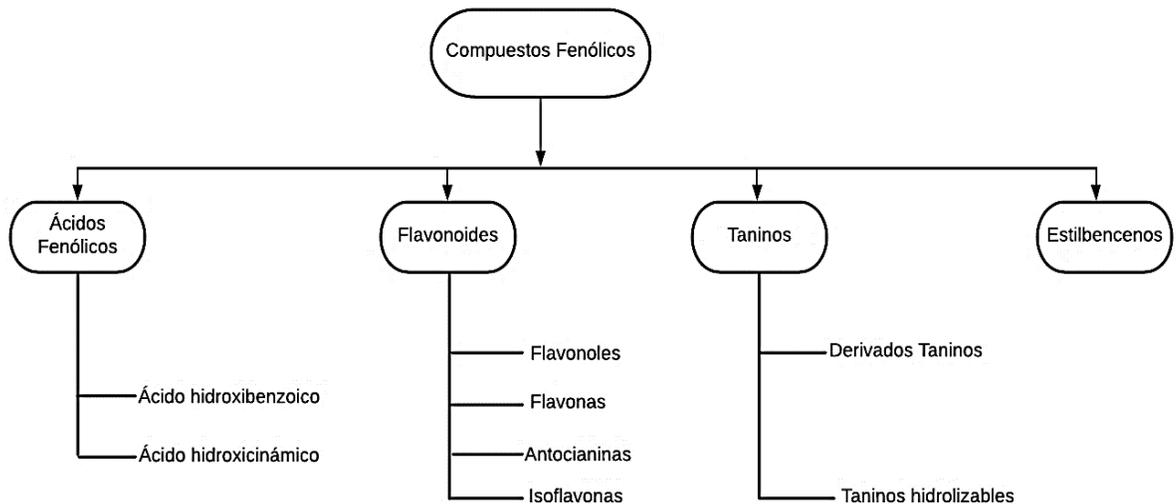


Figura 1. Clasificación de los compuestos fenólicos. (Adaptado de Extraction of phenolic compounds: A review, 2021).

#### 1.2.4 Antocianinas

Consideradas como una subclase de los flavonoides. Son compuestos vegetales no nitrogenados que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza; son responsables de una gama muy amplia de colores, desde el incoloro hasta el púrpura. En alimentos como uvas, manzanas, rosas y fresas producen colores como el rojo, anaranjado, azul y púrpura. Están conformadas estructuralmente por un núcleo central flavilo (unión de dos anillos bencénicos y uno heterocíclico con oxígeno) ver figura 2-A unido a una fracción de azúcar que pueden ser glucosa, ramnosa, galactosa, xilosa o arabinosa.

Estos compuestos se hallan principalmente en flores y frutas, generalmente en la cáscara o piel, como en el caso de las peras y las manzanas. Sin embargo, en alimentos como las ciruelas y fresas, estas se encuentran en la parte carnosa. En fresa las principales antocianinas encontradas según (Dzhanfezova *et al.*, 2020) son: pelargonidina 3-O-glucósido, pelargonidina 3-O-rutinósido y cianidina 3-O-glucósido (Figura 2 (B, C YD)), siendo la pelargonidina 3-O-glucósido responsable de dar una coloración rojo brillante a las fresas, mientras que la cianidina 3-O-glucósido refiere una coloración de un rojo más oscuro.

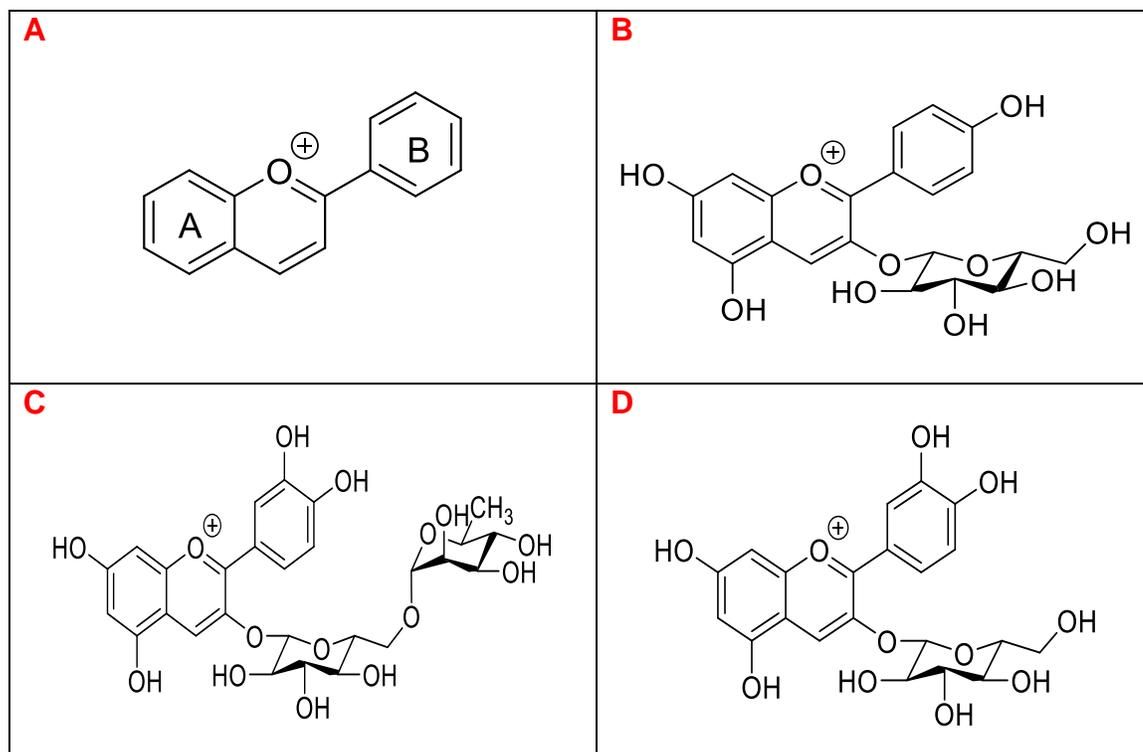


Figura 2. Principales estructuras de antocianinas presentes en fresa. A (Estructura del grupo flavilo), B (Pelargonidina-3-O-glucósido), C (Cianidin-3-O-rutinósido) y D (Cianidina 3-O-glucósido), (Dzhanfezova *et al.*, 2020).

### 1.2.5 Secado por convección

El secado convectivo (secador directo) es el método por el cual se transfiere calor a un sólido, objeto de secado, mediante una corriente de aire caliente, convirtiéndose en agente transportador del vapor de agua que se está eliminando. Por otro lado, los secadores directos utilizan aire caliente, ofreciendo un calentamiento más uniforme que los secadores indirectos. La temperatura y los largos periodos de secado por aire caliente afectan las características organolépticas del producto (sabor, olor y aroma). Aunque su principal ventaja son los bajos costos de inversión que se requieren utilizando esta tecnología (Arteaga *et al.*, 2013).

### 1.2.6 Análisis proximal

Es un análisis de tipo preliminar en el cual no pretende determinar con detalle la complicada composición de los alimentos, sino una primera aproximación desde el punto de vista nutricional, constituyéndose de esta manera en una técnica *In Vitro* que evalúa el valor nutritivo potencial de una determinada dieta o alimento.

El sistema consiste en la determinación analítica del agua (humedad), las cenizas: (material inorgánico), grasas brutas (extracción con éter, proteínas brutas: proteínas, péptidos, aminoácidos, bases nitrogenadas, amidas, nitrógeno vitamínico y fibra bruta: Celulosa, hemicelulosa, lignina insoluble, cutina. Además de las sustancias extractivas libres de nitrógeno (ELN): Almidón, glucógeno, azúcares, celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas, pigmentos, ácidos grasos de bajo peso molecular, vitaminas hidrosolubles, ácidos orgánicos (AOAC).

### 1.2.7 Análisis colorimétrico

Fundamenta la medida de la interacción de la luz de una determinada longitud de onda con un compuesto de interés (analito) presente en una disolución. Esta técnica suministra información cualitativa y cuantitativa sobre sustancias en disolución. El colorímetro es un instrumento diseñado para dirigir un haz de luz paralela monocromática a través de una muestra líquida y medir la intensidad del haz luminoso emergente. La fracción de luz incidente absorbida por una solución a una longitud de onda está relacionada con el paso óptico y con la concentración de la especie absorbente (Condezo *et al.*, 2015).

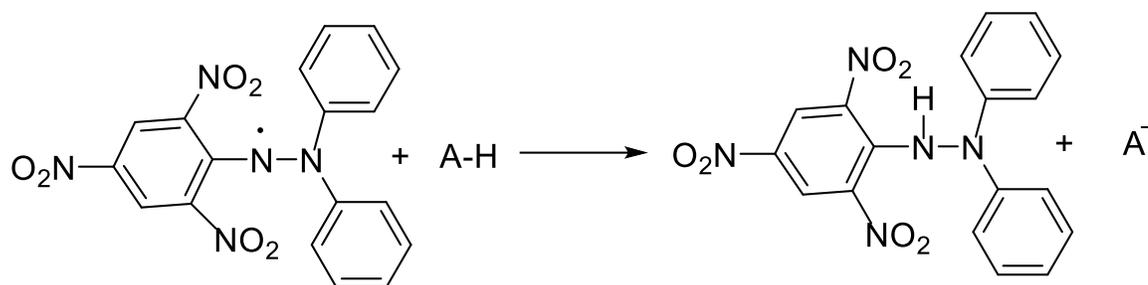
### 1.2.8 Actividad Antioxidante

Es aquella capacidad que tiene una sustancia para inhibir la degradación oxidativa (por ejemplo, la peroxidación lipídica), de tal forma que un antioxidante actúa, principalmente, gracias a su capacidad para reaccionar con radicales libres, es por ello que también recibe el nombre de antioxidante terminador de cadena. Dentro de la actividad antioxidante se tiene la actividad antiradicalaria que es aquella reactividad que presenta los antioxidantes frente a radicales libres y la capacidad antioxidante la cual mide la capacidad para retardar la degradación oxidativa (Londoño, 2012).

### 1.2.9 Método DPPH

Es un método propuesto por Blois en el año 1958, en el cual se demostró por primera vez la capacidad del radical libre DPPH\* para aceptar un radical de hidrogeno (H\*) proveniente de una molécula de cisteína. La molécula 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH\*) es conocida como un radical libre estable debido a la deslocalización de un electrón desapareado sobre la molécula completa, por lo cual la molécula no se dimeriza, como sucede en la mayoría de los radicales libres. La deslocalización del electrón también intensifica el color violeta intenso típico del radical, el cual absorbe en metanol o etanol a 517 nm. Pero cuando la solución de DPPH\* reacciona con el sustrato antioxidante, este color violeta va desapareciendo, esta reacción se puede observar con mayor claridad en el

esquema 1. Posteriormente, el cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente y es utilizado para la determinación de los parámetros para las propiedades antioxidantes (Bohórquez, 2016).



1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (radical libre)      1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (no radical)

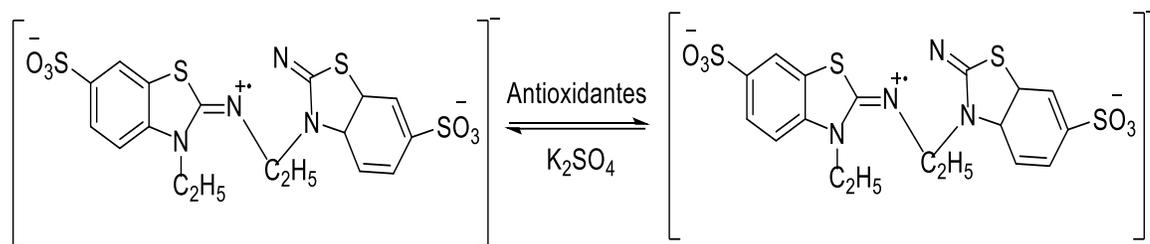
Esquema 1. Estructuras del DPPH\* antes y después de la reacción con el antioxidante (Bohórquez, 2016).

#### 1.2.10 Método ABTS

Método colorimétrico propuesto en 1993 por Miller, N.J, basado en la formación del catión radical ABTS<sup>•+</sup> por efecto de un agente oxidante (persulfato de potasio, K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) como se muestra en el esquema 2. Es un radical catión utilizado para el secuestro de aniones radicales de larga vida, el cual presenta una coloración intensa verde-azul que disminuye a medida que reacciona con compuestos con actividad antioxidante. La estructura del catión radical (ABTS<sup>•+</sup>) antes y después de la reacción con compuestos antioxidantes se muestra en el esquema 3. Los resultados obtenidos durante este procedimiento son expresados como inhibición y llevados a una concentración relativa de Trolox. La utilización de este tipo de radical permite la evaluación de antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos ya que presenta solubilidad en medios polares y apolares y no es afectado por la fuerza iónica, es de gran importancia en la industria, pues permite la evaluación de compuestos antioxidantes presentes en alimentos, extractos de plantas y fluidos biológicos (Bohórquez Fajardo, 2016) su máximo de absorbancia se presenta en 754nm.



Esquema 2. Reacción del ABTS con el Persulfato de Potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) para formar el radical ABTS.



Esquema 3. Estructura del ABTS\*+ antes y después de la reacción con compuestos antioxidantes (Bohórquez, 2016).

### 1.2.11 Actividad de agua

Es un parámetro relacionado con el contenido de agua de un alimento, concretamente con el agua disponible o no ligada al soluto. Es un parámetro determinante en su vida útil, ya que es indicativo del agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad enzimática durante la conservación del alimento. Su determinación es importante, tanto en la industria como en el laboratorio, debido a que es uno de los factores esenciales para determinar el método y el tiempo de conservación de elección para cada alimento (Vilgis, 2015).

### 1.2.12 Alimentos extruidos

La cocción por extrusión es un proceso que combina transferencia de calor y masa, además de cambios de presión y cizallamiento, para producir efectos como la cocción, esterilización, secado, enfriamiento, texturizado, mezclado, expansión y forma. La extrusión implica temperaturas altas (100–200°C) y tiempos cortos (10 a 60s), lo que modifica la estructura del almidón, composición y disponibilidad de nutrientes en los alimentos (Liscano y Samboni, 2019). En la industria alimentaria se puede utilizar el extrusor de tornillo simple o tornillos gemelos, en este último, se producen alimentos con mejor control de calidad y gran rango de condiciones de operación, por tanto, no se limita a alimentos o mezclas de alimentos viscosos, con altos contenidos de humedad y de grasa (González *et al.*, 2018)

### 1.2.13 Propiedades tecnofuncionales de productos extruidos

Las propiedades tecnofuncionales, o de funcionalidad tecnológica, son propiedades físico-químicas que proporcionan información sobre cómo se comporta una matriz alimentaria bajo condiciones específicas de proceso. En los productos extruidos existen varias propiedades que dan cuenta de este comportamiento, entre las que se destacan propiedades físicas como índices de solubilidad y adsorción de agua, índice de expansión, densidad, fuerza de ruptura, color, así como propiedades térmicas y microestructurales (Konrade *et al.*, 2019).

#### 1.2.14 Método DNS

Es un método colorimétrico que permite conocer las unidades reductoras presentes en los azúcares, este se basa en la reducción del ácido 3,5-dinitrosalicílico a 3-amino-5-nitrosalicílico en presencia de calor y azúcares reductores efectuándose la formación de un complejo de color amarillo, el cual se mantiene estable durante 24h. Este complejo presenta su máximo de absorbancia a 540nm (Miller Gail Lorenz, 2006).

#### 1.2.15 Dureza

Es un parámetro físico que evalúa la fuerza necesaria para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar, el cual se describe como la fuerza máxima en un tiempo determinado durante un primer ciclo de compresión, permitiendo evaluar la dureza con la que un alimento se quiebra o cruje, este parámetro se expresa en unidades de fuerza (Newton o  $\text{kg m s}^{-2}$ ) (Lepe Vásquez, 2017)

### 1.3 MARCO HISTÓRICO

Un grupo de investigadores analizaron los efectos del secado térmico en las fresas mediante la cinética de la actividad antioxidante (AA), las antocianinas (A) y el contenido total de compuestos fenólicos (CFT), así como también el color final de la fresa secas. Las temperaturas de secado evaluadas fueron 50 y 60°C con una tasa de aire de 1,5 m/s. Se utilizaron los métodos DPPH, diferencial de pH y el reactivo de Folin-Ciocalteu para evaluar las propiedades antioxidantes. La cinética de CFT y AA mostró un período inicial y final de degradación atribuido a la inhibición de enzimas. Una meseta entre estos dos períodos sugiere que, bajo ciertas condiciones de temperatura y contenido de agua, no ocurrieron reacciones de degradación. Se encontraron pérdidas finales de hasta 74, 45 y 78% para AA, A y CFT, respectivamente. El cambio de color total ( $\Delta E$ ) fue menor a 60 que a 50°C. Se produjo una pérdida del 50% de compuestos antioxidantes después de alcanzar un contenido de humedad inferior a 2g de agua /g b.s. A un nivel de humedad tan bajo, pueden ocurrir otras modificaciones, tales como cambios en la estructura de la matriz, promoviendo un aumento en la tasa de degradación. En general, el secado de las fresas a bajas temperaturas (por ejemplo, 50°C) puede conservar mejor los compuestos antioxidantes de la fresa, en particular las antocianinas (Méndez *et al.*, 2017).

En 2017 se realizó una investigación donde se evaluó el efecto de los diferentes procesos de secado en los compuestos bioactivos de murtilla (*Ugni molinae Turcz*) y su bioaccesibilidad, usando como parámetros de control los cambios de los compuestos bioactivos, tales como polifenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante. Cedeño investigó también, los cambios en los compuestos

bioactivos en las bayas de murta después de cada tratamiento de secado a través de una simulación gastrointestinal *in vitro*, considerando la etapa bucal, gástrica final, intestinal inicial, medio y final. Los polifenoles fueron analizados usando un método colorimétrico con el reactivo de Folin-Ciocalteu, mientras que el contenido de antocianinas totales mediante el método de diferencial de pH y el perfil de antocianinas por HPLC-DAD. La capacidad antioxidante se determinó a través del método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) y ORAC. Se encontró que los métodos de secado presentaron diferencias significativas sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de las bayas secadas de murta, pero fue el proceso de liofilización, el cual causó la menor degradación de los compuestos bioactivos, seguido por el secado al vacío y por último el secado por convección. Los resultados experimentales demostraron que la calidad de los productos de las bayas de murta en cuanto a los compuestos bioactivos, es afectada significativamente por el proceso de secado, siendo la liofilización el método que mejor conserva las propiedades beneficiosas de la murta (Cedeño,2017).

Natabirwa y colaboradores estudiaron las condiciones de proceso en la extrusión de snacks de frijol Roba1 frente al contenido de polifenoles totales, donde utilizaron: velocidad del tornillo (35 y 45 Hz), temperatura (120 y 150°C) y contenido de agua (15 y 20%), encontrando que las propiedades del extruido de frijol Roba1 diferían significativamente con la variación en la temperatura del extrusor, la humedad del alimento y la velocidad del tornillo, los aumentos en la velocidad del tornillo (LT) y la humedad de alimentación (QT) dieron como resultado un aumento en los polifenoles totales, posiblemente la alta velocidad del tornillo limita el tiempo de exposición de los polifenoles lo que lleva a una menor destrucción por acción de la temperatura. Optimizaron la calidad de snacks de harina de lenteja y piel de naranja a 16% de humedad, 150°C y 200rpm, con porcentajes de retención de polifenoles superiores al 70% comparado a la mezcla sin extruir, haciéndolo una excelente fuente de estos compuestos (Natabirwa *et al.*, 2018).

En 2018 se evaluaron los efectos del secado con aire caliente (AD), por congelación (FD) y ventana de refractancia (RWD) sobre la retención de antocianinas, fenoles, flavonoides, vitamina C y B, y capacidad antioxidante (ORAC) en arándanos, cerezas y fresas. Para el proceso de liofilización las frutas enteras se congelaron a -20°C y se esparcieron ordenadamente en bandejas en una capa a una presión absoluta de 0,5 mmHg. La temperatura de la placa utilizada como agente calefactor fue de 20°C mientras que la temperatura del condensador fue de -64°C. Para el secado por convección se utilizó un flujo de aire a 70°C y una velocidad de secado de 0,76 m/s durante 16h. Mientras que para el secado por ventana de refractancia fue necesario licuar las frutas para obtener un pure fino de cada uno, luego se esparció la película sobre una piscina de agua caliente y en circulación con un espesor de producto de aproximadamente 50 a 80 µm. La temperatura del agua de circulación del secador se fijó en 99°C. La temperatura promedio del producto fue de 88°C y las muestras

se secaron durante 3-4min. También se evaluaron los cambios de color, transición vítrea, calor específico y morfología superficial de los frutos secos. Se encontró que la retención de la calidad en los frutos secos era específica del producto y del método de secado. Los productos liofilizados exhibieron una mejor retención de vitamina C, ORAC, antocianinas y compuestos fenólicos (Nemzer *et al.*, 2018).

Dos investigadoras realizaron un estudio en donde evaluarón los efectos de la congelación convectiva y criogénica, el secado por microondas y convectivo al vacío, sobre las curvas de secado, el contenido de compuestos bioactivos y el color de los arándanos. El secado por convección y por microondas al vacío de los arándanos duró de 310 a 11700min y de 8,0 a 91,0 min, respectivamente. El contenido de fenoles totales (CFT), flavonoides totales (TF), antocianinas monoméricas totales (TMA) y los valores de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) de los arándanos secos fueron de 14.73 a 27.03 mg AG/g MS, de 2,54 a 3,75 mg CAE/g MS, de 0,26 a 3,41 mg Cy-3G/g MS, y de 23,11 a 48,36 mg de TE/g de MS, respectivamente. Los arándanos crudos secados por microondas al vacío a 300W se caracterizaron por los contenidos más altos de CFT, TF. Valores de TMA y FRAP. La luminosidad (L\*), enrojecimiento (a\*) y amarillez (b\*) de los arándanos secos fueron de 25,9 a 32,2, de 13,6 a 32,6 y de 2,8 a 12,8, respectivamente. Las bayas secadas por microondas al vacío a 300W se caracterizaron por la mayor luminosidad y enrojecimiento, mientras que las secadas a 100W se caracterizaron por presentar un color más opaco. El secado por microondas al vacío a baja potencia de microondas parece ser una buena alternativa al secado por convección de los arándanos. Tanto la congelación por convección como la criogénica fueron superiores a: secado por convección, en términos de tiempo de secado más corto, secado por convección a temperaturas del aire más altas de 80 y 90°C, en términos de mayor contenido de compuestos bioactivos y mayor capacidad antioxidante en arándanos secos, secado por microondas al vacío, en términos de mayores valores de enrojecimiento y amarilleamiento en arándanos secos (Zielinska y Zielinska, 2019).

En el 2020, Almirudis y su grupo de trabajo, evaluaron la actividad antioxidante y caracterización parcial, de la calidad proteica *in vivo* de harinas de amaranto obtenidas por extrusión a tres niveles de humedad de alimentación (HA) y dos niveles de temperatura (T). Se realizó análisis químico proximal, fenoles totales (CFT), y actividad antioxidante (AA). Los tratamientos con mayores y menores niveles de HA y T fueron evaluados en su calidad proteica usando un modelo murino, se incluyeron como referencia harinas de amaranto inflado comercial y sin procesar. Se evaluó la razón neta de proteína (RNP), digestibilidad aparente (DAN) y verdadera de nitrógeno (DVN). Los CFT y AA disminuyeron hasta en un 30 y 56%, respectivamente debido al proceso de extrusión. El análisis de calidad proteica *in vivo* mostró que los extruidos de amaranto presentaron mayor DVN (85 y 86,72 % para los menores y mayores niveles de HA y T, respectivamente) con respecto al amaranto inflado (84,55 %) y el amaranto sin procesar (83,01%). Las

pruebas de RNP fueron significativamente diferentes entre harinas extrudidas (4,11-4,32), inflado comercial (3,76) y sin procesar (3,81). En conclusión, el procesamiento por extrusión mejora la RNP y digestibilidad de proteína, sin embargo, los fenoles totales y actividad antioxidante se ven disminuidos (Almirudis *et al.*, 2020).

López y colaboradores, realizaron un estudio para comprender la cinética de secado de los compuestos fenólicos en las fresas, investigando el secado solar y el secado en bandejas a las temperaturas de 40, 50 y 60°C. Estos investigadores midieron los compuestos fenólicos totales (CFT), las antocianinas totales (TA) y la actividad antioxidante. El enrojecimiento y el ángulo de tonalidad disminuyeron durante el secado, lo que se asoció con la estabilidad de los compuestos fenólicos a diferentes temperaturas del aire. TA y CFT disminuyeron durante el proceso de secado a 60°C. Se obtuvieron índices de aromaticidad para clasificar la estabilidad durante el proceso de secado simulado. Los cambios observados en el comportamiento aromático se relacionaron con la desestabilización de los compuestos, lo que conduce a que el proceso de degradación es ocasionado por el método de secado. Estos resultados son útiles en la selección de las condiciones operativas para prevenir el deterioro del CFT y para comprender el papel que juegan las propiedades de la estructura electrónica de las moléculas de antocianina en su degradación (López *et al.*, 2020).

En el 2020 evaluaron el efecto de la humedad inicial y la temperatura de extrusión utilizando un diseño central compuesto sobre las propiedades físico-químicas de la harina integral de kiwicha, tales como actividad de agua, SEI, densidad, índice de absorción de agua, Índice de solubilidad en agua (WSI), color, textura (dureza y resistencia al cizallamiento), grado de gelatinización, propiedades de pegado, propiedades térmicas, compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante por DPPH (AC-DPPH) y ABTS (AC-ABTS). También optimizan la cocción por extrusión utilizando la metodología de superficie de respuesta maximizando SEI, WSI, CFT, AC-DPPH y AC-ABTS. Los parámetros de cocción por extrusión influyeron en las propiedades físico-químicas de la kiwicha extruida. La condición óptima fue temperatura de extrusión de 190°C y 14% de humedad inicial y los extruidos mostraron 7.17 SEI, 61,5% WSI, 101.2  $\mu\text{mol}$  trolox / g AC-DPPH, 364,2  $\mu\text{mol}$  trolox/g AC-ABTS y 34,5 mg AG/100 g CFT (Basilio *et al.*, 2020).

Uno de los más recientes estudios sobre el proceso de secado lo realizaron Tingting y su equipo de trabajo en el 2021, quienes determinaron el efecto de los procesos de secado y extrusión en tambor sobre las respuestas inflamatorias inducidas por lipopolisacáridos (LPS) por compuestos bioactivos y antioxidantes del extracto de arroz negro. Este estudio identificó el contenido total de fenólicos, flavonoides y antocianinas y las actividades antioxidantes *in vitro*. El análisis de constituyentes fitoquímicos de tres extractos enriquecidos con antocianinas de arroz crudo (BRAE), secado en tambor (D-BRAE) y extruido (E-BRAE) utilizando

UHPLC-LTQ-Orbitrap-MS/MS identificó provisionalmente nueve compuestos. La cianidina-3-glucósido fue la principal antocianina en los extractos de arroz negro. En contraste, se encontraron niveles significativamente reducidos de cianidin-3-o-glucósido y peonidin-3-o-glucósido en D-BRAE y E-BRAE, y el contenido de ácido protocatecuico aumentó obviamente en E-BRAE (Tingting *et al.*, 2021).

Las bayas son uno de los alimentos de mayor consumo en el mundo, para los años 2020-2025 se espera un crecimiento del 2% en el mercado mundial. Su consumo normalmente es en forma fresca, pero se puede encontrar también en productos tecnológicos como dulces y bebidas. Las bayas son alimentos que poseen una amplia gama de compuestos fitoquímicos asociados en contrarrestar el estrés oxidativo y la inflamación. La fresa es uno de los alimentos considerado como fuente importante de este tipo de compuestos ya que es un alimento rico en polifenoles los cuales proveen actividades antioxidantes y antiinflamatorios en el organismo, su consumo se ve relacionado con la disminución y prevención de enfermedades crónico- degenerativas (Battino *et al.*, 2021; Pap *et al.*, 2021). Entre los fenólicos más destacados, se encuentran las antocianinas, responsables de conferir actividades depuradoras, antiapoptóticas y antiinflamatorias dado a que posee dentro su estructura grupos catecol y pirogalol responsables de concederle la capacidad de quelar iones metálicos, neutralizar especies reactivas y radicales libres. Este tipo de compuestos se recomiendan como complemento para mitigar o incluso atenuar ciertos trastornos, como diabetes, cáncer y patologías cardiovasculares y neurológicas. Las antocianinas más conocidas son la cianidina 3-o-glucósido y la cianidina 3-o-rutinósido, en pruebas realizadas a humanos y animales se revelaron también que estos son compuestos funcionales capaces de aumentar las defensas antioxidantes y atenuar, o incluso mitigar, el desarrollo y progresión de muchas enfermedades no transmisibles y degenerativas como trastornos crónicos, aterosclerosis, síndrome metabólico, complicaciones oculares, renales, muchos tipos de cáncer y también como control del peso (Gonçalves *et al.*, 2021), es por ello, que este tipo compuestos en alimentos, genera un gran interés entre la comunidad científica y empresarial, pues representa beneficios en la salud y un potencial económico. De acuerdo a varios autores Navarro, Inma; Periago María Jesús y García Francisco, (2017); Gonçalves *et al.*, (2021) no existe una ingesta recomendada para este tipo de compuestos bioactivos, dado que su biodisponibilidad depende de diferentes factores como la variedad estructural, componentes genéticos, agronómicos, del procesamiento y almacenamiento de los alimentos, Además de las características propias intrínsecas de los seres humanos (p. Ej., edad, sexo, estados fisiológicos y / o patológicos y factores genéticos), los cuales inducen diferencias significativas en cuanto a enzimas y actividad de la micro biota dentro del organismo, es por ello que no se tiene un óptimo de ingesta diaria que se debería consumir.

Carkeet Clevidence y Novotny en (2018), realizaron un estudio clínico en donde investigaron la dosis y el metabolismo de las antocianinas presentes en la fresa en un diseño realizado a 12 adultos sanos, los cuales consumieron tratamientos de

puré de fresas en proporciones de 100, 200 y 400g, los diferentes estudios se realizaron a la orina de los adultos. Los resultados arrojaron valores de 15, 30 y 60  $\mu\text{mol}$  de antocianina, respectivamente. Se recolectaron muestras de orina durante 24h después de cada dosis y las muestras se analizaron por HPLC, arrojando que la pelargonidina 3-O-glucósido fue la principal forma de antocianina en los tratamientos. El aumento de la dosis dió como resultado una mayor aparición de antocianinas en la orina y la masa de cada monoglucurónido de pelargonidina aumentó en la orina al aumentar la dosis. Estos resultados demostraron que se puede absorber más antocianina de fresa al aumentar la dosis. Otros estudios, evaluaron la biodisponibilidad de las antocianinas en humanos que consumen una comida que contiene fresas e identificaron posibles metabolitos en la orina. Seis voluntarios sanos (tres mujeres y tres hombres) consumieron una comida que contenía 200g de fresas (que proporcionaban 179  $\mu\text{mol}$  de pelargonidina 3-O-glucósido). Se recolectaron muestras de orina antes y después de la comida y se trataron rápidamente mediante extracción en fase sólida. La identificación y cuantificación de los metabolitos de las antocianinas se llevaron a cabo mediante HPLC-ESI-MS-MS y HPLC con detección UV-visible, respectivamente. Además de pelargonidin-3-O-glucósido. Se identificaron cinco metabolitos de antocianina en orina: tres monoglucurónidos de pelargonidina, un sulfoconjugado de pelargonidina y la propia pelargonidina. La excreción urinaria total de metabolitos de antocianina de fresa correspondió a 1,80 +/- 0,29% de pelargonidin-3-O-glucósido ingerido. Cuatro horas después de la comida, se habían excretado más de dos tercios de los metabolitos de antocianina, aunque la excreción urinaria de los metabolitos continuó hasta el final del experimento de 24h. (Feligines *et al.*, 2003).

Ferruzzi *et al.*, (2009), evaluaron la biodisponibilidad del ácido gálico y las catequinas del extracto de polifenoles de semillas de uva en ratas, con el fin de observar las implicaciones que estas presentan para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer. La respuesta farmacocinética plasmática de los principales componentes fenólicos de semilla de uva, se midió después de una sonda intragástrica de 50, 100 y 150 mg de semilla de uva por kg de peso corporal. El análisis de cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS) identificó ácido gálico (91mg/g), catequina (147 mg/g) y epicatequina (164 mg/g) como los principales compuestos observados en el plasma de las ratas. La concentración máxima de los componentes individuales de semillas de uva y sus metabolitos aumentó al aumentar la dosis suministrada. Encontraron también, que la exposición diaria repetida de semilla de uva aumentó significativamente la biodisponibilidad ácido gálico, catequina y epicatequina en 198, 253 y 282% en relación con los animales que reciben solo una única dosis al día.

## 2. METODOLOGÍA

Este proyecto es de carácter investigativo en el que se tiene como propósito utilizar fresas tipo industrial como materia prima en la elaboración de un snack extruido, iniciando con un secado de la fruta mediante convección forzada para obtener una harina, la cual se llevará a un proceso de extrusión, y finalmente se evaluará la incidencia de dichos procesos sobre los compuestos fenólicos de la fresa. Según lo anterior, se planteó una metodología a nivel de laboratorio como se muestra a continuación:

### 2.1 MATERIA PRIMA

Para la elaboración del snack adicionado con harina fresa, se utilizaron como materias primas, fresa proveniente del municipio de Sotará, específicamente de la asociación Asofreso y harina de maíz la cual fue adquirida comercialmente.

### 2.2 REACTIVOS

Se emplearon los reactivos descritos en la tabla 3.

Tabla 3. Reactivos necesarios para las determinaciones de polifenoles totales, antocianinas, azúcares reductores y actividad antioxidante.

REACTIVOS	CARACTERISTICAS
Reactivo Foling-Ciocalteu; Metanol 99,9%; Acetona 70% v/v con agua destilada; EDTA 2% m/v; ácido fórmico 1% v/v; Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) 96%; Carbonato de sodio Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 7% y Acido gálico 99,5% p/p.	Determinación de polifenoles totales
Reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo); Reactivo ABTS (Acido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolona)-6- sulfónico); Persulfato de potasio (2,45 mM concentración final) 98% p/p; Buffer acetato de Sodio pH:4,5 y TROLOX 98% p/p.	Determinación de capacidad antioxidante
Etanol 99,8%; Ácido clorhídrico (HCl)-(0,1N)	Extracción y determinación de actividad antioxidante y antocianinas.
Reactivo DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico); Hidróxido de sodio 99% p/p; Tartrato de sodio y potasio 99% p/p y Glucosa anhidra.	Determinación de azúcares reductores

## 2.3 MÉTODOS

En la figura 3, se expone la metodología utilizada para la obtención de un snack extruido adicionado con harina de fresa.

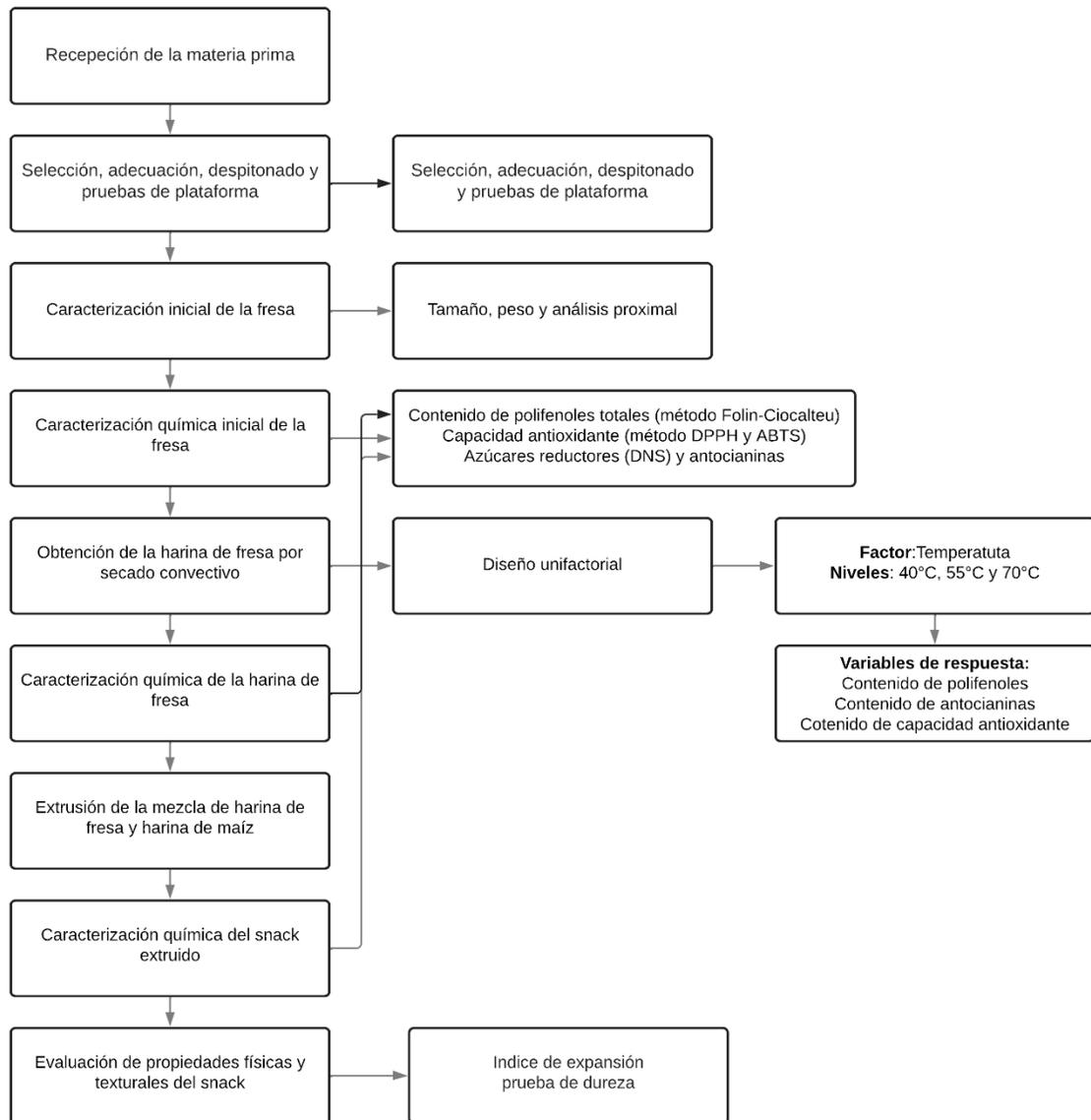


Figura 3. Diagrama de flujo para la obtención de un snack extruido adicionado con harina de fresa.

## 2.4 CARACTERIZAR LA FRESA MEDIANTE UN ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARA ESTABLECER LAS CONDICIONES INICIALES DE LA FRUTA.

Para el cumplimiento del objetivo se realizaron las siguientes actividades, teniendo en cuenta que después de la recepción y acondicionamiento de la fresa fresca, se tomaron 30g de esta y se licuaron para la evaluación de las pruebas de plataforma y caracterización química.

### 2.4.1 Recepción y acondicionamiento

#### 2.4.1.1 Recepción

Las fresas de cuarta y quinta categoría fueron suministradas por la asociación ASOFRESO, ubicada en el municipio de Sotará, estas se recibieron en bandejas de aluminio previamente higienizadas y rotuladas. Posteriormente, se llevaron a una temperatura de refrigeración de  $-18^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior uso.

#### 2.4.1.2 Selección

Se seleccionaron aquellas fresas sanas, enteras, con aspecto fresco y consistencia firme, exentas de cualquier olor y/o sabor extraño, además que se encontraran en estado de madurez 4, 5 y 6 según la tabla de color referida por la (NTC 4103) como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Tabla de color de fresa variedad *Chandler* (NTC 4103)

#### 2.4.1.3 Adecuación

Las fresas se sometieron a un lavado con abundante agua potable (18°C) por un periodo de 10min para eliminar cualquier resto de suciedad que haya quedado adherido en su superficie.

#### 2.4.1.4 Despitonado

En esta operación se extrajo completamente el pedúnculo y cáliz de la fresa, utilizando un utensilio de corte.

#### 2.4.2 Pruebas de plataforma

Se efectuaron las siguientes pruebas de plataforma a la fresa fresca para conocer sus características iniciales. Acidez titulable: la cual se determinó mediante el método de titulación potenciométrica según la NTC 4103 y su resultado se expresó en % de ácido cítrico. Determinación de Sólidos solubles totales: se realizó utilizando un refractómetro de mano marca ATAGO N-1α con rango de medición de 0-50 °Brix. Los resultados se expresan en sólidos solubles totales en unidades de °Brix, según la NTC 4103. Análisis Colorimétrico: se realizó tanto a la fresa fresca como a los snacks, utilizando un espectro-colorímetro NR20XE el cual expresa los resultados en espacio de color CIE L\*a\*b para el iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°. La determinación de pH, se realizó mediante un pHmetro marca OAKLON directamente al licuado de fresa. Actividad de Agua: se realizó mediante un medidor portátil marca Parwkit. Cabe mencionar, que para cada determinación se realizaron 20 mediciones. Para el porcentaje de Humedad, el cálculo se realizó por triplicado, utilizando una balanza analítica infrarroja marca KERN. Tanto la determinación de actividad de agua, como porcentaje de humedad, se realizaron no solo a la fresa fresca, sino también a las harinas de fresa y a los snacks con el fin de realizar los posteriores cálculos en cuanto a cinética de secado y cuantificación de compuestos fenólicos.

#### 2.4.3 Caracterización física de la fresa fresca

##### 2.4.3.1. Tamaño y peso

Para la caracterización física de la fresa fresca, se escogieron 20 fresas aleatoriamente y se pesaron en una balanza analítica marca fénix LEXUS, a las cuales se le midió su diámetro longitudinal y cercano al cáliz con la ayuda de un pie de rey marca Mitutoyo como se estipula en la NTC 4103.

#### 2.4.3.2 Análisis proximal

Se realizó un análisis proximal a la fresa fresca por triplicado, en donde inicialmente se evaluó la materia seca y porcentaje de humedad de la fresa siguiendo la metodología de la AOAC 925.10, para posteriormente seguir con las demás determinaciones. El contenido de cenizas se realizó por incineración en una mufla Thermolyne Furnace a 500°C durante 10h, según la AOAC 925.51. El extracto etéreo de las muestras se determinó por el método Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo en un equipo Sotest SX-G marca Raypa, para ello se realizó una recirculación continua, extrayendo la grasa y luego se cuantificó por pérdida de peso de la muestra de acuerdo a lo establecido por la AOAC 991.36. La determinación de la proteína se hizo por el método Kjeldahl de la AOAC 920.152, mediante digestión ácida y destilación de nitrógeno de la muestra, empleando el equipo Distillation Unit DNP marca Raypa y Digestor Raypa. El contenido de fibra se determinó por la AOAC 962.09, con la muestra previamente desengrasada por tratamiento con ácido-base y calcinación en un equipo Fibertest marca Raypa. El extracto no nitrógeno se obtuvo con el remanente de restarle al 100% de la muestra la suma obtenida en los análisis de humedad, proteína, extracto etéreo, fibra y cenizas.

#### 2.4.4 Caracterización química de la fresa fresca

Se determinó el contenido de polifenoles totales, antocianinas, azúcares reductores y capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS, como se muestra a continuación:

##### 2.4.4.1 Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT)

Los compuestos fenólicos se clasifican en fenólicos extraíbles (CFE), que se extraen con disolventes orgánicos acuosos, y fenólicos no extraíbles generalmente adheridos a la pared celular. Los compuestos fenólicos no extraíbles están englobados por compuestos fenólicos hidrolizables (CFH) y proantocianidinas no extraíbles (Pico *et al.*, 2019).

##### 2.4.4.1.1 Compuestos fenólicos extraíbles (CFE)

Para la extracción y posterior análisis del contenido de polifenoles extractables CFE, se basó en la metodología descrita por Pico *et al.* (2019) con algunas modificaciones. Se pesaron  $2,0000 \pm 0,0001$ g del licuado de fresa en un tubo falcón de 50mL. Se adicionaron a estos, 8 mL de metanol/H<sub>2</sub>O en una relación 80:20 y 0.1% de ácido fórmico, se agitó durante 25min a 200rpm en un agitador Thermo Scientific y se centrifugó a 3500rpm por 5min a temperatura ambiente en una centrifuga marca Hermle. El sobrenadante de esta primera extracción, se pasó a

un nuevo falcón, al cual se le agregaron 40µL del reactivo EDTA y se llevó a refrigeración unos minutos. El precipitado de la primera extracción, continua en el proceso para una segunda extracción, a este se le agregaron 8mL de acetona/ H<sub>2</sub>O en una relación 70:30 y 0.1% de ácido fórmico, se llevó a un agitador a 200rpm en un tiempo de 25min y se centrifugó a 3500rpm por 5min a temperatura ambiente. Después de la centrifugación, el sobrenadante se combinó con el extracto metanólico de la primera extracción y se completó hasta 20mL con agua destilada. El extracto se filtró y se mantuvo a -18°C para la determinación colorimétrica por reacción de Folin-Ciocalteu o evaluación de la capacidad antioxidante. El sedimento también se mantuvo a -18°C para una determinación secuencial adicional de compuestos fenólicos hidrolizables (CFH).

Para la reacción de Folin-Ciocalteu, se mezclaron en un tubo de ensayo 40µL del extracto con 1,8mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (dilución 1:10), se agitaron por 15s utilizando un vortex y se dejó actuar la reacción de la mezcla por 5min. Pasado este tiempo, se adiciono 1,2mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7% (m/v) y se agitó la mezcla nuevamente durante 15s. La muestra se incubó durante 30min a temperatura ambiente (20°C) en la oscuridad y la determinación espectrofotométrica se realizó a 765nm en un espectrofotómetro UV/Vis marca Shimatzu. El contenido total de CFE se expresó en mg de equivalentes de ácido gálico (AG)/g de materia seca. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

#### 2.4.4.1.2 Compuestos fenólicos hidrolizables (CFH)

La extracción y análisis de CFH se basó en el método descrito por Pico *et al.* (2019), con varias modificaciones. Se pesaron 0,8000±0,0005 g de muestra del sedimento de CFE en un tubo de vidrio y se añadieron 10mL de metanol/ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (90/10) v/v. La hidrólisis se llevó a cabo durante 22h en baño de arena a 85°C en un horno de convección forzada marca Binder. Después, la muestra se pasó a un tubo falcón de 50mL, se centrifugó a 3500rpm durante 5min y el sobrenadante se completó hasta 20mL con agua destilada. El extracto se filtró y se mantuvo -18°C para la determinación colorimétrica por reacción de Folin-Ciocalteu utilizando 40µL del extracto como se describió anteriormente. El contenido total de CFH se expresó en mg de equivalentes de ácido gálico (AG)/g de materia seca. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

La cuantificación del contenido fenólico se realizó mediante una curva patrón de ácido gálico, utilizando la ecuación 1 que se muestra a continuación:

$$Y = 1,0486X - 0,0052 \quad (1)$$

En donde:

Y: Absorbancia a 765nm.

X: Compuestos fenólicos totales en mg AG/ g muestra b.s.

#### 2.4.4.2 Método DPPH y ABTS

##### 2.4.4.2.1 Extracción de la muestra

Se utilizó como solvente de extracción etanol, siguiendo la metodología de Soto y Rosales, (2016), con algunas modificaciones. Se mezcló  $0,4000 \pm 0,0001$ g de muestra sólida más 6mL de etanol, se agitó la mezcla durante 15s y se almacenaron en nevera por 16h a una temperatura de 4°C. Después de este tiempo, la muestra se centrifugó en una centrifuga marca HERMLE a 5000rpm, 6°C y un tiempo de 20min, para finalmente filtrar y obtener el extracto que va a reaccionar con el DPPH y el ABTS.

##### 2.4.4.2.2 Método DPPH

La capacidad de captación de radicales DPPH se midió de acuerdo a la metodología descrita por Rivas *et al.* (2017), con algunas modificaciones. Para la preparación del reactivo, se mezclaron 50mL de etanol más  $0.0059 \pm 0,0001$ g de DPPH. La solución se llevó a ultrasonido durante 20 min y se almacenó en nevera durante 24h a una temperatura de 4°C. Transcurrido este tiempo, se aforó la solución con 250mL de etanol, para finalmente realizar la prueba, en donde se agregaron 100µL del extracto más 3,9mL de DPPH, se agitaron durante 15s y se llevó la muestra a un baño termostatado Polystat a una temperatura de 37°C en un tiempo de 30min. La lectura se realizó a una longitud de onda de 517nm utilizando un espectrofotómetro GENESYS 10S UV-Vis (Thermo SCIENTIFIC).

La cuantificación de la capacidad antioxidante se realizó mediante una curva de calibración con una solución patrón de TROLOX en etanol utilizando la ecuación 2 que se muestra a continuación:

$$Y = -0,0012X + 0,6636 \quad (2)$$

##### 2.4.4.2.3 Método ABTS

Se determinó según la metodología desarrollada por Rivas *et al.* (2017), con algunas modificaciones. La actividad antioxidante se obtuvo tras la reacción de ABTS (7mM) con persulfato de potasio (2,45mM concentración final) y buffer acetato de sodio (pH 4,5). La solución final se almacenó en nevera a una

temperatura de 4°C durante 16h. Una vez formado el radical ABTS, se aforó la solución con buffer hasta 250mL. La prueba se realizó añadiendo 135µL del extracto y 4mL del reactivo ABTS, se agitó durante 15s y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro marca GENESYS 10S UV-Vis (Thermo SCIENTIFIC) a una longitud de onda de 729,7nm.

La cuantificación de la capacidad antioxidante se realizó mediante una curva de calibración con una solución patrón de TROLOX utilizando la ecuación 3 que se muestra a continuación:

$$Y = -0,0008X + 0,6632 \quad (3)$$

#### 2.4.4.3 Determinación de Antocianinas

La extracción y posterior análisis de antocianinas, se realizó según el método de Ludeña *et al.* (2019), con varias modificaciones. Se pesó 1,0000±0,0001g de la muestra y se mezcló con 10mL de Etanol: HCl en una relación 70:30. Se llevaron a agitación por 15s y se almacenó a 4°C por 24h para realizar la respectiva extracción. Transcurrido este tiempo, se centrifugó a 12.000 g durante 15min y se tomó 3mL del sobrenadante, para posteriormente realizar la lectura en un espectrofotómetro marca GENESYS 10S UV-Vis (Thermo SCIENTIFIC) a una longitud de onda de 515nm.

Los resultados se procesaron teniendo en cuenta la ecuación 4 de la siguiente forma:

$$C \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{A}{\epsilon L} * PM * 10^3 \quad (4)$$

Dónde:

C = concentración molar.

A = Absorbancia

ε = coeficiente de extinción o absorbancia molar del pigmento 2400.

L = paso de la luz de la celda en cm. 1=cm.

PM = peso molecular del pigmento (pelargonidina 3-O-glucósido) 433,2 g /mol.

#### 2.4.4.4 Determinación de azúcares reductores

Para la cuantificación de azúcares reductores se utilizó el reactivo DNS siguiendo el método descrito por Flores, (2018), con algunas modificaciones. Para la

preparación del reactivo, se disolvieron  $5,0000 \pm 0,0001$ g de DNS en 200mL de agua destilada y  $8,0000 \pm 0,0001$ g de Hidróxido de sodio (NaOH) previamente disuelto en 75mL de agua destilada. La solución se sumergió en agua a una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 20min. Luego, se adicionaron  $150,0000 \pm 0,0001$ g de tartrato de sodio y potasio, se agitó hasta disolución completa y se transfirió la mezcla a un balón de 500mL, el cual se aforó con agua destilada. El reactivo se almacenó en un frasco ámbar en refrigeración a  $4^{\circ}\text{C}$ , hasta su posterior uso. Para la prueba, se pesaron  $0,0500 \pm 0,0001$ g de muestra y se disolvieron en 5mL de agua destilada, se agregó 1mL de DNS, se realizó agitación durante 15s y se transfirió la mezcla a tubos de ensayo los cuales se llevaron a agua en ebullición durante 5min. Pasado este tiempo, se refrigeró la mezcla por 10min, después, se sacaron de la nevera y se dejaron a temperatura ambiente por 4min más, finalmente, se realizó la medición en un espectrofotómetro marca GENESYS 10S UV-Vis (Thermo SCIENTIFIC) a una longitud de onda de 540nm.

La cuantificación de azúcares reductores se realizó mediante una curva de calibración con una solución patrón de glucosa utilizando la ecuación 5 que se muestra a continuación:

$$Y = 0,00057X - 0,07711 \quad (5)$$

## 2.5. ESTUDIAR LA CINÉTICA DE SECADO Y SU INCIDENCIA SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE FRESA.

Para el desarrollo de este objetivo fue necesario realizar las siguientes actividades:

### 2.5.1 Secado de la fresa por convección

Se realizó el secado de la fresa por convección utilizando como fluido aire caliente en condiciones constantes en un horno marca Binder, siguiendo la metodología expuesta en el Manual de prácticas para operaciones de transferencia de masa de la Universidad del Cauca, facultad de ciencias agrarias.

#### 2.5.1.1 Adecuación de la fresa

La fresa fresca se cortó en rodajas de 2mm como se muestra en la figura 5, el secado se realizó en bandejas de aluminio previamente higienizadas a las cuales se les calculó el peso inicial de cada una y también el peso de la bandeja más la muestra para los posteriores cálculos.



Figura 5. Rodajas de fresa cortada en láminas de 2mm (Fuente: Este estudio).

#### 2.5.1.2 Secado

Se distribuyeron totalmente las rodajas de fresa en bandejas de aluminio y se sometieron a un secado en un horno Binder a temperaturas de 40, 55 y 70°C hasta alcanzar un peso constante. Se midieron los tiempos de secado, pesando las bandejas cada 15min las primeras 2h y cada 30min las horas posteriores, para cada temperatura hasta alcanzar un peso constante. Los resultados de peso se calcularon mediante una balanza analítica. Además, se midieron las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco dentro y fuera del horno.

#### 2.5.1.3 Velocidad de secado

Los parámetros de velocidad de secado se calcularon a partir de los datos mencionados en el numeral 2.5.1.2 siguiendo la metodología expuesta en el libro de Geankoplis (1998). Las ecuaciones que se utilizaron se muestran en la tabla 4. Se tuvieron en cuenta también, los valores del porcentaje de humedad inicial de la muestra y área de la bandeja, para el cálculo de cada parámetro y así poder realizar tanto las gráficas de humedad libre vs tiempo, como la de velocidad de secado vs humedad libre.

Tabla 4. Ecuaciones para el cálculo de los parámetros de velocidad de secado  $X_t$  (Humedad en un determinado tiempo  $t$ ),  $X$  (Humedad libre) y  $R$  (Velocidad de secado).

PARÁMETRO	ECUACIÓN
Humedad en un tiempo $t$ ( $X_t$ ) Kg totales de $H_2O$ / Kg de solido seco.	$X_t = \frac{W(\text{Peso del solido humedo}) - W_s(\text{Peso del solido seco})}{W_s(\text{Peso del solido seco})}$
Humedad libre ( $X$ ) Kg de $H_2O$ libre/ Kg de solido seco.	$X = X_t(\text{Humedad en un tiempo } t) - X^*(\text{Humedad de equilibrio})$
Velocidad de secado ( $R$ ) Kg de $H_2O$ / h. $m^2$	$R = \frac{L_s(\text{Solido seco usado})}{A(\text{Area de la bandeja})} * \frac{dX(\text{Diferencial de humedad})}{dt(\text{Diferencial de tiempo})}$

### 2.5.2 Caracterización química de la harina de fresa

Después del secado de la fresa, se realizó una molienda en un molino IKA MF 10 basic para disminuir el tamaño de partícula. Después se realizó una caracterización química siguiendo con los criterios establecidos en la subsección 2.4.4

### 2.5.3 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental unifactorial para evaluar el efecto de 3 niveles de temperatura sobre las propiedades químicas de la harina de fresa como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Diseño experimental unifactorial

FACTOR	NIVELES	VARIABLES DE RESPUESTA
Temperatura (°C)	40	Contenido de polifenoles totales. Contenido de antocianinas. Contenido de antioxidantes por el método DPPH y ABTS.
	55	
	70	

## 2.6. EVALUAR EL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE UN SNACK CON INCLUSIÓN DE HARINA DE FRESA.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron las actividades que se describen a continuación:

### 2.6.1 Proceso de extrusión.

Las harinas de fresa secadas a las diferentes temperaturas se mezclaron con la harina de maíz en una proporción 13,55-86,45%. Las mezclas se llevaron hasta una humedad del 24% y se almacenaron en bolsas cryovac® herméticamente selladas, en un lugar seco y en condiciones de oscuridad durante 24h. Posteriormente, estas pasaron al proceso de extrusión, en donde se utilizó un extrusor de tornillo simple marca Haake Polylab OS, Alemania, controlado por el software Polysoft. El extrusor consta de un tornillo sin fin de 475mm de longitud (L) y 19 mm de diámetro (D), con una relación L/D 25:1 y relación de compresión del tornillo de 5:1. Se procesaron unidades experimentales de 300g utilizando una boquilla de 2,5mm, con velocidad de rotación del tornillo de 140 rpm y un perfil de temperatura promedio de 125°C (95-125-135-145) °C. Los snacks obtenidos luego del proceso de extrusión, se secaron en una cámara de secado marca BINDER a 50°C, hasta alcanzar una humedad de 3,0±0,5%, luego se almacenaron en bolsas de cierre hermético y metalizado, en un lugar seco y en condiciones de oscuridad. Para la cuantificación de los compuestos químicos se utilizó como blanco, harina de maíz, a la cual se le realizó también una caracterización química para conocer el aporte de esta en la mezcla y así poder realizar las debidas correcciones.

### 2.6.2 Pruebas físicas del snack

#### 2.6.2.1 Índice de expansión

Se determinó tomando al azar 20 muestras extruidas de cada tratamiento, a las cuales se les determinó el diámetro promedio utilizando un pie de rey marca Mitutoyo y se relacionaron con el diámetro de la boquilla del extrusor (2,5mm) (Álvarez *et al.*, 1988, Fan *et al.*, 1996 citado por Ding *et al.*, 2005), como se muestra en la ecuación 6.

$$\text{Indice de Expansion (IE)} = \frac{\text{Diametro del producto extruido (mm)}}{\text{Diametro de la boquilla del extrusor (mm)}} \quad (6)$$

### 2.6.2.2 Prueba de dureza

Para esta prueba se utilizó la máquina universal para ensayos mecánicos -Instron modelo Shimadzu EZ-L, con una celda de carga de 500N y un émbolo de compresión de cabeza plana a una velocidad de ensayo de 1,0mm/s, comprimiendo cada muestra al 50% de su altura original, proceso controlado por el software Trapesium. Se realizaron 20 mediciones por tratamiento y para cada muestra se tomó por triplicado la longitud y diámetro en el centro del snack con un pie de rey. La dureza se reportó a partir de la máxima fuerza requerida para la rotura de cada muestra siguiendo la metodología de Mostacilla y Ordoñez, (2019).

Por último, la caracterización química y prueba con el reactivo DNS de los snacks extruidos, se hizo siguiendo los parámetros ya mencionados en la subsección 2.4.4, y 2.4.4.4 y así poder evaluar como afecto el proceso de extrusión a los componentes bioactivos y los azúcares reductores en la fresa.

### 2.6.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con nivel de significancia  $p=0,05$  y pruebas de comparación múltiple de Tukey y Dunnett, utilizando Minitab 18 como el software estadístico para el análisis de los datos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fresas suministradas por la asociación ASOFRESO, se evaluaron siguiendo los criterios estipulados en la NTC 4103 para cada etapa del proceso como se muestra en la figura 6, en donde se observa el diagrama de flujo de la fresa desde la recepción hasta su almacenamiento en un congelador freezer Thermo Scintific a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior uso.

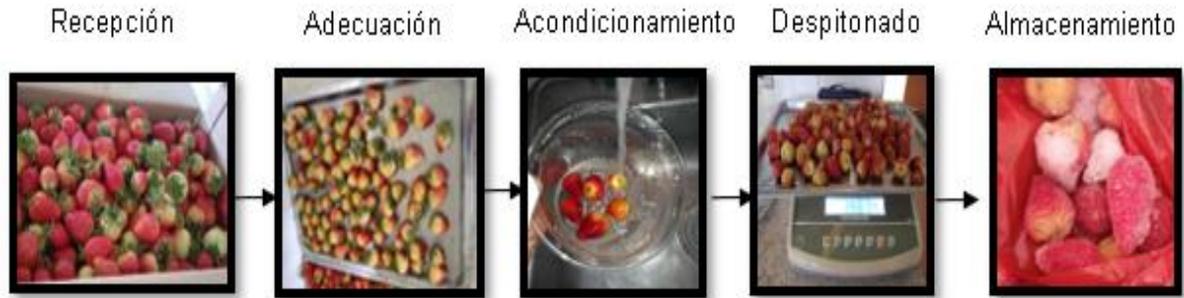


Figura 6. Diagrama de flujo de fresa fresca en la etapa de recepción, adecuación, acondicionamiento, despitonado y almacenamiento (Fuente: este estudio).

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DE LA FRESA FRESCA

##### 3.1.1 Composición inicial de la fresa

Se evaluaron las condiciones iniciales de la fresa en cuanto a tamaño (diámetro longitudinal y cercano al cáliz), peso, acidez titulable, pH, índice de madurez y sólidos solubles totales como se muestra en la tabla 6. Para cada determinación, se realizaron 20 mediciones, las cuales se promediaron y se calcularon sus respectivas desviaciones.

Tabla 6. Composición inicial de la fresa fresca en cuanto a tamaño, peso, °Brix, acidez titulable, pH e Índice de madurez.

<b>COMPOSICIÓN INICIAL DE LA FRESA</b>			
<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>
Peso (g)	$13,8538 \pm 0,7515$	°Brix	$7,69 \pm 0,27$
Diámetro longitudinal (mm)	$34,3714 \pm 0,7028$	Acidez titulable	$0,89 \pm 0,03$
Diámetro cerca al cáliz (mm)	$27,3857 \pm 0,7286$	pH	$3,47 \pm 0,02$
		Índice de madurez	$8,64 \pm 0,05$

Los valores de peso y diámetro cercano al cáliz obtenidos en la tabla 6, clasifican la fresa fresca como calibre tipo C (fresas de tercera categoría), rango establecido por la NTC 4103 (ver tabla 7), la cual indica, que la fresa de este análisis se encuentra dentro del rango de peso promedio de 11,7g de fruta y diámetro cercano al cáliz entre 25-29mm. Por otro lado, la relación entre el contenido de sólidos solubles totales expresados en °Brix y la acidez titulable, indican un índice de madurez de 8,64 y coloración o madurez entre 5 y 6 (ver tabla 8). Estos valores son importantes ya que permiten dar una apreciación del estado de maduración de la fruta, para poder así tener una adecuada manipulación poscosecha de los frutos evitando el deterioro de estos hasta su destino final.

Tabla 7. Calibres de la fresa variedad Chandler.

<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>CALIBRE</b>	<b>PESO PROMEDIO (g)</b>
≥34	A	21,8
33-30	B	16,1
29-25	C	11,7
24-21	D	8,0
≤ 20	E	5,3

Fuente: Norma Técnica Colombiana 4103

Tabla 8. Índice de madurez mínimo de acuerdo con la tabla de color.

<b>COLOR</b>	0	1	2	3	4	5	6
<b>°BRIX/%ÁCIDO CÍTRICO.</b>	5,7	6,2	6,6	7,1	7,4	8,2	8,9

Fuente: Norma Técnica Colombiana 4103

### 3.1.2 Análisis proximal de las materias primas

La composición de la fresa fresca y la harina de maíz se determinaron mediante la metodología descrita por la AOAC por triplicado, con el fin de conocer el contenido de macronutrientes presentes en las materias primas empleadas para la elaboración del snack. La tabla 9, presenta los resultados obtenidos de este análisis, utilizando un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6,25.

Tabla 9. Análisis proximal (Humedad, Cenizas, Extracto Etéreo, Proteína total, Fibra cruda y Extracto no nitrogenado) presentes en fresa fresca y harina de maíz.

ANÁLISIS	RESULTADOS ANÁLISIS PROXIMAL (%)	
	FRESA FRESCA	HARINA DE MAÍZ
Humedad	92,2051 ± 0,0510	11,6261 ± 0,0724
Cenizas	1,6573 ± 0,0293	1,3679 ± 0,0006
Extracto Etéreo	0,5241 ± 0,0010	3,7749 ± 0,0028
Proteína total	0,7157 ± 0,0086	8,3412 ± 0,0002
Fibra cruda	2,1721 ± 0,0663	1,7951 ± 0,0001
Extracto libre de Nitrógeno (ELN)	2,7257 ± 0,0890	73,0948± 0,0724

Los resultados del análisis proximal encontrados en fresa fresca se encuentran relacionadas en gran medida con lo reportado por otros autores, como Hossain *et al.*, (2016) y Ríos de Souza *et al.*, (2014), quienes realizaron estudios sobre la composición de nutrientes presentes en diferentes genotipos de fresa, estos obtuvieron valores de humedad entre (92,19 y 92,68), muy similares al valor obtenido en este estudio de 92,20. Los valores de proteína (0,62 y 0,50), extracto etéreo (0,36 y 0,25) y cenizas (0,61 y 0,27) se encontraron por debajo de los calculados en esta investigación, los cuales fueron de 0,71 para proteína, 0,52 para extracto etéreo y 1,65 para porcentaje de cenizas, este último valor, podría representar que el tipo de fresa que se evaluó en este estudio, contiene un mayor contenido de minerales respecto a los genotipos de fresa estudiados por estos autores. Al igual que el porcentaje de humedad, el contenido de fibra dietética (2,17) y contenido libre de nitrógeno (2,72), es similar a los reportados por Hossain *et al.*, (2016) y Ríos de Souza *et al.*, (2014), los cuales reportaron valores de 2,24 y 2,43 para fibra dietética y 3,31 y 2,57 para contenido libre de nitrógeno. En cuanto al contenido de azúcares reductores medidos por el método de DNS, se observó que la fruta fresca presenta un contenido de 52,1840 mg glucosa/ g muestra b.s.

Por otra parte, la harina de maíz también presentó similitud por lo reportado en otros estudios, como por ejemplo los resultados arrojados por el Instituto Colombiano de Bienestar familiar (2015), para harinas de maíz y centeno, con valores de humedad de 10,60 y 12,00 respectivamente, similares al valor obtenido en este estudio el cual es de 11,62. En un análisis proximal realizado a varios tipos de harina de maíz y maíz crudo por Contreras (2009), se observó que los valores encontrados para proteína oscilaron entre (7,12 y 8,39), fibra cruda (1,10 y 2,63), cenizas (0,74 y 1,59), extracto etéreo (0,93 y 4,63) y extracto libre de nitrógeno (70,84 y 82,11) los cuales muestran semejanza a los valores obtenidos en este

estudio y reportados en la tabla 9. La variación observada en algunas de las determinaciones, posiblemente se dan por la influencia del cultivo, tiempo de cosecha, madurez, etapa de maduración, condiciones climáticas y del suelo, exposición al sol, ubicación del fruto en la planta y manejo poscosecha (Ríos de Souza *et al.*, 2014).

### 3.1.3 Caracterización química de la fresa fresca

La caracterización química de la fresa fresca se observa en la tabla 10, en donde se evidencia el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH y contenido de antocianinas.

Tabla 10. Contenido total de polifenoles (mg AG/g muestra b.s), Capacidad antioxidante ABTS y DPPH ( $\mu\text{mol}$  de TROLOX/g muestra b.s) y Contenido de antocianinas (mg pelargonidina 3-O-glucósido/g b.s), para fresa fresca\*.

Compuestos Químicos	Valor
Contenido total de polifenoles totales	21,6201 $\pm$ 0,0635
Capacidad antioxidante ABTS	133,4181 $\pm$ 0,9389
Capacidad antioxidante DPPH	22,2912 $\pm$ 0,8544
Contenido de antocianinas	0,5063 $\pm$ 0,6827

\* Los datos representan los valores promedio  $\pm$  la desviación estándar, (n=3).

El contenido de polifenoles totales relacionado en la tabla 10 (21,62 mg AG/g muestra b.s), está por encima de lo reportado por Ruiz (2016) de (3,64 mg AG/g de muestra seca). Para antocianinas, el valor correspondiente a 0,5063 $\pm$ 0,6827, se encuentra por debajo de los valores reportados por López *et al.*, (2020) y Alonzo *et al.*, (2013), lo cuales obtuvieron valores de 1,50 y 0,62 mg de pelargonidina 3-O-glucósido/g b.s respectivamente. Por otra parte, el contenido de capacidad antioxidante medidos por los métodos DPPH y ABTS de este estudio también muestra un menor contenido de actividad antiradicalaria respecto a los obtenidos por otros autores. Morales *et al.*, (2014) encontraron un contenido de capacidad antioxidante de 55,03  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/g muestra b.s. para el método DPPH, mientras que Rekika *et al.*, (2005) obtuvieron valores entre 198,8 a 272,4  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/g muestra b.s por el método ABTS.

## 3.2 ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE SECADO Y SU INCIDENCIA SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE FRESA.

### 3.2.1 Curva de secado

El contenido de humedad libre de una muestra, es aquella que está por encima del punto de equilibrio. Esta se puede eliminar por medio de un proceso de secado, con las condiciones dadas de porcentajes de humedad (Geankoplis, 1998). El proceso de secado esta normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad constante y una fase decreciente. Las curvas del contenido de humedad frente al tiempo de secado a temperaturas de (40, 55 y 70) °C, se muestran en la figura 7. Se encontró, que las muestras procesadas a 70°C presentan un tiempo más corto de secado, debido a que es el secado con la mayor temperatura. Por lo que, a temperaturas más altas, mayor es la velocidad de secado, Carvajal (2016), indica que la temperatura influye directamente en la velocidad de secado, favoreciendo la transferencia de masa y pérdida de agua en las muestras. Se observó también, que para la temperatura de 55 y 70°C la etapa de precalentamiento se pronuncia más, esto se debe posiblemente a que a estas temperaturas alcanzan la temperatura de bulbo húmedo del ambiente más rápido. Estos resultados son similares con el trabajo de Ruiz en 2016, quien realizó un secado convectivo de la fresa y las muestras que más rápido alcanzaron la etapa de precalentamiento fue a las temperaturas de 50 y 70°C (Ruiz, 2016).

La etapa constante se evidencia con mayor claridad en las muestras secadas a 40°C. Durante el periodo de velocidad constante, los fenómenos de transporte que tienen lugar son la transferencia de materia de vapor de agua hacia el medio ambiente, desde la superficie del producto a través de una película de aire que rodea el material, y la transferencia de calor a través del sólido. En esta etapa, la superficie del material permanece saturada de agua, en las muestras secadas a 40°C, la transferencia de masa fue más lenta en comparación con las otras temperaturas ya que la velocidad del movimiento del agua desde el interior del sólido fue suficiente para compensar el agua evaporada desde la superficie provocando que la transferencia de masa y el secado fueran más lentos (Ruiz, 2016). Otras materias primas como el maíz, trigo y cebada presentaron una tendencia similar a la fresa, en donde a la temperatura de 40°C se evidenció con mayor claridad la etapa constante de secado (Noroña, 2018).

Conforme avanza la deshidratación, se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal, que la superficie del producto comienza a resecarse. Como lo que se elimina en esta capa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad depende del mecanismo de movimiento de la humedad

dentro del sólido (capilaridad o difusión). Esta etapa, no se evidenció con claridad en las muestras secas a 70°C, esto se debe posiblemente a que la velocidad de transferencia de calor fue tan rápida que la temperatura de la muestra no tardó mucho en alcanzar la temperatura de bulbo seco del aire dentro del horno (Colina *et al.* 2010). Otro estudio reportó un comportamiento similar, en donde se estudió el efecto del secado por microondas y con aire caliente en plátano, fresa, kiwi y naranja y observó que a la temperatura de 60°C no se evidenció esta etapa decreciente en la gráfica de humedad vs tiempo (Sagastibelza, 2018).

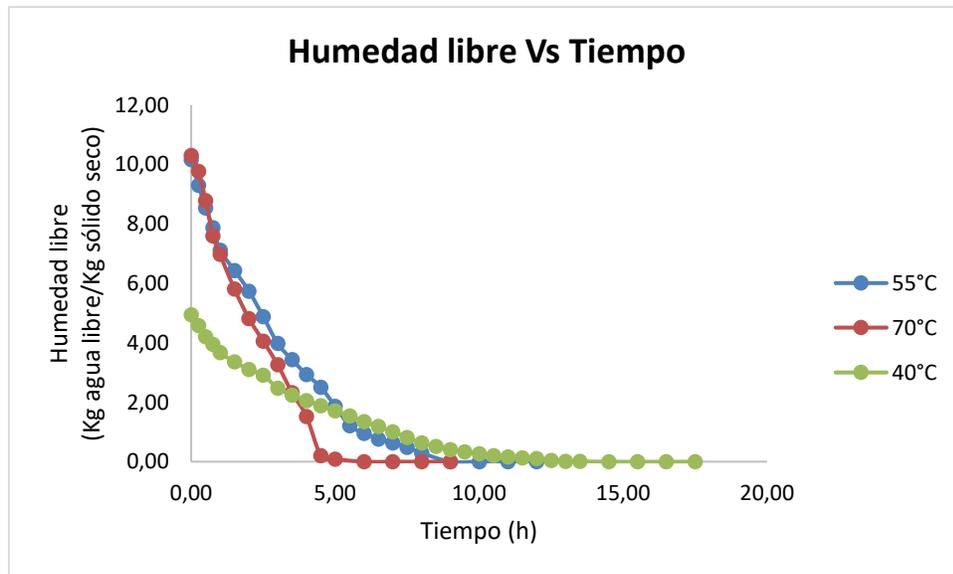


Figura 7. Gráficas de humedad libre (Kg agua libre/ Kg sólido seco) con respecto al tiempo (h), para fresas secadas en un horno de convección forzada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

### 3.2.2 Velocidad de secado

Las gráficas de velocidad de secado respecto a la humedad libre para las muestras secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C se muestran en la figura 8. La etapa de crecimiento inicial solo se observó en las muestras secadas a 70°C. En esta etapa, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final del secado y la velocidad de evaporación va en aumento hasta que la temperatura de la superficie alcance su valor de equilibrio (Geankoplis, 1998). Otro autor reportó un comportamiento similar en fresas secadas en un secador de túnel a las temperaturas de 70 y 80°C, en donde se evidenció un aumento de la velocidad de secado a diferencia de las fresas secadas a 50 y 60°C. (Ruíz, 2016).

En la etapa constante, la velocidad con la que se elimina el agua de la superficie del sólido es igual a la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. Cabe mencionar, que, durante esta etapa, la superficie del producto se mantiene

constantemente mojada, comportándose como una masa de líquido, y el flujo de aire que pasa transfiere el calor para la evaporación del agua a la superficie. Simultáneamente, el aire recoge el vapor de agua y lo transporta lejos de la superficie del producto, hacia fuera del secador, tratándose, por lo tanto, de una transferencia simultánea de calor y masa. De esta forma, para mantener esta superficie mojada, tiene que fluir suficiente agua desde el interior del alimento a su superficie (Gaukel *et. al*, 2017). Esta etapa, se observó en las muestras de fresa secadas a 40 y 70°C, pero es a la temperatura de 40°C, en donde se visualiza mejor este comportamiento, lo que indica que a esta temperatura la muestra si alcanza la velocidad de evaporación del agua al igual que la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. Comportamientos similares fueron observados en otros frutos como el plátano, kiwi, naranja y fresa, en donde la etapa constante de secado se evidenció con mayor claridad a la temperatura de 30°C. En estas condiciones, la temperatura de la interfase permanece constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido (Sagastibelza, 2018).

Cuando finaliza el periodo de velocidad constante y comienza el periodo de velocidad decreciente, se le conoce como humedad crítica de la muestra, en este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada y la porción mojada comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire. (Geankoplis, 1998). Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña; no obstante, el tiempo requerido puede ser largo, por esta razón, las mediciones en este periodo se toman en mayores intervalos de tiempo (cada 30 min). En cuanto al contenido de humedad crítica, se observó que, para la temperatura de 70°C, el valor fue de 2,32, mientras que para las temperaturas de 55 y 40°C, los valores fueron de 1,86 y 0,96 Kg agua libre/Kg solido seco respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Cuvertino, (2004), quien evaluó el comportamiento de secado de Pulpa de Murta (*Ugni molinae Turcz*) y estimación del consumo energético en la deshidratación de una lámina de fruta, obteniendo un valor de humedad crítica mayor a la temperatura de 65°C (2,74), que a la temperatura de 55°C (2,61) Kg agua libre/ Kg solido seco. Por otra parte, Soto, (2013), quien evaluó la influencia de las temperaturas de 40, 50 y 60°C en la cinética de secado, difusividad efectiva y calidad de láminas de frutas, encontrando valores de humedad de crítica de 1,30;1,39 y 1,45 Kg agua libre/ Kg solido seco respectivamente. A partir del punto de humedad crítica o inicio del periodo de velocidad decreciente, la temperatura de la superficie comienza a elevarse, elevación que continua a lo largo del secado, hasta aproximarse a la temperatura de bulbo seco del aire, que es el momento en que el producto se acerca a la sequedad como se mencionó anteriormente (Velásquez, 2007).

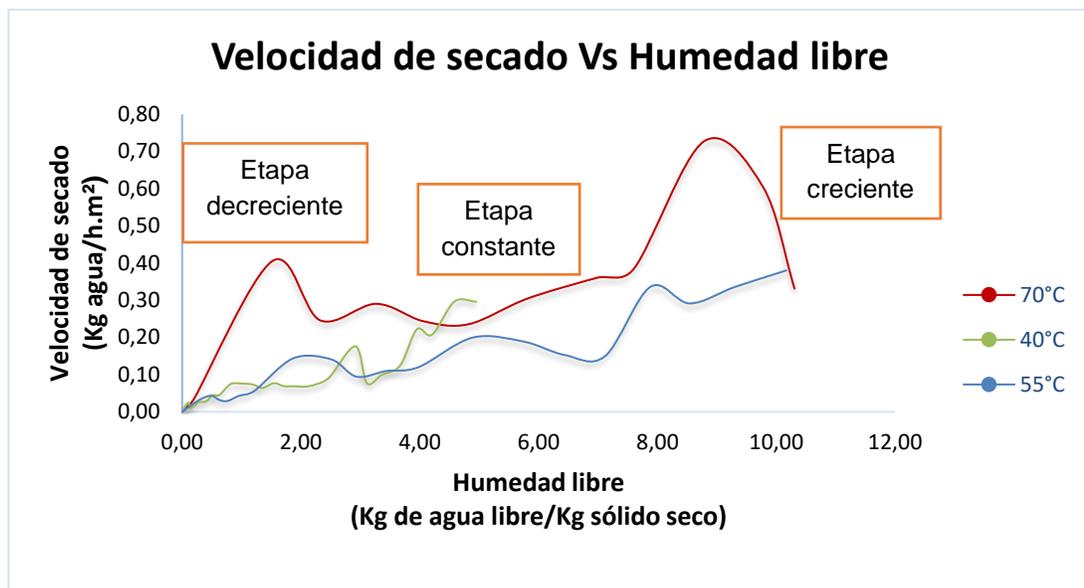


Figura 8. Gráficas de Velocidad de secado (Kg agua / h.m<sup>2</sup>) con respecto a la humedad libre (Kg agua libre/ Kg solido seco), para fresas secadas en un horno de convección forzada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

### 3.2.3 Análisis químico de la harina de fresa

Para este estudio, se realizó un diseño unifactorial en el cual se evaluaron tres niveles de temperatura (40, 55 y 70°C) y su influencia en cuanto a contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH y antocianinas en la harina de fresa seca. Las temperaturas de secado fueron elegidas teniendo en cuenta los resultados obtenidos por otros trabajos en los cuales refieren que tanto la temperatura aplicada como el tiempo de exposición pueden provocar la degradación o conservación de estos compuestos. De acuerdo a Cedeño Arroyo, (2017), el rango de temperatura utilizado normalmente para alimentos como bayas se encuentra entre 50-90°C, el cual concuerda con las temperaturas escogidas para este diseño (55 y 70°C), sin embargo, para el caso de la temperatura de 40°C, esta fue elegida en base al fuerte impacto negativo que presenta el uso de temperaturas muy altas.

#### 3.2.3.1 Contenido de polifenoles totales

En la tabla 11 se muestran los resultados del contenido de polifenoles extractables, hidrolizables y totales, de fresa fresca y harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C. Los valores del contenido de polifenoles se dan en mg AG/g muestra b.s

Tabla 11. Contenido de polifenoles extractables, hidrolizables y totales de la fresa fresca y las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C \*.

COMPUESTOS	FRESA FRESCA	HARINAS DE FRESA SECADA A		
		40°C	55°C	70°C
Compuestos fenólicos extractables (CFE)	21,6201± 0,0635 <sup>a</sup>	14,6586± 0,5785	16,8724± 0,5149	19,0190± 0,6248
Compuestos fenólicos hidrolizables (CFH)	4,9611± 0,0674 <sup>a</sup>	10,5199± 0,5079	11,7765± 0,1160	9,5790± 0,2168
Compuestos fenólicos totales (CFT)	26,5812± 0,0635 <sup>a</sup>	25,1785± 0,1720	28,4410± 0,4272	28,5980± 0,4290

\* Los datos representan los valores promedio ± la desviación estándar, (n=3). La letra (a) representa el grupo control, el cual se compara con los demás tratamientos con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Los valores de fresa fresca se presentan en base seca.

Los compuestos fenólicos o polifenoles son los grupos más comunes de metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Estos metabolitos suelen estar involucrados en roles importantes en las plantas, como la pigmentación, funciones de crecimiento y reproducción, protección contra la radiación ultravioleta (UV), resistencia a patógenos y herbívoros, y muchas otras funciones (González, Tomás y García, 2020). Los compuestos fenólicos extractables son aquellos que se solubilizan en solventes acuosos y/u orgánicos, mientras que los compuestos fenólicos no extractables o también llamados hidrolizables, son compuestos fenólicos de bajo peso molecular, que necesitan una hidrólisis ácida para ser extraídos, ya que están unidos a macromoléculas como proteínas, fibra dietética o polisacáridos de la pared celular (Pico *et al.*, 2019).

El contenido de polifenoles extractables, hidrolizables y totales, se resumen en la Tabla 11. El análisis de varianza ANOVA (Anexo A), muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para todos los compuestos fenólicos. Se realizó una prueba post hoc de Dunnett (Anexo A), la cual arrojó que las tres harinas presentan diferencias significativas en comparación a la fresa fresca (control). Los resultados exponen, que hubo una reducción del contenido de polifenoles extractables entre 12 y 32%, mientras que un aumento en los polifenoles no extractables de más del 100%. En cuanto a la influencia del secado se observó que, a las temperaturas de 40 y 55°C, se presentó la mayor pérdida de

compuestos fenólicos extractables (32,19) y (21,95%). Méndez-Lagunas y colaboradores en (2017), evaluaron el efecto del secado por convección sobre la actividad antioxidante, antocianinas y contenido fenólico total de la fresa (*Fragaria ananassa*), encontrando que el contenido de polifenoles presentó una disminución en las temperaturas de 50 (60,9%) y 60°C (78,1%) por lo que atribuían esta reducción, a la degradación de compuestos fenólicos por causa de la activación térmica de enzimas durante el secado. Por otra parte, Pico *et al.*, (2019), obtuvieron resultados similares en donde secaron rodajas de banano (*Musa Cavendish*) por convección a una temperatura de 40°C obteniendo también una reducción de los polifenoles extractables, estos autores expusieron que la temperatura de secado podría oxidar gradualmente a los compuestos fenólicos extractables o libres por acción de enzimas como la polifenol oxidasa, la cual presenta su máxima actividad a 20°C y se desactiva a 60°C, lo que provocaría una disminución del contenido fenólico a temperaturas por debajo de los 60°C. Sin embargo, existen compuestos fenólicos que son termolábiles en función del pH, como las catequinas y las antocianinas (Pico *et al.*, 2019). Otros autores como Hamauzu y Suwannachot en 2019, estudiaron los polifenoles extractables y no extractables en frutos secos de caqui (*Diospyros kaki*), en donde observaron una disminución del 51,13% del contenido de polifenoles extractables en comparación con el fruto fresco, se observó también, que después del secado los compuestos no extraíbles aumentaron 5 veces su valor en comparación con el inicial del fruto. En cuanto al resultado del aumento de los compuestos fenólicos totales, de los cuales la mayor parte de estos son polifenoles hidrolizables, se asemejan a los resultados también obtenidos por Hamauzu y Suwannachot, en donde los polifenoles no extractables del fruto seco, ocuparon un 96,3% del contenido total después del proceso de secado. Por otra parte, Parveez y Alibas (2021), estudiaron el efecto de diferentes técnicas de secado sobre los parámetros de color, contenido de ácido ascórbico, antocianinas y capacidades antioxidantes de la cereza de cornalina, los resultados arrojaron que el contenido de polifenoles extraíbles disminuyó durante el secado de la fruta a las temperaturas de 50, 70 y 90°C desde  $1739.05 \pm 36.57$  (cereza fresca) hasta  $147.41 \pm 3.72$ ,  $363.03 \pm 2.23$  y  $272.11 \pm 1.49$  (mg equivalentes de ácido gálico/g<sup>-1</sup> peso seco ).

Durante un proceso de secado, varios mecanismos pueden ocurrir que afecten la concentración de compuestos fenólicos, como la liberación de compuestos unidos y degradación parcial de la lignina, que conduce a la liberación de derivados fenólicos y a la degradación térmica. Estas reacciones, que disminuyen la concentración de los polifenoles, dan como resultado un equilibrio entre los mecanismos que aumentan y los que disminuyen la concentración de los polifenoles (Martín, 2019).

### 3.2.3.2 Contenido de antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH.

En la tabla 12 se muestran los resultados del contenido antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH de fresa fresca y harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C. Los valores del contenido de antocianinas se dan en mg pelargonidina 3-O-glúcosido/g b.s y las capacidades antioxidantes en µmol de TROLOX/g muestra b.s.

Tabla 12. Contenido de antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH de fresa fresca y harinas de fresa secadas a temperaturas de 40, 55 y 70°C \*.

COMPUESTOS	FRESA FRESCA	HARINA DE FRESA SECADAS A		
		40°C	55°C	70°C
Contenido de antocianinas	0,5048± 0,6827 <sup>a</sup>	0,6859± 0,3822	0,8769± 0,7630	1,2057± 0,0706
Capacidad antioxidante ABTS	133,4181± 0,9389 <sup>a</sup>	14,0484± 0,0866	13,8009± 0,2318	14,1005± 0,0650
Capacidad antioxidante DPPH	22,2912± 0,8544 <sup>a</sup>	7,2556± 0,0986	7,4744± 0,0573	7,3953± 0,3367

\* Los datos representan los valores promedio ± la desviación estándar, (n=3). La letra (a) representa el grupo control, el cual se compara con los demás tratamientos con diferencias estadísticamente significativas (p<0,05). Los valores de fresa fresca se presentan en base seca.

### 3.2.3.2.1 Contenido de antocianinas

Las antocianinas son metabolitos secundarios que se acumulan en las vacuolas de las células vegetales. La presencia de estos compuestos indica síntomas de estrés y/o parte de un mecanismo enzimático, ya que son generadas como medio de respuesta para mitigar efectos de estrés producidos por factores como la temperatura y la radiación. Las antocianinas son los principales compuestos fenólicos producidos por las fresas y de mayor interés en el ámbito científico y comercial dado que promueven un papel importante en la protección de especies reactivas que afectan la salud humana por su potencial antioxidante en los que se han demostrado tener una actividad neuroprotectora (Ruiz, 2016).

Durante este trabajo, se pudo evidenciar como el contenido total de antocianinas para todas las temperaturas incrementó de forma significativa frente al valor obtenido en fresa fresca (0,5048±0,6827), siendo el contenido más alto el presentado en fresa secada a la temperatura de 70°C (1,2057±0,0288), seguido de los valores encontrados a temperatura de 55 y 40°C (0,8769±0,1377; 0,6859±0,4558), estos resultados muestra similitud con lo reportado por Gómez *et*

*al.*, (2020) en donde encontraron que el jugo obtenido de frutas secadas a 50°C, presentó una mayor concentración de antocianinas totales (73,00 mg/L), 2,67 veces mayor que la concentración en el jugo de fruta sin secar (27,40 mg/L), seguido de los jugos obtenidos de frutas secadas a 30 y 40°C los cuales arrojaron valores de (51,10 y 59,50 mg/L). Por otro lado, Adak *et al.*, (2017), presentaron un incremento del contenido de antocianinas totales en fresas secada por convección infrarroja, en donde las temperaturas de secado de 60, 80 y 100°C, mostraron una mayor retención de estos compuestos con valores de 31,80 (60°C), 19,14 (80°C) y 15,97 (100°C) Cianidina-3-O-glucosido/kg b.s, respecto al valor obtenido en fresa fresca 11,79 (Cianidina-3-O-glucosido/kg b.s).

El aumento de antocianinas evidenciado desde el alimento fresco (fresa) hasta las harinas de fresa, se dio posiblemente a la fracturación o degradación de las células vegetales, las cuales permitieron la liberación de constituyentes celulares con contenido de antocianinas y compuestos fenólicos ( Ghoula y Adamopoulos, 2014) pues cabe recordar, que las antocianinas se encuentran disueltas en solución vacuolar (López-Ortiz *et al.*, 2020; Ruiz, 2016) en el interior de estas, es por ello que al ser liberadas quedan expuestas y disponibles para extracción. Por otra parte, las temperaturas de 55 y 70°C permitieron una mayor inhibición de enzimas hidrolíticas como la polifenol-oxidasa, la cual es la principal responsable de la degradación de compuestos fenólicos, que como ya se mencionó anteriormente, presenta inactivación a temperaturas superiores de 60°C, es por ello que posiblemente se evidenciara una mayor concentración de antocianinas a la temperatura de 70°C que a 40 y 55°C.

### 3.2.3.2.2 Capacidad antioxidante ABTS y DPPH

Para la determinación de capacidad antioxidante en las muestras de fresa fresca y harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C, se utilizaron dos métodos de captación de radicales libres DPPH• y ABTS•+. El método DPPH permite evaluar compuestos con características polares, mientras que el radical ABTS•+ evalúa compuestos de carácter polar y apolar. Es por ello que, los resultados obtenidos en la tabla 12 tanto en fresa fresca como en las tres muestras de harinas, presentaron un mayor contenido de capacidad antioxidante por el método ABTS que por el método DPPH, cabe mencionar que, durante este estudio, no se desarrolló la evaluación de componentes polares y apolares que pudieron extraerse en las pruebas de ABTS y DPPH. El radical DPPH a diferencia del ABTS, por su estructura química podría también haber tenido una menor capacidad de reacción hacia compuestos antioxidantes voluminosos dado el impedimento estérico que se presenta en su estructura química lo cual hace que sustancias pequeñas generalmente muestren una mayor capacidad antioxidante (Londoño, 2012; Tovar del río, 2013).

En la tabla 12 se puede evidenciar la disminución de capacidad antioxidante entre el fruto fresco y las harinas de fresa evaluadas por los dos métodos de captación de radicales, en donde se observaron pérdidas de hasta 89,51% por el método ABTS y de un 66,91% para el método DPPH, estos resultados muestran similitud con los reportados por López Campo, (2017) quien evaluó la capacidad antioxidante de frutos de fresa de la especie *Fragaria x ananassa Duch* cultivada en forma ecológica y tradicional, obteniendo los siguientes valores en fruto fresco para DPPH:  $4,047 \pm 0,339$  (Ecológico) y  $3,246 \pm 0,225$  Trolox/g. b.s (Tradicional). Para fresa deshidratada se encontraron los valores de  $1,319 \pm 0,140$  (Ecológico) y  $1,530 \pm 0,283$  Trolox/g. b.s (Tradicional); para ABTS:  $7,890 \pm 0,384$  (Ecológico) y  $8,604 \pm 0,769$   $\mu\text{mol}$  Trolox/g. b.s en fresa fresca, mientras para fresa seca  $0,941 \pm 0,318$  (Ecológico) y  $0,660 \pm 0,252$   $\mu\text{mol}$  Trolox/g. b.s (Tradicional). Wodjdyto, *et al.*, (2007) encontraron también una disminución de la capacidad antioxidante de manzanas deshidratadas por convección utilizando como fluido aire caliente por los métodos ABTS y DPPH, durante este estudio se evaluaron tres temperaturas de secado 50, 60 y 70°C, mencionando una menor retención de compuestos a temperatura de 70°C ( $1,07 \pm 0,03$  ABTS;  $3,71 \pm 0,09$  DPPH), seguido de los valores obtenidos a temperaturas de 60 y 50°C ( $1,79 \pm 0,02$  ABTS;  $9,03 \pm 0,00$  DPPH); ( $1,93 \pm 0,03$  ABTS;  $12,67 \pm 0,09$  DPPH) inferiores al valor reportado en manzana fresca ( $551 \pm 0,02$  ABTS;  $39,26 \pm 0,07$  DPPH)  $\mu\text{mol}$  Trolox/100g b.s. Dichos autores, atribuyen estas pérdidas a la degradación de los compuestos fenólicos, entre ellos vitaminas y ácidos fenólicos presentes en la fresa (no evaluados en este estudio) durante el proceso de secado, ya que los tratamientos térmicos contribuyen en gran medida al deterioro o degradación de estos, especialmente cuando se utilizan temperaturas altas y tiempos de exposición prolongados.

Los resultados obtenidos en ABTS y DPPH los cuales fueron extraídos con el mismo solvente (etanol) para las muestras de harina de fresa reportadas en la tabla 12 no muestran relación con el contenido de antocianinas, ya que a diferencia de esperar un aumento en la capacidad antioxidante proporcional al obtenido en antocianinas, se presentó una notoria disminución, estas variaciones presentadas, se debieron posiblemente a que durante la liberación de compuestos fenólicos de la matriz celular, estos sufrieron algún tipo de variación a nivel estructural como la posición y número de grupos hidroxilo fenólicos, pues de acuerdo a Castañeda (2010), los grupos hidroxilos que se encuentren en las posiciones 3' y 4' del anillo B (ver figura 9) presentan una mayor disposición para donar átomos de hidrogeno que estabilicen el radical formado, que aquellos grupos hidroxilo que se localicen en las posiciones 5 y 7 del anillo A.

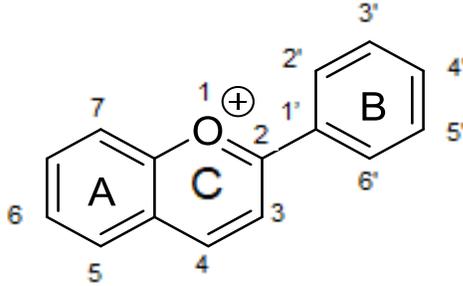


Figura 9. Estructura general de los flavonoides (Aglicona), (Castañeda, 2010).

Por otro lado, el aumento o disminución de estos compuestos dentro de la estructura de la antocianina pueden provocar una alta o baja reactividad frente a radicales libres. En nuestro caso, pudo provocarse pérdidas de este tipo de especies químicas (grupos hidroxilos fenólicos) a consecuencia de una posible degradación de la molécula de antocianina por efecto de la temperatura, concediéndole así, una menor reactividad frente los radicales libres (ABTS y DPPH). Castañeda, (2010); Jauregui y ramos, (2007), mencionaron que la capacidad antioxidante también disminuye cuando la molécula de la antocianidina (forma agliconada de la antocianina) posee sustituyentes glucosilados, específicamente en el carbono 3 (ver figura 9). Como se mencionó anteriormente, las principales antocianinas encontradas en fresa son la pelargonidina 3-O-glucósido, pelargonidina 3-O-rutinósido y cianidina 3-O-glucósido (figura 2), las cuales presentan sustituciones en este carbono, por lo cual, podría también estar contribuyendo en la obtención de una baja concentración de  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/ g muestra b.s en las capacidades antioxidante medidas, esto es similar a lo encontrado por Adak *et al.*, (2017), el cual mencionó durante su estudio que los resultados obtenidos en capacidad antioxidante medidos por el método DPPH, difieren con lo encontrado en antocianinas, pues pese a obtener un aumento significativo de estas, su actividad disminuyó después del proceso de secado, ya que obtuvo valores de fresa fresca de  $44,54 \text{ CE50 g} \cdot \text{g}^{-1}$  y en fresas secadas a las temperaturas de 60, 80 y  $100^\circ\text{C}$  de 2,20 2,53 y  $3,321 \text{ CE50 g} \cdot \text{g}^{-1}$  respectivamente, mencionado que durante el secado se pudieron formar productos de degradación a partir de los antioxidantes originales, y estos a su vez contribuyeron con poco o nada a la actividad antioxidante, además de que los compuestos fenólicos obtenidos pudieron tener variaciones en su estructura, como en el número y posición de grupos hidroxilo fenólicos, conllevando a obtener también variaciones en su capacidad antioxidante.

### 3.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DURANTE LA OBTENCIÓN DE UN SNACK CON INCLUSIÓN DE HARINA DE FRESA.

#### 3.3.1 Análisis químico de los snacks extruidos con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Para el cálculo de los resultados de snacks, se tuvo en cuenta el aporte químico de la harina de maíz y el snack sin inclusión de harina de fresa, para poder así, realizar la respectiva corrección de los datos y finalmente reportar los valores del contenido total de polifenoles, capacidad antioxidante y antocianinas finales de la harina de fresa en el snack. Los valores del contenido de polifenoles totales para harina de fresa seca y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C se muestran en la tabla 13. Los resultados se expresan en mg AG/g muestra b.s

Tabla 13. Contenido de polifenoles totales de las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C \*.

<b>MUESTRA</b>	<b>TEMPERATURA DE SECADO</b>	<b>CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES</b>
Harina de fresa	40°C	25,1785±0,1720 <sup>a</sup>
	55°C	28,4410±0,4272 <sup>b</sup>
	70°C	28,5980±0,4290 <sup>c</sup>
Snack con inclusión de harina de fresa seca	40°C	12,3639±0,2319 <sup>d</sup>
	55°C	6,5539±0,2850 <sup>e</sup>
	70°C	5,4672±0,1602 <sup>f</sup>

\* Los datos representan los valores promedio ± la desviación estándar, (n=3). Letras diferentes como superíndice en la misma fila representan diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

#### 3.3.1.1 Contenido de polifenoles totales

El procesamiento de extrusión es una tecnología de alto cizallamiento continuo y de corta duración (aproximadamente 5 min), que consiste en una serie posterior de procesos de mezclado, conformado, inflado y secado. Es una herramienta útil para diseñar alimentos listos para consumir (snacks, cereales, etc.) o para

modificar ingredientes alimentarios. El proceso de extrusión conduce a cambios irreversibles como la desnaturalización de proteínas y la formación de complejos almidón-lípido, proteína-lípido y proteína-proteína (Höglund *et al.*, 2018).

El análisis de varianza ANOVA (Anexo D), muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para la prueba de contenido de polifenoles totales. Se realizó una prueba post hoc de Tukey, en donde se observó una diferencia significativa entre las harinas y las tres muestras de snack con inclusión de harina de fresa. En la tabla 13, se observa que los snacks presentaron una reducción de aproximadamente un 50 a 80% de los compuestos fenólicos después del proceso de extrusión. Otros autores, presentaron un comportamiento similar, como El-Sayed e Iwona, (2013) quien presentó pérdidas del 60-90% de los polifenoles totales en procesos térmicos como el horneado y la extrusión de cereales. En cuanto a bayas como los arándanos, se presentó una disminución general de los fenólicos totales de aproximadamente un 80%, durante la extrusión de harina de arándano, lo cual coincide con los resultados de este estudio, resultado atribuido posiblemente, a la descarboxilación debido a la combinación de alta temperatura y humedad durante la extrusión (Höglund *et al.*, 2018). Como se mencionó anteriormente, la degradación de los polifenoles libres en la harina y el aumento de los polifenoles totales después del secado, posiblemente se dio por la liberación de los polifenoles ligados presentes en la matriz de la fresa, por lo que estos compuestos pasaron de ser ligados a compuestos libres o extractables en las harinas. La alta temperatura del proceso de extrusión (125°C en promedio), pudo ocasionar la disminución del contenido de compuestos fenólicos de las muestras de snack, por lo que al estar libres están más expuestos a la degradación térmica causada por el proceso de extrusión. Los polifenoles también pueden estar expuestos a una variedad de reacciones de acidez, calor, luz y enzimáticas que impactan en los perfiles de polifenoles. En este caso, posiblemente hubo una interacción entre los macros y micro nutrientes de la harina de maíz y la harina de fresa, ya que las interacciones entre los fenólicos y los micronutrientes antioxidantes, como los minerales y el ácido gálico, pueden servir para facilitar ciertos procesos degradativos.

La naturaleza del polifenol, la proteína, así como la temperatura y el pH, tienen efectos agravantes sobre estas moléculas. Las interacciones con los polisacáridos de almidón también se reconocen como modificadores de la estabilidad de los polifenoles. En particular, se ha documentado que las interacciones no covalentes entre los ácidos fenólicos y el almidón afectan varias propiedades críticas importantes para el procesamiento y la calidad nutricional de los alimentos (Debelo, Min y Ferruzzi, 2020).

### 3.3.1.2 Contenido de antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH.

En la tabla 14 se muestran los resultados del contenido antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH para las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C. Los valores del contenido de antocianinas se dan en mg pelargonidina 3-O-glúcosido/g b.s y las capacidades antioxidantes en  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/g muestra b.s.

Tabla 14. Contenido antocianinas y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH para las harinas de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C \*.

COMPUESTOS	HARINA DE FRESA SECADA A			SNACK CON INCLUSIÓN DE HARINA DE FRESA SECADA A		
	40°C	55°C	70°C	40°C	55°C	70°C
Contenido de Antocianinas	0,6859± 0,4558 <sup>a</sup>	0,8769± 0,1370 <sup>b</sup>	1,2057± 0,0288 <sup>c</sup>	0,4664± 0,5497 <sup>d</sup>	0,4175± 0,6140 <sup>f</sup>	0,4516± 0,9833 <sup>e</sup>
Capacidad antioxidante ABTS	14,048± 0,6161 <sup>a</sup>	13,9466± 0,1770 <sup>b</sup>	14,1005± 0,4607 <sup>c</sup>	27,2751± 0,2929 <sup>d</sup>	32,3003± 0,6667 <sup>e</sup>	30,1786± 0,5592 <sup>f</sup>
Capacidad antioxidante DPPH	7,2556± 0,6447 <sup>a</sup>	7,4744± 0,7667 <sup>a</sup>	7,3953± 0,6090 <sup>a</sup>	30,6302± 0,6622 <sup>b</sup>	28,4272± 0,8643 <sup>c</sup>	28,6325± 0,8841 <sup>c</sup>

\* Los datos representan los valores promedio  $\pm$  la desviación estándar, (n=3). Letras diferentes como superíndice en la misma fila representan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### 3.3.3.2.1 Contenido de antocianinas

La estabilidad de las antocianinas depende de las condiciones de procesamiento luz, oxígeno, temperatura y propiedades intrínsecas de los productos, como el pH, la presencia de enzimas, la estructura y concentración de las mismas, así como la presencia de otros compuestos como flavonoides, proteínas y minerales. Pero sin duda alguna, el factor que más influye en su estabilidad es la temperatura (Méndez-Lagunas *et al.*, 2017).

El análisis de varianza ANOVA (Anexo E) mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para la prueba de contenido de antocianinas entre los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C y las harinas de fresa, según los resultados arrojados en la prueba post hoc de Tukey. En la tabla 14, se observa claramente la disminución del contenido de

antocianinas en las 3 muestras de snack con respecto a las harinas de fresa, en donde se presentaron pérdidas de (62,54%) para el snack con inclusión de fresa secada a 70°C;(52,39%) para el snack con inclusión de harina de fresa secada a 55°C y un (32,01%) para el snack con inclusión de harina de fresa secada a 40°C, estos resultados muestran similitud con lo reportado por Méndez-Lagunas *et al.*, (2017), quienes realizaron un estudio previo en donde estudiaron el escaldado de arándanos y fresas, dando como resultado que el uso de temperaturas superiores a los 95°C generan pérdidas entre un 43,0 a 76,4% en el contenido de antocianinas. Este fenómeno se dio posiblemente a factores como la temperatura y operaciones mecánicas presentes el interior del extrusor, dado que para la obtención de este tipo de productos (snack), la materia prima (harina de fresa), debe pasar por distintas operaciones como el mezclado, cocción y expansión para generar la estructura deseada del producto.

La cocción por extrusión es un proceso de alta temperatura y corto tiempo, que pretende evitar la degradación o reacción química de compuestos bioactivos, sin embargo, cuando se utilizan temperaturas muy altas, como las utilizadas por este estudio, donde se empleó una temperatura promedio de 125°C, en conjunto con las tensiones de cizallamiento pudieron acelerar este tipo reacciones químicas, desnaturalizando la molécula y por ende obteniendo estas pérdidas en las antocianinas. Por otra parte, la disminución observada en el snack de 70°C, donde se incorporó la harina que presentó el mayor contenido de antocianinas, se produjo posiblemente a que estos compuestos al haberse liberado de la estructura celular durante el secado, quedaron más expuestos a los factores anteriormente mencionados, ocasionado así, una mayor pérdida en este snack a diferencia de las muestras con inclusión de harina secada a las temperaturas de 55 y 40°C, donde parte de los fenoles no eximidos de la célula pudieron salir durante el proceso de extrusión y presentar una compensación con los compuestos degradados y por ello se evidenció que el menor porcentaje de degradación de antocianinas se presentó en el snack con inclusión de harina de fresa secada a 40°C. Esto es consecuente con lo encontrado por Hirth *et al.*, (2014), quienes evaluaron el efecto de proceso de cocción por extrusión sobre la retención de antocianinas de arándano en alimentos a base de almidón, observando una disminución del 21,95% en el contenido de antocianinas después del proceso de extrusión, concluyeron además, que no solo la temperatura del extrusor afecta estos compuestos, sino también la humedad y la velocidad del tornillo, los cuales podrían retener o degradar el contenido de estos en la muestra. La mayor retención se observó a la temperatura más baja del barril (100°C.), el contenido de humedad más alto (28%), la velocidad más baja del tornillo (180 1/min) y el caudal más alto (30 kg/h). Resultados similares se presentaron en el proceso de extrusión de harina de maíz morado la cual obtuvo una reducción del 71,43% de antocianinas, otorgado por las altas velocidades del tornillo y la temperatura en el extrusor. La combinación de estos factores afecta tanto el contenido de polifenoles como de antocianinas ocasionando la degradación de estos compuestos (Vinces y Zavala, 2018)

### 3.3.3.2.1 Capacidad antioxidante ABTS y DPPH

El método de eliminación de radicales DPPH se ha utilizado ampliamente para la determinación de las propiedades antioxidantes de frutas, verduras y extractos de alimentos, al igual que los cationes radicales ABTS, los cuales se utilizan para la determinación de la actividad antioxidante de productos naturales solubles en agua y liposolubles, debido a su gran solubilidad tanto en agua como en disolventes orgánicos (Chen et al., 2019). Los análisis de varianza ANOVA (Anexo F) mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para la prueba de capacidad antioxidante tanto por el método ABTS como para DPPH. Las pruebas post hoc de Tukey (Anexo F), mostraron diferencias significativas entre la harina de fresa y los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C como se observa en la tabla 14.

Durante este estudio, se pudo apreciar que el proceso de extrusión incrementó el contenido de capacidad antioxidante en los dos métodos (ABTS y DPPH) para todos los snacks. Se observó también, que los snacks con inclusión de harina de fresa secada a la temperatura de 55°C, fue quien presentó una mayor capacidad ( $32,3003 \pm 0,6667$ ) respecto a las otras muestras con inclusiones de harina de fresa secadas a 40°C ( $27,2751 \pm 0,2929$ ) y 70°C ( $30,1786 \pm 0,5592$ ) por el método ABTS. Por otro lado, para el método DPPH se pudo evidenciar que el snack con mayor capacidad antioxidante, fue el snack con inclusión de harina de fresa secada a 40°C ( $30,6302 \pm 0,6622$ ) respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a 55 y 70°C, presentando valores de  $28,4272 \pm 0,8643$  y  $28,6325 \pm 0,8841$  respectivamente. Estos aumentos generados fueron de aproximadamente un 100% para ABTS y un 200% para el método DPPH en comparación con las harinas de fresa seca, ver tabla 14. Leyva-Corral et al., (2016), obtuvieron también un aumento de la capacidad antioxidante en los extruidos de orujo de manzana sometidos a un proceso de extrusión, con un rango de temperatura de 104-175°C y humedades de 21 a 30%, los cuales observaron un incremento de la capacidad antioxidante por el método DPPH de 46,77 a 76,92  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/100g muestra b.s. Wójtowicz et al., (2018), evaluaron las características químicas y propiedades físicas de snacks enriquecidos con tomate en polvo, utilizando inclusiones del 5, 10, 15, 20, 25 y 30%, humedad del 15% y temperaturas de 125, 135 y 145°C, observando un aumento en la capacidad antioxidante de los snacks en comparación con las harinas de tomate secos por el método DPPH pasando de 0,2 a 4,8  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/g de peso seco. Chis et al., (2021) realizaron una investigación, en donde estudiaron el efecto de la adición de alfalfa (*Medicago sativa*) sobre las características fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de los extruidos de maíz, estos utilizaron porcentajes de inclusión de 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 y 15% y un rango de temperaturas de 25, 70, 170 y 175°C, reportando un aumento de la capacidad antioxidante por el método DPPH de más del 200% pasando de 124 a 257  $\mu\text{mol}$  de TROLOX/g de peso seco. Por otro lado, Singh et al., (2015), realizaron una caracterización fisicoquímica de extruidos de maíz con diferentes

niveles de inclusión de remolacha (*Beta vulgaris*) (5, 10 y 15%) en diferentes temperaturas de extrusión (40-175°C) y humedad del 15%. Para la comparación de los datos se pasó por el extrusor una muestra control de harina de maíz, en donde se observó que la adición de remolacha aumenta la capacidad antioxidante de 2,2 a 7,9  $\mu\text{mol}$  de TROLOX  $\text{mg}^{-1}$  con respecto al control. González y colaboradores en (2019), reportaron un incremento de la capacidad antioxidante en botanas extruidas elaboradas a partir de harinas de grits de maíz y papa roja con porcentajes de inclusión de 10,20,30,40 y 50%, por los métodos ABTS y DPPH señalando que la adición de papa roja incremento de forma significativa el contenido de actividad antioxidante un 49 % por el método ABTS y un 41,43 % por el método DPPH en los snacks. La mayoría de estos autores atribuyen el aumento a la capacidad antioxidante a un incremento de los compuestos fenólicos, fenómeno que no ocurrió en esta investigación, ya que tanto el contenido de polifenoles como de antocianinas, disminuyó después de la cocción en el extrusor, por lo que el incremento de la capacidad antioxidante tanto por el método ABTS como por DPPH, posiblemente se deba a la aparición de otros compuestos que se forman durante las reacciones de Maillard los cuales pueden provocar un posible aumento de la capacidad antioxidante en el producto final. Estos compuestos por lo general se forman a altas temperaturas ( $>100^{\circ}\text{C}$ ) y baja actividad de agua ( $<0,4$ ), en donde una de las principales características que evidencia su participación en alimentos, es la aparición de tonalidades pardas-marrón como se observa más adelante en la figura 10, en donde se pudo apreciar una diferencia de color entre la fresa fresca y los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las diferentes temperaturas. Además, de los resultados obtenidos en color, donde la luminosidad ( $L^*$ ) disminuyó considerablemente. Durante el proceso de extrusión, es posible que se hayan formado compuestos aromáticos como por ejemplo los furanos, ya que estos se forman a partir de una serie de reacciones químicas tales como descomposición, deshidratación, reordenamiento y oxidación, además de ser el resultado de tratamientos térmicos, como la pasteurización, esterilización, cocción y tostado (Lomelí-Martín, 2021). Se ha estudiado, que estos compuestos dependen de la temperatura y el pH del producto, ya que a pH 4,6 estos se forman en temperaturas de aproximadamente  $121^{\circ}\text{C}$  (Dhaka *et al.*, 2017), variables que concuerdan con los resultados de este estudio, ya que los snacks presentaron un valor de pH de 5,0 y el proceso de extrusión se realizó en un promedio de temperatura de  $125^{\circ}\text{C}$ . Según Chen *et al.*, (2019), el aumento de la capacidad antioxidante se deba posiblemente a la formación de compuestos volátiles de bajo peso molecular como el furano el cual puede unirse con los radicales ABTS y DPPH por sus dobles enlaces.

### 3.3.2 Análisis colorimétrico

Durante la obtención de snack extruido con inclusión de harina de fresa secada a distintas temperaturas (40, 55 y 70°C), se evaluaron los parámetros de color  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  en fresas frescas y snack, como se muestra en la figura 10 en donde (A) es fresa fresca y (B) producto extruido con inclusión de harina de fresa secada a las diferentes temperaturas.

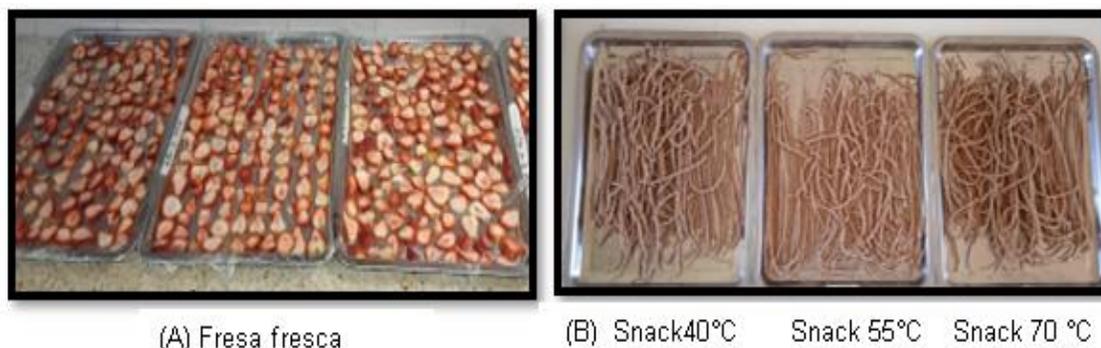


Figura 10. Muestras de fresa fresca (A) y snack con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C (B).

Para evaluar la diferencia de color presente entre la fruta fresca y los snacks, se realizó un análisis de varianza individual para cada uno de los parámetros de color establecidos, los cuales se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en las muestras de fresa fresca y de snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C \*.

MUESTRA	TEMPERATURA DE SECADO	PARÁMETROS DE COLOR		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
Fresa fresca	-	78,7060 ±0,9072 <sup>a</sup>	19,1460 ±0,9503 <sup>a</sup>	18,3260 ±0,9887 <sup>a</sup>
Snack con inclusión de fresa secada a	40 °C	54,7740 ±0,6835	17,6760 ±0,5455	18,8640 ±0,5943
	55 °C	53,3950 ±0,8851	17,4330 ±0,6948	18,7600 ±0,6346
	70 °C	50,2760 ±0,7485	19,3960 ±0,5193	21,4690 ±0,5666

\* Los datos representan los valores promedio ± la desviación estándar, (n=20). La letra (a) representa el grupo control, el cual se compara con los demás tratamientos con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Los valores de fresa fresca se presentan en base seca.

De acuerdo al análisis de varianza ANOVA y prueba post hoc de Dunnet (Anexo G), existe un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) entre los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^{**}$  de los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C, con respecto a los de la fresa fresca (control).

Según los datos de la tabla 15, se puede observar que el snack con inclusión de harina de fresa secada a 70°C, fue el que presentó una mayor disminución ( $50,2760 \pm 0,7485$ ) de luminosidad ( $L^*$ ), ya que el valor se va acercando a 0 tomando tonalidades más oscuras frente al obtenido en fresa fresca ( $78,7060 \pm 0,9072$ ) donde su valor es más próximo a 100 (tonalidades más claras) ver figura 11. En los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40 y 55°C, también se evidencia esta reducción, sin embargo, es el snack con inclusión de harina de fresa seca a 40°C quien presentó una menor pérdida de luminosidad ( $54,7740 \pm 0,6835$ ).

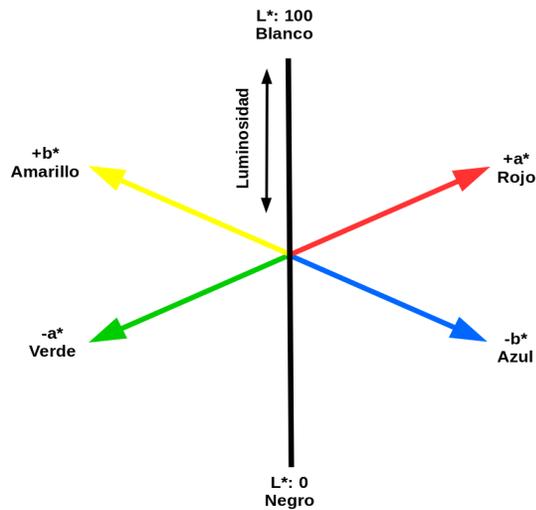


Figura 11. Espacio de colores CIELAB/  $L^*a^*b^*$  (Amador *et al.*, 2018).

En la tabla 15, se muestra también un aumento del parámetro de posición  $b^*$  para las muestras de snack con inclusión de fresa secada a las diferentes temperaturas. Se observó, que los valores reportados son positivos y por lo tanto, las coloraciones presentaran tonos amarillos, siendo más intenso el color en el snack con inclusión de harina de fresa secada a 70°C y más claros en fresa fresca, lo que concuerda con lo informado por Garzón, Dussan y Melo, (2018), los cuales realizaron una comparación de los colores del Yacón fresco con un valor de  $b^*$  inicial de 2,90, mostrando que después del proceso de secado, este parámetro  $b^*$  aumento a una temperatura de 20°C hasta un valor de 3,60.

Los productos extruidos normalmente se basan en la mezcla de dos o más ingredientes (Harina, agua y otros productos) los cuales son sometidos a procesos de cocción y cizallamiento para dar al producto final una forma definida, sin embargo, algunos de estos ingredientes utilizados, son previamente sometidos a

procesos de secado, como es el caso de este estudio. Según Hellwig, Kühn y Henle, (2018), el color de las muestras pueden producir un cierto impacto térmico durante el proceso de extrusión, pues se pueden presentar reacciones de Maillard (reacción entre azúcares reductores y grupos amino e imino de aminoácidos libres, péptidos y proteínas) generando en alimentos pardeamientos o coloraciones oscuras, lo cual explicaría la reducción de luminosidad presentado en la figura 10(B), además que durante el secado y extrusión, se obtuvieron valores bajos de actividad de agua ( $a_w$ :0,4 harinas de fresa y 0,3 snacks) favoreciendo este tipo de reacciones no enzimáticas.

La perlagonidina-3-o-glucósido es una clase de antocianinas responsable de la coloración roja en frutas como la fresa, su degradación depende en gran medida a cambios de pH, temperatura, entre otros, pues dentro de su estructura posee grupos cromóforos altamente sensibles a este tipo de factores (Gutiérrez, 2019). En la tabla 15, se puede apreciar una disminución del parámetro  $a^*$  en snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40 y 55°C el cual puede ser atribuido a una disminución en la concentración de antocianinas provocado por la temperatura elevada en el proceso de extrusión, cabe mencionar, que durante la obtención de la harinas, la concentración de antocianinas aumento en todos los niveles de temperatura, sin embargo en 70°C fue donde se evidenció la mayor concentración de estos compuestos por lo que el color rojo se mantuvo presente más en esta harina.

Méndez-Laguna *et al.*, en 2017, reportaron un aumento en los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  comparando fresas frescas y secas a las temperaturas de 50 y 60°C, los valores que obtuvieron fueron de  $a^*$  (26,5) y  $b^*$ (14,6) para fresas frescas y  $a^*$ (34,63) y  $b^*$ (19,19) para fresas secas, en donde observaron que un aumento del color se presentó por una exposición a la temperatura más alta, lo que concuerda con los resultados de este estudio, en donde se reportaron los valores más altos tanto del parámetro  $a^*$  como el de  $b^*$  en el snack con inclusión de harina secada a la temperatura de 70°C.

Wójtowicz *et al.*, (2019), evaluaron las propiedades físicas y de textura de snacks sin gluten con adiciones de frutas de Chokeberry, Saucó y fresa, en donde estudiaron los parámetros de color y obtuvieron como resultados, que al adicionarle fresa en un porcentaje de inclusión de 15% y un rango de temperaturas de 132-142°C, el parámetro de luminosidad  $L^*$  disminuyó, mientras que el de  $a^*$  aumentó después del proceso de extrusión. Para realizar las comparaciones fue necesario pasar por el extrusor una muestra control de harina de maíz sola, la cual arrojó un valor de luminosidad de 83,75, el cual disminuyó a 49,24. Por otra parte, la coordenada  $a^*$ , presentó un aumento de 4,14 a 8,31. El aumento o disminución del parámetro  $a^*$ , está relacionado con la cantidad de antocianinas de la muestra, la cual puede disminuir por causa de reacciones enzimáticas y no enzimáticas, pero aumentar por efecto de la liberación de estas de la pared celular a causa de la temperatura (López- Ortiz *et al.*, 2020). Otro

estudio hecho por Juciklécia *et al.*, (2021), mostró resultados similares, en donde evaluaron la influencia de los residuos de uva y acerola en las propiedades antioxidantes, fisicoquímicas y mecánicas de los biocompuestos de almidón de yuca. En este estudio, utilizaron como control el almidón de yuca sin adición de fruta, el cual presentó resultados en los parámetros de color de 32,02 para luminosidad (L\*), de 0,03 para el parámetro a\* y 0,32 para el parámetro b\*. Las variables que utilizaron en el extrusor fueron: 10% de inclusión de fruta y un perfil de temperatura de 50, 60, 110, 120, 125, 130 y 135°C. Después del proceso de extrusión, obtuvieron que, en la mezcla de almidón de yuca con inclusión de uva, los valores de luminosidad disminuyeron mientras que los parámetros a\* y b\* aumentaron con valores finales de 25,11(L\*), 0,57(a\*) y -0,03 (b\*). Lo mismo ocurrió en la mezcla de almidón de yuca con inclusión de acerola obteniendo valores finales de 26,24(L\*), 1,21(a\*) y 1,30(b\*).

### 3.3.3 Propiedades físicas

Se realizaron pruebas físicas en los snacks en cuanto a índice de expansión y dureza, los resultados se exponen en la tabla 16.

Tabla 16. Parámetros de índice de expansión y dureza para los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

MUESTRA	TEMPERATURA DE SECADO DE FRESA	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	DUREZA (N)
Snack con inclusión de harina de fresa	40 °C	1,4916 ± 0,0646 <sup>a</sup>	25,6990 ± 0,9968 <sup>a</sup>
	55 °C	1,4942 ± 0,0854 <sup>a</sup>	17,4927 ± 0,9402 <sup>b</sup>
	70 °C	1,3996 ± 0,0623 <sup>b</sup>	12,5172 ± 0,7632 <sup>c</sup>

\* Los datos representan los valores promedio ± la desviación estándar, (n=20). Letras diferentes como superíndice en la misma fila representan diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

#### 3.3.3.1 Índice de expansión

El índice de expansión es una de las principales propiedades físicas que se utilizan para definir de forma indirecta el grado de transformación del almidón que se da durante el proceso de extrusión. El análisis de varianza ANOVA (Anexo H)

muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para la determinación de índice de expansión. La prueba post hoc de Tukey (Anexo H), no mostró diferencias significativas entre los snacks con inclusión de harina de fresa secada a 40 y 55°C, pero sí de estas con respecto a los snacks con harina de fresa secada a 70°C.

En la tabla 16, se observó que los valores de índice de expansión oscilaron entre 1,3996-1,4942, siendo el snack con inclusión de harina de fresa secada a 55°C, quien presentó la mayor expansión con un valor 1,4942. Resultados similares fueron reportados por Pensamiento-Niño y colaboradores en (2018), quienes realizaron una optimización y caracterización de un snack extruido a base de harina de taro (*Colocasia esculenta L.*) enriquecido con pulpa de mango (*Mangifera indica L.*), obteniendo valores entre 0,92 y 1,65 en cuanto a índice de expansión, ellos encontraron, que algunos factores como la humedad y la temperatura, pueden aumentar o disminuir la expansión en el snack. En su estudio, encontraron también que, a mayor humedad (27-30%), menor fue el índice de expansión (0.92- 1.01), mientras que, a temperaturas altas (115-150°C) dentro del extrusor, el índice de expansión fue mayor (1,65). Este fenómeno, se puede atribuir al hecho de que la expansión se produce a altas temperaturas y bajo contenido de humedad, debido a que en esta investigación se utilizaron altas temperaturas (125°C) y bajos contenidos de humedad (21%), probablemente estos factores pudieron provocar la variación en los valores de índice de expansión y no las temperaturas usadas durante el secado.

Según Han, *et al.*, (2018) quienes evaluaron los efectos de la humedad en el índice de expansión en un snack a base de harina de maíz indicaron, que a media que baja la humedad en la alimentación hasta llegar un máximo de 14%, el índice de expansión aumentó, mientras que para valores más bajos de humedad se puede presentar un incremento en el esfuerzo cortante y degradación del almidón afectando la expansión. También, determinaron que la harina de maíz por su alto contenido de almidón, puede interferir en reacciones y creación de almidones resistentes, que causan una variación en el índice de expansión de la muestra. Por lo que tanto la humedad, como el almidón en la mezcla, pueden tener influencia significativa en el índice de expansión en los snacks. El grado de expansión también depende de diversos factores como el contenido de agua, lípidos, fibra, grado de gelatinización y caída de presión en la matriz. La importancia de medir este parámetro en alimentos extruidos como los snacks, es que permite predecir la aceptabilidad de estos productos por parte del consumidor (Criollo y Samboni, 2019).

### 3.3.3.2 Dureza

La dureza es la característica principal en los snacks extruidos (Chikkanna *et al.*, 2020). El análisis de varianza ANOVA (Anexo I) muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las diferentes temperaturas (40, 55 y 70°C). En la tabla 16, se observó que el mayor y menor grado de dureza se presentó en los tratamientos con inclusión de fresa secada a 40 y 70°C respectivamente. Durante el proceso de extrusión, se mantuvieron fijos los parámetros de presión, velocidad del tornillo y temperaturas del barril, al igual que las cantidades de harina de maíz, harina de fresa y humedad en cada formulación, por lo que las diferencias expresadas en el grado de dureza puede estar relacionada posiblemente con los datos de actividad de agua que presentaron las diferentes harinas al finalizar el proceso de secado, puesto, que la harina obtenida a temperatura de 40°C, mostró una actividad de agua de 0,65 a diferencia de las harinas secadas a temperaturas de 55 y 70°C, quienes presentaron valores de actividad de agua más bajos de 0,62 y 0,58 respectivamente; Otros autores como Batlle *et al.*, en (2016), presentaron comportamientos similares cuando evaluaron la influencia de las variables de secado en la calidad organoléptica de bocaditos salados a base de Amaranto, los cuales utilizaron temperaturas de secado de 100, 80 y 70°C. Observaron que a la temperatura de 70°C, los bocaditos presentaron una actividad de agua mayor (0,678) a diferencia de las muestras secadas a las temperaturas más altas de 100 y 80°C, quienes presentaron valores de actividad de agua de 0,593 y 0,578 respectivamente. Estos valores fueron correlacionados con los resultados de dureza, ya que a la menor temperatura (70°C) se presentó el mayor grado de dureza del snack con un valor de 4,1N, a diferencia de las muestras secadas a las temperaturas de 100 y 80°C, quienes presentaron valores inferiores de 3,1 y 3,3N respectivamente; este comportamiento posiblemente se da cuando la muestras se someten a un proceso de secado a bajas temperaturas, las cuales provocan que el agua ligada de la muestra se evapore muy lento o algunas veces no se evapore por completo, quedando esta retenida dentro de la estructura, y después liberada en el proceso de extrusión, provocando un mayor contenido de humedad en el snack y por ende un mayor grado de dureza.

Phanlert Promsakha *et al.*, (2018), en su estudio sobre la optimización del contenido de humedad de calabaza para producir bocadillos saludables extruidos con harina de arroz; descubrieron que, al utilizar un mayor contenido de humedad se presentó el valor más alto de dureza en los snacks estudiados. No obstante, la dureza puede verse afectada también por otros factores como el contenido de fibra de las materias primas. La fibra es un componente que se relaciona con el parámetro de dureza, pues este interfiere con la formación de burbujas de aire aumentando el grosor de la pared celular (Dehghan *et al.*, 2010). Los valores de fibra de esta investigación tanto para fresa como harina de maíz fueron de 2,17 y 1,79 respectivamente. Quispe y Valcárcel, (2015) obtuvieron en su estudio un

mayor grado de dureza (35N), en la harina de semillas de calabaza, debido a que esta presenta contenidos de fibra más altos (16,26%) en comparación con los de la harina de fresa y maíz.

Potter, Stojceska y Plunkett en (2013), estudiaron el uso de polvos de frutas de banano, manzana, fresa y mandarina en snacks, obteniendo valores de dureza de 16,45, 15,40, 10,77 y 14,43 respectivamente. Dichos autores no solo atribuyen los valores de dureza en el snack a los porcentajes de fibra de cada materia prima, si no también, al contenido de azúcares presente en la muestra, ya que las frutas tienen un alto contenido de azúcar aproximadamente entre 26 y 47%, es posible que los niveles más altos de azúcar en la formulación, puedan haber contribuido al aumento de la densidad y la reducción del tamaño celular de los extruidos de fruta, lo que dio como resultado un mayor grado de dureza. Esto es consistente con los hallazgos de Barrett *et al.*, (1995) quienes informaron que el aumento del contenido de sacarosa aumenta la densidad y reduce el tamaño de la celda, lo que resulta en un aumento progresivo de la resistencia a la compresión.

### 3.3.4 Azúcares reductores

Los azúcares reductores de la fresa se determinaron con el reactivo DNS para la fresa fresca y los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C, los resultados que se obtuvieron se reportan en la tabla 17.

Tabla 17. Contenido de azúcares reductores para la fresa fresca y los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

<b>MUESTRA</b>	<b>TEMPERATURA DE SECADO DE FRESA</b>	<b>AZÚCARES REDUCTORES (mg glucosa/ g muestra b.s)</b>
Fresa fresca	-	52,1840 ± 0,0404 <sup>a</sup>
Snack con inclusión de harina de fresa	40 °C	374,3529 ± 0,0935
	55 °C	361,9199 ± 0,3240
	70 °C	329,4725 ± 0,1365

\* Los datos representan los valores promedio ± la desviación estándar, (n=3). La letra (a) representa el grupo control, el cual se compara con los demás tratamientos con diferencias estadísticamente significativas (p<0,05). Los valores de fresa fresca se presentan en base seca.

En la tabla 17, se muestra cómo se dio un aumento de azúcares reductores de aproximadamente 7 veces más si se compara con el valor inicial de fruta fresca en los snacks al finalizar el proceso de extrusión. Zapata, Rojano y Cortes, (2015) obtuvieron resultados similares, cuando realizaron un estudio en donde evaluaron el efecto térmico del secado por aspersión sobre los metabolitos antioxidantes de

la Curuba Larga (*Passiflora mollissima baley*) y concluyeron que el contenido de azúcares reductores después de someter la fruta a altas temperaturas (temperatura de entrada del aire seco 170°C y temperatura de salida del aire 90°C) incrementó un 36,37%. Por otro lado, Vargas y Coaguila en (2018), realizaron un estudio con el fin de determinar los parámetros tecnológicos necesarios para la elaboración de un producto tipo snack a partir de zapallo (*Cucurbita maxima duch*), en donde obtuvieron un valor de 2,38% de azúcares reductores en la pulpa de Zapallo y un incremento de estos después del proceso de extrusión de más del 500% con un valor final de azúcares reductores del 12,91%. En la elaboración de snacks extruidos, es de esperarse un aumento en el contenido de azúcares, debido a que la muestra está sometida a altas temperaturas, las cuales `podrían presentar una hidrólisis de azucares complejos en azucares simples. Adicionalmente, la mayoría de flavonoides y compuestos fenólicos se encuentran en las frutas de forma glicosilada, pero estos azúcares se liberan fácilmente como consecuencia del procesamiento y aumentan su concentración en el producto final (Zapata, Rojano y Cortes, 2015).

#### 4. CONCLUSIONES

La caracterización inicial, permitió clasificar las fresas según la NTC 4103 en un rango de calibre C y un estado de madurez entre 5 y 6, parámetros que son importantes a la hora de la manipulación de la fruta desde la poscosecha hasta su comercialización.

El análisis fisicoquímico, determinó que estas categorías de fresa presentan valores importantes de compuestos fenólicos similares a los reportados por otros autores, por lo que es importante el aprovechamiento de estas a la vez que ayudaría a la producción de fresa y los pequeños productores.

La cinética de secado, permitió determinar parámetros como humedad y velocidad de secado, con el fin de conocer el comportamiento de la muestra a medida que se iba retirando el agua de la fresa y así poder observar las diferentes etapas que se producen durante la deshidratación.

El secado a diferentes temperaturas provocó una disminución de la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles extractables ya que estos están más expuestos a la degradación y oxidación por causa de algunas enzimas como la polifenol oxidasa después del colapso que sufre la pared celular durante la deshidratación. Sin embargo, los polifenoles hidrolizables presentaron un aumento al igual que las antocianinas totales después del proceso de secado, debido a la liberación de estos de la matriz celular.

El proceso de extrusión, a diferencia del secado de la fresa, disminuyó los compuestos fenólicos y antocianinas, posiblemente a parámetros propios del proceso como lo son las altas temperaturas (125°C), velocidad del tornillo, cizallamiento, humedad y alta presión los cuales son más agresivos. En cuanto a la actividad antioxidante, esta presentó un aumento de más del 100% después del proceso de extrusión, posiblemente por causa de la formación de algunos compuestos productos de la reacción de Maillard como los furanos generados por las altas temperaturas.

Se pudo evidenciar el cambio que sufrieron los compuestos fenólicos desde la materia prima hasta el snack extruido, resaltando que la temperatura que mejor conservo estos compuestos fue la de 40°C, con una retención final de polifenoles y antocianinas de 46,52% y 92,39% respectivamente, dando una primera apreciación de la cantidad de estos para futuras investigaciones y así poder saber si se podría considerar como un alimento funcional.

En cuanto al análisis colorimétrico este presentó una disminución de la luminosidad ( $L^*$ ) y coordenada ( $a^*$ ) pero un aumento en la coordenada  $b^*$ , ocasionado por el procesamiento térmico, el cual disminuyó la luminosidad de la muestra y redujo el color rojo característico de la fresa por la degradación de las

antocianinas, tornándose un color más amarillo evidenciado en el aumento de la coordenada  $b^*$  en los snacks.

Las pruebas físicas determinaron que, a mayor temperatura, menor índice de expansión y menor dureza, ya que la harina de fresa secada a la temperatura de 40 °C, fue quien presentó una actividad de agua más baja, la cual se vio reflejada durante el proceso de extrusión, provocando que el snack presentara una mayor humedad, que dio como resultado un aumento de la dureza. Por otro lado, en los azúcares reductores se pudo evidenciar un incremento notable de estos compuestos por causa del aumento de la temperatura, la cual ocasionó la ruptura de estructuras complejas en monómeros más simples.

## 5. RECOMENDACIONES

Corroborar el aporte químico y nutricional de las fresas de tercera, cuarta y quinta categoría realizando una caracterización fisicoquímica de las fresas tipo Extra y de primera categoría y así poder comparar los resultados.

Realizar un modelamiento matemático para las curvas de velocidad de secado con el fin de optimizar el proceso.

Evaluar otros métodos de secado como la liofilización, el secado por microondas o secado por convección natural en este tipo fresa, para luego comparar los resultados con los obtenidos por convección forzada, y así determinar cuál método de secado es el más eficiente.

Ampliar el estudio en la etapa de extrusión, evaluando el efecto de la velocidad de tornillo y la humedad de la mezcla en los compuestos fenólicos.

Realizar una cuantificación por cromatografía líquida (HPLC) para conocer qué tipo de compuestos fenólicos se obtienen al final de la extrusión.

Determinar valores de crocancia y crujencia en los snacks, además de un análisis sensorial mediante pruebas hedónicas que permitan medir la preferencia de los consumidores hacia el producto final extruido.

## BIBLIOGRAFÍA

ADAK, Nafiye; HEYBELI, Nursel; ERTEKIN, Can. Infrared drying of strawberry. En: Food Chemistry. Marzo, 2017, vol. 219, p. 109-116.

ALMIRUDIS ECHEVERRIA, Sócrates; RAMÍREZ WONG, Benjamín; MEDINA RODRÍGUEZ, Concepción; MAGAÑA BARAJAS, Elisa; TORRES CHÁVEZ, Patricia y LEDEZMA OSUNA, Ana. Antioxidant activity of amaranth flours obtained by extrusion and partial analysis of their protein quality in vivo. En: Biotecnia. Julio, 2020, vol. 22 no.1, p. 24-31.

ALONZO MACÍAS, Maritza; CARDADOR MARTÍNEZ, Anaberta; MOUNIR, Sabah; MONTEJANO GAITÁN, Gerardo; ALLAF, Karim. Comparative Study of the Effects of Drying Methods on Antioxidant Activity of Dried Strawberry (*Fragaria Var. Camarosa*). En: Journal of Food Research. Marzo, 2013, vol. 2.

AMADOR-HERNÁNDEZ, Judith; VELÁZQUEZ-MANZANARES, Miguel; COLUNGA-URBINA, Edith; GARZA-RODRÍGUEZ, Ilian; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Diana. Análisis cromático y espectral de lacas acrílicas para retoque de pintura automotriz blanca mediante Reconocimiento de Pautas no Supervisado. En: Uniciencia. Junio, 2018, vol. 33

AOAC (1995), Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 16st Edition. AOAC, Maryland.

ARRIBAS, Claudia; PEREIRA, Eliana; BARROS, Lillian; ALVES, María; CALHELHA, Ricardo; GUILLAMÓN, Eva; PEDROSA, Mercedes y FERREIRA, Isabel. Healthy novel gluten-free formulations based on beans, carob fruit and rice: Extrusion effect on organic acids, tocopherols, phenolic compounds and bioactivity. En: Food Chemistry. Septiembre, 2019, vol. 292, p. 304-313.

ARTEAGA, Stiben; FLORES, Carlos; JARA, Jorge y GUEVARA, Ciro. Flour of lúcuma (*Pouteria obovata*) obtained by combined method warm air and microwave. En: Agroindustrial Science. Diciembre, 2013.

BADUI DERGAL, Salvador. Química de los alimentos. 4 ed. México: Enrique Quintanar Duarte, 2006. 420-422p. ISBN: 970-26-0670-5.

BARETT, Ann; KALETUNÇ, Gönül; ROSENBERG, Shamain y BRESLAUER, Kenneth. Effect of sucrose on the structure, mechanical strength and thermal properties of corn extrudates. En: Carbohydrate Polymers. 1995, vol. 26, p. 261-269.

BASILIO ATENCIO, Jaime; CONDEZO HOYOS, Luis y CARRASCO VALENCIA, R. Effect of extrusion cooking on the physical-chemical properties of whole kiwicha

(*Amaranthus caudatus L*) flour variety Centenario: Process optimization. En: LWT. Junio, 2020, vol. 128, p. 109426.

BATLLE, Teresa A; ZANIOLO, Stella; LEPORATI, Jorge; BALMACEDA, María; BOMBEN, Renata y MALKA, María. Influencia de las variables de secado en la calidad organoléptica de bocaditos salados a base de amaranto. En: Avances en Ciencias e Ingeniería. Diciembre, 2016, vol. 7, p. 47-56.

BATTINO, Maurizio; GIAMPIERIA, Francesca; CIANCIOSI, Danila; ANSARY; Johura; CHEN, Xiumin; ZHANG, Di; GIL, Emilio; FORBES HERNANDEZ, Tamara. The roles of strawberry and honey phytochemicals on human health: A possible clue on the molecular mechanisms involved in the prevention of oxidative stress and inflammation. En: Phytomedicine. Junio, 2021. 86.

BERUTTO AHOUAGI, Vinicius; BARBOSA MEQUELINO, Daiana; TAVANO, Olga Luisa; DIAS GARCIA, José Antonio; MANKE NACHTIGALL, Aline y VILAS BOAS, Brígida. Physicochemical characteristics, antioxidant activity, and acceptability of strawberry-enriched ketchup sauces. En: Food Chemistry. Marzo, 2021, vol. 340.

BHAT, Naseer Ahmad; WANI, Idrees Ahmed; MUMTAZ HAMDANI. Afshan; Gani Adil. Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value-added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum L.*) flour. En: Food Chemistry. Marzo, 2019, vol. 276, p. 22-32.

BOHORQUEZ FAJARDO, Ricardo. Determinación de actividad antioxidante de extractos de hojas de *Diplostegium phylloides* (Kunth) Wedd. Trabajo de grado, Químico. Bogotá D.C: Universidad el bosque. Facultad de ciencias productos naturales U.D.C.A. Químico, 2016. 21 p.

CABASCANGO MOLINA, Omar Napoleón. Evaluación del efecto de tres métodos de secado sobre la actividad antioxidante y fenoles totales de la uvilla (*Physalis peruviana L.*) Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero agroindustrial. Ibarra–Ecuador.: Universidad Técnica del Norte. Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales, 2019.130p

CADENA MALDONADO, Cristina Daniela; YÁNEZ SOTOMAYOR, Santiago Xavier. Elaboración de un snack extruido expandido: a base de chocho y gritz de maíz. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en alimentos. Quito-Ecuador. Universidad San Francisco De Quito. Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición, 2010. 172p

CAI, Dongbao; LI, Xusheng; CHEN, Jiali; JIANG, Xinwei; MA, Xiaoqiang; Sun, Jianxia; TIAN, Lingmin; K. VIDYARTHI, Sriram; XU Jingwen; PAN, Zhongli; BAI, Weibin. A comprehensive review on innovative and advanced stabilization approaches of anthocyanin by modifying structure and controlling environmental factors. Enero, 2022, vol. 366.

CARKEET, Colleen; CLEVIDENCE, Beverly y NOVOTN, Janet. Anthocyanin excretion by humans increases linearly with increasing strawberry dose. En: National Center for Biotechnology information. Mayo, 2008.

CARUNCHIA, M; WHANG, L y HAN, H. The use of antioxidants in the preservation of snack foods. En: Handbook of Antioxidants for Food Preservation. 2015, p. 447-474.

CARVAJAL DE PABÓN; Luz Marina; YAHIA, Hadi; CARTAGENA, Regulo; PELÁEZ, Carlos; GAVIRIA Carlos A; ROJANO, Benjamín Alberto. Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. En: Revista Cubana de Plantas Medicinales. Marzo, 2012, vol. 17.

CASTAÑEDA VÁZQUEZ, Blanca Isabel; Inducción de antocianinas y capacidad antioxidante por oligogalacturónidos en uvas de mesa cv. 'Flame Seedless'. Trabajo de grado para optar por el título de Maestría en Ciencias. Sonora – México.: Centro de investigación en alimentación y desarrollo, A. C. 2010.96p.

CEDEÑO ARROYO, Silvana. Efecto de los diferentes procesos de secado en los compuestos bioactivos de murtila (*Ugni molinae Turcz*) y su bioaccesibilidad. Trabajo de grado Magíster en ciencia de los Alimentos. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Maestría en ciencia de los alimentos, 2017. 1 p.

CERVANTES, Lucía; MARTÍNEZ FERRI, Elsa; SORIA, Carmen y ARIZA, María. Compounds in strawberry, raspberry and blueberry: Insights for breeding programs. En: Journal of the Science of Food Bioscience. Octubre, 2020, vol. 37, p. 100-680.

CHEN, Kangni; YANG, Xiaoxue; HUANG, Zhan; JIA, Shiliang, ZHANG, Yuqi; SHI, Jing; HONG, Hui; FENG, Ligeng y LUO, Yongkang. Modification of gelatin hydrolysates from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) scales by Maillard reaction: Antioxidant activity and volatile compounds. En: Food Chemistry. Octubre, 2019, vol. 295, p. 569-578.

CHI, Chengdeng; LI, Xiaoxi; ZHANG, Yiping; CHEN, Ling; XIE, Fengwei; LI, Lin y BAI, Guanghui. Modulating the in vitro digestibility and predicted glycemic index of rice starch gels by complexation with gallic acid. En: Food hydrocolloids. Abril, 2019, vol. 89, p. 821-828.

CHIKKANNA, G.S; JHA, S.K; AMBIKA, D.S y SADANANDA, K. Effect of Packaging Material and Storage Period on Quality of Aonla and Cereal Based Extruded R-T-E snack. En: International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2020, vol. 1.

CHIPANA, Mercedes y RAVAGNAN, Alberto. Evaluación de la capacidad antioxidante de harina de frutilla (*Fragaria ananassa*) proveniente de las

variedades Festival y Benicia. En: Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA). Noviembre, 2018.

CHIS, María Simona; IGUAL, Marta; SOCACI, Sonia Ancuta; VODNAR, Dan Cristian; RANGA, Floricuta; MARTÍNEZ-MONZÓ, Javier y GARCÍA-SEGOVIA, Purificación. Effect of Medicago sativa Addition on Physicochemical, Nutritional and Functional Characteristics of Corn Extrudates. En: Foods. Abril, 2021, vol. 10, p. 928.

CHUNG-YONG, Cha y KWANG-GEUN, Lee. Effect of roasting conditions on the formation and kinetics of furan in various nuts. En: Food Chemistry. Noviembre, 2020, vol. 331.

COLINA IREZABAL, María Luisa. Deshidratación de Alimentos, segunda edición, Editorial trillas, 57 México, D.F. (2010). ISBN13 9786071704016.

COLUSSI, Rosana; FERREIRA DA SILVA, Willer Max; BIDUSKI, Barbara; MELLO EL HALAL, Shanise Lisie; DA ROSA ZAVAREZE, Elessandra y GUERRA DIAS, Alvaro Renato. Postharvest quality and antioxidant activity extension of strawberry fruit using allyl isothiocyanate encapsulated by electrospun zein ultrafine fibers. En: LWT. Mayo, 2021, vol. 143.

CONDEZO HOYOS, Luis; ABDERRAHIM, Mohamed y ARRIBAS, Silvia M. Análisis colorimétrico de alta eficiencia y de bajo coste mediante visión por computador. En: Universidad Autónoma de Madrid. Septiembre, 2015.

CONTRERAS JIMENEZ, Brenda Lidia. Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento Ohmico. Tesis de grado para optar por el título de maestro de tecnología avanzada. Queretaro- México. Instituto Politécnico Nacional. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada, 2009. 123.

CUESTA CARDENAS, Jessica Nubes y MOGROVEJO NIEVES, Viviana Maricela. Evaluación del método y solvente de extracción más eficientes para la obtención de metabolitos secundarios responsables de una actividad antioxidante y antibacteriana de 9 plantas medicinales en la ciudad de Cuenca-Ecuador. Cuenca.: Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Bioquímica y Farmacia, 2020.

CUVERTINO CALDERON, Vicina Carola. Comportamiento de secado de Pulpa de Murta (*Ugni molinae Turcz*) y estimación del consumo energético en la deshidratación de una lámina de fruta. Tesis de grado para optar por el título de Licenciada en Ingeniería en Alimentos. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería en Alimentos, 2004.

DEBELO, Hai, LI, Mi y FERRUZZI, Mario. Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. En: Current Opinion in Food Science. Abril, 2020, vol. 32, p. 90-102.

DEĞIRMENCIOĞLU, Nurcan; GÜRBÜZ, Ozan; KARATEPE, Gözde Erdem; IRKIN, Reyhan. Influence of hot air drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of blueberry (*Vaccinium myrtillus*) fruit and leaf. En: Journal of Applied Botany and Food Quality. Marzo, 2017, vol. 90, p. 115-125.

DEHGHAN SHOARA, Zeinab; HARDACREA, Allan K y BRENNANB, Charles S. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. En: Food Chemistry. Diciembre, 2010, vol. 123, no. 4, p. 1117-1122.

DEHGHAN SHOARA, Zeinab; HARDACREA, Allan K; BRENNANB, Charles S. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. En: Food Chemistry. Diciembre, 2010, vol. 123, no. 4, p. 1117-1122.

DHAKAL, Santosh; BALASUBRAMANIAM, V. M; COCURON, Jean-Christophe; ALONSO, Ana Paula; AGCAM1, Erdal y KAMAT, Shreya. Pressure-Thermal Kinetics of Furan Formation in Selected Fruit and Vegetable Juices. En: Food Bioprocess Technol. Junio, 2017.

DIAS, María; BARROS, Lillian; SOUSA, María; OLIVEIRA, Beatriz; BUELGA, Celestino y FERREIRA, Isabel. Enhancement of nutritional and bioactive compounds by in vitro culture of wild *Fragaria vesca* L. vegetative parts. En: Journal of the Science of Food Chemistry. Noviembre, 2017, vol. 235, p. 212-219.

DING, Q.-B., AINSWORTH, P., TUCKER, G. y MARSON, H., 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. En: Journal of Food Engineering, vol. 66, p. 3.

DROZDZ, Wioletta; BORUCZKOWSKA, Hanna; BORUCZKOWSKI, Tomasz; TOMASZEWSKA CLOSK, Ewa y ZDYBEL, Ewa. Use of blackcurrant and chokeberry press residue in snack products. En: Polish Journal of Chemical Technology. 2019, vol. 21, no. 1, p. 13-19.

DZHANFEZOVA, Tsaneta; BARBA ESPIN, Gregorio; Müller; JOERNSGAARD, Bjarne; NYMARK HEGELUND, Josefine; MADSEN, Bjoern; H LARSEN, Dorthe; MARTINEZ VEGA, Mabel y TOLDAM ANDERSEN, Torben Bo. Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria x ananassa Duch*) genetic resource collection. En: Food Bioscience. Agosto, 2020, vol. 36.

EL-SAYED, Abdel-Aal e IWONA, Rabalski. Effect of baking on free and bound phenolic acids in wholegrain bakery products. En: Journal of Cereal Science. Mayo, 2013, vol. 57, p. 312-318.

FELGINES, Catherine; TALAVÉRA, Séverine; GONTHIER, Marie-Paule; TEXIER, Odile; SCALBERT, Augustin; LAMAISON, Jean-Louis y RÉMÉSY, Christia. Strawberry anthocyanins are recovered in urine as glucuro- and sulfoconjugates in humans. En: National Center for Biotechnology information. Mayo, 2003.

FERNÁNDEZ GARCÍA, Wendy y SUYÓN TEJEIRA, Stephany Raquel. Efecto del secado convectivo en el valor nutricional, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante in vitro del *Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault "cushuro" procedente de Recuay. Tesis de grado. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Carrera Licenciatura en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 2018, p 80.

Ferruzzia, Mario G; LOBOA, Jessica; JANLEB, Elsa; COOPERC, Bruce; SIMOND, James; WUD, Qing-Li; WELCHD, Cara; HOE, Lap; WEAVERB, Connie y PASINETTI, Giulio. Bioavailability of Gallic Acid and Catechins from Grape Seed Polyphenol Extract is Improved by Repeated Dosing in Rats: Implications for Treatment in Alzheimer's Disease. En: National Center for Biotechnology information. Marzo, 2009.

FLOREZ ZAVALA, Daniela. Obtención de un producto de confitería a base de bagazo de mango Ataulfo (*Mangifera indica* L.) y evaluación de su efecto prebiótico in vitro. Trabajo de grado. Magister en Ciencia y tecnología de alimentos. Santiago de Querétaro: Universidad autónoma de Querétaro, Facultad de química. Carrera de Ciencia y tecnología de alimentos, 2018, p. 64.

GALEANO G., Paula; CUELLAR A., Liceth; SCHINELLA, Guillermo. Influencia del procesamiento del grano de copoazu (*theobroma grandiflorum*), sobre la actividad antioxidante y el contenido fenólico. En: Red de revistas científicas de américa latina, el caribe, españa y Portugal. Abril, 2012, vol. 19.

GARZÓN-GARCÍA, Alba Mery; DUSSÁN-SARRIA, Saúl y MELO-SEVILLA, Raúl Emilio. Estudio de la Variación de Parámetros de Color del Yacón utilizando un Prototipo de Medición de Color y Temperatura. En: Información tecnológica, 2018, vol. 29.

GAUKEL, V; SIEBERT, T y ERLE, U. Microwave-assisted drying. The Microwave Processing of Foods. Segunda edición. El Sevier, 2017. p. 152-178.

GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª edición. México.: Compañía editorial continental, s.a. de c.v.1998.

GHOULA, Athanasia, ADAMAPOULOS, Konstantinos. Kinetic Models of Evaporation and Total Phenolics Degradation during Pomegranate Juice Concentration. En: TInternational Journal of Food Engineering. Enero, 2014.

GOMEZ, Juan Martín; VARO, M Ángeles; MERIDA, Julieta; SERRATOSA, María P. Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). En: LWT. Febrero, 2020, vol. 120.

GONÇALVES, Ana C; NUNES, Ana R; FALCÃO, Amílcar; ALVES, Gilberto; SILVA, Luís R. Silva . Dietary Effects of Anthocyanins in Human Health: A Comprehensive Review. En: Pharmaceuticals. Julio, 2021.

GONZÁLEZ ROJAS, Noelia; BRENES PERALTA, Laura; JIMENÉZ MORALES, María Fernanda; VAQUERANO PINEDA, Felipe y CAMPOS RODRIGUEZ, Roel. Estabilización anaeróbica de residuos sólidos biodegradables para proponer un producto alimenticio para cerdos, en el Tecnológico de Costa Rica. En: Tecnología en Marcha. Diciembre, 2018, vol. 31, p. 120-132.

GONZÁLEZ, Victoriano; GUEMES, Vera; BERNARDINO, Nicanor; SOTO, Simental; QUINTERO, Lira y CHEL, L.A. Propiedades funcionales de botanas extrudidas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de papa roja (*Oxalis tuberosa*). En: Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2019, vol.4.

GONZÁLEZ-SARRÍAS, A; TOMÁS-BARBERÁN, F.A y GARCÍA-VILLALBA, R. Structural Diversity of Polyphenols and Distribution in Foods. En: Dietary Polyphenols. Octubre, 2020, p. 1-29.

GREENFIELD, H y SOUTHGATE, D. Datos de composición de alimentos obtención, gestión y utilización. Universidad de Nueva Gales del Sur Sidney, Australia. Rome.: Burlingame, B. A y Charrindiere , U.R, 2006.

GUTIÉRREZ ROMERO, Jessica. Extracción de antocianinas de fresa deshidratada y liofilizada. Tesis de grado. Toluca- México: Universidad autónoma del estado de México, Facultad de Química. Carrera de Ingeniería Química, 2019. 55 p.

HAMAUZU, Yasunori y SUWANNACHOT, Jutalak. Non-extractable polyphenols and in vitro bile acid-binding capacity of dried persimmon (*Diospyros kaki*) fruit. En: Food Chemistry. Septiembre, 2019, vol. 293, p. 127-133.

HAN, Yang; TRA TRAN, Thi Thu y MAN LE, Van Viet. Corn snack with high fiber content: Effects of different fiber types on the product quality. En: LWT. Octubre, 2018, vol. 96, p. 1-6

HELLWIG, Michael; KÜHN, Lennart y HENLE, Thomas. Individual Maillard reaction products as indicators of heat treatment of pasta-A survey of commercial products. En: Journal of Food Composition and Analysis. Septiembre, 2018, vol. 72, p. 83-92.

HINCAPIÉ LLANOS, Gustavo Adolfo; OMAÑA YAÑEZ Mónica Marcela; HINCAPIÉ LLANOS, Carlos Augusto; ARIAS GÓMEZ, Zuleyma; VÉLEZ ACOSTA, Lina María. Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. En: Revista Lasallista de Investigación. Julio, 2010, vol. 7, no.2.

HIRTH, Mario; LEITER, Andreas; BECK, Svenja M y SCHUCHMANN, Heike P. Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch-based food. En: Journal of Food Engineering. Marzo, 2014, vol. 125, p. 139-146.

HOGLUND, Evelina; ELIASSON, Lovisa; OLIVEIRA, Gabriel; ALMLI-NESLI, Valerie y ALMINGER, Marie. Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. En: LWT. Junio, 2018, vol. 92, p. 422-428.

HOSSAIN, Ashrafi; BEGUM, Parveen; ZANNAT, M. Salma; HAFIZUR RAHMAN, Md; AHSAN, Monira; ISLAM, Sheikh Nazrul. Nutrient composition of strawberry genotypes cultivated in a horticulture farm. En: Food Chemistry. Mayo, 2016, vol.199, p. 648-652.

HUACHUHUILLCA LIZARME, Dina. Efecto de liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto (*physalis peruviana* L). Trabajo de grado. Ingeniera Agroindustrial. Andahuaylas-Apurímac-Perú: Universidad Nacional José María Arguedas, Facultad de ingeniería. Carrera de Ingeniería Agroindustrial, 2017. 66 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Tabla de composición de alimentos colombianos. 2 ed. Bogota D.C.: 2015. 321p. ISBN 978-958-623-186-2.

J, Nicolas C; BILLAUD, J; M A, Rouet-Mayer. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. Browning/Enzymatic – Biochemical Aspects. 2 ed. Caballero –Benjamín, 2003. 678-686.

JUCIKLÉCIA, Reinaldo; MILFONT, Carlos; GOMES, Felipe; MATTOS, Adriano; MEDEIROS, Fábio; LOPES, Paula; SOUZA FILHO, Men de sá; MATSUI, Kátia y ITO, Edson. Influence of grape and acerola residues on the antioxidant, physicochemical and mechanical properties of cassava starch biocomposites. En: Polymer Testing. Enero, 2021, vol. 93.

KONRADE, D; LIDUMS, I; CLAVA, D; ENCE, E y KIRSE OZOLINA, A. Investigation of extruded cereals enriched with plant by-products and their use in fermented beverage production. En: Agronomy Research. 2019, p. 1346–1355.

KOSINSKA-CAGNAZZO, Agnieszka; BOCQUEL, Dimitri; MARMILLOD, Isabelle y ANDLAUER, Wilfried. Stability of goji bioactives during extrusion cooking process. En: Food Chemistry. Septiembre, 2017, vol. 230, p. 250-256.

LEPE VÁSQUEZ, Ana Lucia. Desarrollo de un snack horneado a base de maíz y adición de fitoesteroides de palma (*Elaeis guineensis*), con mejoramiento del extracto etéreo. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Honduras.: Escuela Agrícola Panamericana, 2017.

LEWIS, Norman G; DAVIN, Laurence B; SARKANEN Simo. Engineering Comprehensive Natural Products Chemistry. The Nature and Function of Lignins. 3 vol. 617-745.

LEYVA-CORRAL, Julieta; QUINTERO, Armando; CAMACHO, Alejandro; ZAZUETA, José de Jesús; AGUILAR, Ernesto; RUIZ, Martha; MELENDEZ, Carmen y RUIZ, Jesús. Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. En: LWT - Food Science and Technology. Junio, 2016, vol. 65, p. 228-236.

LISCANO CRIOLLO, Leydy Xiomara y SAMBONI MOSQUERA, Aura María. Evaluación del efecto de la adición de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) variedad rojo Cauca en un snack extruido a base de maíz. Trabajo de grado Ingenieras Agroindustriales. Popayán: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera de ingeniería Agroindustrial, 2019. 16 p.

LOHACHOOMPOL, Virachnne; SRZEDNICKI, George; CRASKE, Jhon. The Change of Total Anthocyanins in Blueberries and Their Antioxidant Effect After Drying and Freezing. En: J. Biomed. Biotechnol. Diciembre, 2004, vol. 5, p.248–252.

LOMELÍ-MARTÍN, Adrián; MARTÍNEZ, Luz María; WELTI-CHANES, Jorge y ESCOBEDO-AVELLANEDA, Zamantha. Induced Changes in Aroma Compounds of Foods Treated with High Hydrostatic Pressure: A Review. En: Food Engineering and Technology. Marzo, 2021.

LONDOÑO, Julian. Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. En: Desarrollo y transversalidad: Corporación Universitaria Lasallista ,2011. p. 129-162.

LÓPEZ – ORTIZ, A; MÉNDEZ – LAGUNAS, L.L; DELESMA, Cornelio; LONGORIA, Adriana; ESCOBAR, Jorge y MUÑIZ Jesús. Understanding the drying kinetics of phenolic compounds in strawberries: An experimental and density functional theory study. En: Innovative Food Science & Emerging Technologies. Marzo, 2020, vol. 60.

LÓPEZ CAMPO, Javier. Estudio comparativo de la actividad antioxidante en fresas de cultivos de origen tradicional versus ecológico. Trabajo de grado para optar por el título de grado en biología. España.: Universidad de Coruña.2017.28p.

LUDEÑA ANYOSA; Frank Jesús; GUTIÉRREZ REYES, Rocio Marilin; PALOMINO EGUILUZ, Lizbeth Rosa y ROJAS CASTRO, Estefani Oksana. Obtención de

extracto de antocianinas con capacidad antioxidante a partir del descarte de exportación de arándanos para ser utilizado como colorante en la industria alimentaria. Trabajo de grado Académicos de Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias. Lima- Perú: Universidad San Ignacio de Loyola. Facultad de ingeniería. Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, 2019. 66 p.

MARTÍN BUENO, Julia; SÁEZ PLAZA, Purificación; RAMOS ESCUDERO, Fernando; JIMENEZ, Ana Maria; FETT, Roseane y G ASUERO, Agustin. Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins. En: Analytical Chemistry. Marzo, 2012, vol.42, p. 126-151.

MARTÍN GÓMEZ, Juan. Kinetics of drying process of red fruits and elaboration of fermented beverages. Color and bioactive compounds change during processing. Tesis de doctorado. Córdoba: Universidad de Córdoba. Programa de doctorado Biociencias y Ciencias Agroalimentarias, 2019, 137 p.

MEJÍA ABANTO, Diana Milagros. Extracción y cuantificación de antocianinas en frambuesa (*Rubus idaeus L.*) a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero En Industrias Alimentarias. Cajamarca-Perú.: Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias, 2016.58.

MÉNDEZ LAGUNA, Lilia; BARRIADA BERNAL, Gerardo; RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Juan; CRUZ GRACIDA, Marlene y SANDOVAL TORRES, Sadoth. Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. En: Journal of the Science of Food Chemistry. Septiembre, 2017, vol. 230, p. 174-181.

MILLER, Gail Lorenz. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. En: Analytical chemistry .p. 426-428.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR): Encuesta nacional agropecuaria (ENA) [en línea]. Noviembre, 2020. [Citado]: 25, marzo, 2021]. Disponible en internet: [https://www.agronet.gov.co/Documents/boletin\\_ena\\_2017.pdf#search=fresa%20boletin%20produccion%20toneladas](https://www.agronet.gov.co/Documents/boletin_ena_2017.pdf#search=fresa%20boletin%20produccion%20toneladas).

MORALES DELGADO, D. Y; TELLEZ MEDINA, D.I; RIVERO RAM, N.L; ARELLANO CARDENAS, S; HERNANDE SANCHEZ, H; GUTIERREZ LOPEZ, G; CORNEJO MAZON, M. Effect of convective drying on total anthocyanin content, antioxidant activity and cell morphometric parameters of strawberry parenchymal tissue (*Fragaria x ananassa Dutch*). En: Revista Mexicana de Ingeniería Química. Diciembre, 2014, vol. 13.

MORALES DELGADO, D.Y; TELLER MEDINA, D.I; RIVERO-RAMÍREZ, N.L; ARELLANO CÁRDENAS, S; LÓPEZ CORTEZ, S; HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, H;

GUTIÉRREZ LÓPEZ, G; CORNEJO MAZÓN, M. Effect of convective drying on total anthocyanin content, antioxidant activity and cell morphometric parameters of strawberry parenchymal tissue (*Fragaria x ananassa Dutch*). En: Revista mexicana de ingeniería Química. Abril, 2014, vol.13.

MORALES QUINTANA; Juan y RAMOS, Patricio. Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*): An integrative and comprehensive review. En: Food Research International. Mayo, 2019, vol. 119, p. 769-776.

MOSTACILLA, Sory Amalfi y ORDOÑEZ, Aura Lorena, 2019. Evaluación de los parámetros de textura en un snack a partir de una mezcla de cereales desarrollado en la empresa SEGALCO S.A.S. Trabajo de grado Ingeniería Agroindustrial. Popayán: Universidad del Cauca. Departamento de agroindustria, 2019. 99 p.

MUÑOZ JÁUREGUI, Ana María; RAMOS ESCUDERO, Fernando. Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. En: Revista Horizonte Médico. Junio, 2007, vol.7.

NATABIRWA, Hedwig; NAKIMBUGWE, Dorothy; LUNG'AHU, Mercy y MUYONGA, John. Optimization of Roba1 extrusion conditions and bean extrudate properties using response surface methodology and multi-response desirability function. En: LWT. Octubre, 2018, vol. 96, p. 411-418.

NAVARRO GONZÁLEZ, Inma; PERIAGO María Jesús; GARCÍA ALONSO, Francisco Javier. Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. En: Revista Española de Nutrición Humana y Dietética. Noviembre, 2017.

NEMZER, Boris; FENG, Hao; VARGAS, Luis; XIA, Xiaoyan y SINTARA, Marsha. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. En: Food Chemistry. Octubre, 2018, vol. 262, p. 242-250.

NIZOL, Joana; MISIOREK, María y RUMAN, Tomasz. Mass spectrometry imaging of low molecular weight metabolites in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa Duch.*) cv. Primoris with 109Ag nanoparticle enhanced target. En: Phytochemistry. Marzo, 2019, vol. 159, p. 11-19.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Guía técnica sobre frutas frescas, fresa variedad Chandler, especificaciones. NTC 4103.

NOROÑA GAMBOA, Lauro David. Cinética de secado de cereales provenientes de la Región Centro del Ecuador. Trabajo de grado. Ambato-Ecuador: Universidad técnica de Ambato, Facultad de ciencia e ingeniería en alimentos, Carrera de ingeniería bioquímica, 2018, p. 38.

NORONHA MATOS, Kevin Albert; PRAIA LIMA, Danielle; PEREIRA BARBOSA, Anna Paula; ZERLOTTI MERCADANTE, Adriana y CAMPOS CHISTÉ, Renán. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. En: Food Chemistry. Enero, 2019, vol. 272, p. 216-221.

NOWICKA, Agnieszka; KUCHARSKA, Z Alicja; LETOWSKA, Anna Sokół; FECKA, Izabela. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of strawberry fruit from 90 cultivars of *Fragaria × ananassa* Duch. En: Food Chemistry. Enero, 2019, p. 32-46.

OANCEA, Simona. A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat. En. Advances in Natural Antioxidants for Food Improvement. Agosto, 2021.

OLUWASEUN, Ruth; NOUR, Hamid y CHINONSO, Ishamel. Extraction of phenolic compounds: A review. En: Current Research in Food Science. Abril, 2021, vol. 4, p. 200-214.

OLVERA NOVOA, Miguel Angel; MARTINEZ PALACIOS, Carlos A y REAL DE LEÓN, Elizabeth. MANUAL DE TECNICAS PARA LABORATORIO DE NUTRICIÓN DE PECES Y CRUSTACEOS. 1993.

ONGKOWIJOYO, Paulina; LUNA VITAL, Diego A y GONZALES DE MEJIA. Extraction techniques and analysis of anthocyanins from food sources by mass spectrometry: An update. En: Food Chemistry. Junio, 2018, vol. 250, p. 113-126.

PAP, Nora; FIDELIS, Marina; AZEVEDO, Luciana; ARAÚJO VIEIRA DO CARMO, Mariana; WANG, Dongxu; MOCAN, Andrei; RODRIGUEZ PEREIRA, Eliene Penha; XAVIER SANTOS, Douglas; SANT'ANA Anderson S; YANG, Baoru; GRANATO, Daniel. Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. En: Current Opinion in Food Science. Diciembre, 2021, vol. 42, p. 167-186.

PARADA, Javier; PÉREZ JIMÉNEZ, Jara y PÉREZ CORREA, José. Design of low glycemic response foods using polyphenols from seaweed. En: Journal of functional foods. Mayo, 2019, vol. 56, p. 33-39.

PARVEEZ ZIA, Mahrukh y ALIBAS, Ilknur. The effect of different drying techniques on color parameters, ascorbic acid content, anthocyanin and antioxidant capacities of cornelian Cherry. En: Food Chemistry. Diciembre, 2021, vol. 364.

PEKSA, Anna; KITA, Agnieszka; CARBONELL-BARRACHINA, Angel A; MIEDZIANKA, Joanna; KOLNIAK-OSTEK, Joanna; TAJNER-CZOPEK, Agnieszka; RYTEL, Elżbieta; SIWEK, Adam Siwek; MIARKA, Dorota y DROŹDŹ, Wioletta. Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by

different flour types and extrusion conditions. En: LWT-Food Science and Technology. Octubre, 2016, vol. 72, p. 26-36

PENSAMIENTO-NIÑO, C. A; GÓMEZ-ALDAPA, C. A; HERNÁNDEZ-SANTOS, B; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M; HERMAN-LARA, E; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E y RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. Optimization and characterization of an extruded snack based on taro flour (*Colocasia esculenta L.*) enriched with mango pulp (*Mangifera indica L.*). En: Journal of Food Science and Technology. Julio, 2018.

PEREZ SILVA, Ana Veronica. Determinación de las condiciones técnicas para la elaboración de un snack de Maíz enriquecido con soya a escala industrial. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Quito-Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería química y Agroindustria, 2009. 123p.

PHANLERT PROMSAKHA, Sakon Nakhon; KAMOLWAN, Jangchud; ANUVAT, Jangchud y CHULALUK, Charunuch. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. En: Agriculture and Natural Resources. Diciembre, 2018, vol. 52, p. 550-556.

PHANLERT PROMSAKHA, Sakon Nakhon; KAMOLWAN, Jangchud; ANUVAT, Jangchud y CHULALUCK, Charunuch. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. En: Agriculture and Natural Resources. Diciembre, 2018, vol. 52, p. 550-556.

PICO, Joana; XU, Kang; GUO, Mengmeng; MOHAMEDSHAH, Zulfiqar; FERRUZZI, Mario y MARTINEZ, Mario. Manufacturing the ultimate green banana flour: Impact of drying and extrusion on phenolic profile and starch bioaccessibility. En: Food Chemistry. Noviembre, 2019, vol. 297.

POPAYÁN, ALCALDÍA MUNICIPAL. Nuestra geografía [en línea]. Actualizado: enero, 2021. [Citado: 6, abril, 2021]. Disponible en internet en: <http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia>.

POTTER, Valentina y PLUNKETT, Andrew. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. En: LWT - Food Science and Technology. Mayo, 2013, vol. 51, p. 537-544.

QUIÑONES, M; MIGUEL, M y ALEIXANDRE, A. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. En: Nutrición hospitalaria. Enero, 2012, p. 76-89.

QUISPE LOAYZA, Kathy patricia y ALCARCEL CARPIO, Diana carolina. Efecto de la ingesta de harina de semillas de calabaza (*cucurbita pepo l.*) sobre los niveles de zinc plasmático en unidades experimentales (*sprague dawley*) inducidas a depleción de zinc, arequipa 2014. Tesis de grado. Arequipa, Perú: Universidad

Nacional de San Agustín. Facultad de Ciencias Biológicas. Carrera Licenciatura en Nutrición Humana, 2015.

REKIKI, Djamila; KHANIZADEH, Shahrokh; DESCHÊNES, Martine; LEVASSEUR, Audrey ; CHARLES, Marie Thérèse; TSAO, Rong; YANG, Raymond. Antioxidant Capacity and Phenolic Content of Selected Strawberry Genotypes. En: American Society for Horticultural Science. Octubre, 2005, vol.40.

RIOS DE SOUZA, Vanessa; PIMENTA PEREIRA, Patrícia Aparecida; TEODORO DA SILVA, Thais Lomônaco; DE OLIVEIRA LIMA, Luiz Carlos; PIO, Rafael; QUEIROZ; Fabiana. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. En: Food Chemistry. Agosto, 2014, vol. 156, p. 362-368.

RIVAS PÉREZ, Bernarda Nohemy; LEAL GRANADILLO, Iván Antonio; LOAIZA CUARURO, Luris Francis; MORILLO, Yonatta Ernesto y COLINA CHIRINOS, Jean Carlos. Phenolic Compounds and antioxidant activity in extracts of four Oregano species. En: Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Diciembre, 2017, vol. 40 no.3.

ROSS, Ka; NORTE, Delury; FUKUMOTO, Los y DIARRA, Sra. Dried berry pomace as a source of high value-added bioproduct: drying kinetics and bioactive quality índices. En: International Journal of food properties. Noviembre, 2020, vol. 23, no. 1, 2123-2143.

RUBIRA MARTINEZ, Juana. Efecto de la humedad relativa y del almacenamiento en los compuestos bioactivos y actividad antioxidante de un producto extruido de harina de maíz y chontaduro (*bactris gasipaes h.b.k*). Tesis de grado. Valencia: Universidad politécnica de Valencia. Carrera de ciencia y tecnología de los alimentos, 2018. 66 p.

RUIZ HERNÁNDEZ, Mónica Yaneth. Secado convectivo de fresa y su efecto en la actividad antioxidante. Tesis de Maestría. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca: Instituto politécnico nacional centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, unidad Oaxaca. Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, 2016. 48 p.

SAGASTIBELZA FORCADA, Blanca Berenguela. Secado asistido por microondas aplicado en frutas: comparativa frente al secado convencional por aire caliente. Tesis de grado. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra, Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos. Carrera de innovación en procesos y productos alimentarios, 2018. 24 p.

SANTA FÉ DE BOGOTÁ, CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial cámara de comercio de Bogotá [en línea]. Noviembre, 2015. [Citado: 20, marzo,

2021]. Disponible en internet en:  
file:///C:/Users/Danna%20zambrano/Downloads/fresa.pdf.

SHARMA, Paras; GUJRAL, Hardeep Singh y SINGH, Baljeet. Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. En: Food Chemistry. Abril, 2012, vol. 131, p. 1406-1413.

SINGH, Jatinder Pal; KAUR, Amritpal; SHEVKANI, Khetan; SINGH, Narpinder y SINGH, Baljit. Physicochemical characterization of corn extrudates prepared with varying levels of beetroot (*Beta vulgaris*) at different extrusion temperatures. En: International Journal of Food Science and Technology. Diciembre, 2015, vol. 51, p. 911–919.

SKALICKA-WOŹNIAK, Krystyna y ONISZCZUK Anna. Chemical Characteristics and Physical Properties of Functional snacks Enriched with Powdered Tomato. En: Food Quality and Functionality. 2018, Vol. 68, p. 251–261.

SOLARTE RANGEL, Miryam Lucia. Caracterización de algunos compuestos de interés en los procesos de fermentación y tostado de dos especies de cacao Amazónico. Tesis de Maestría. Medellín- Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Maestría en ingeniería agroindustrial, 2021, p. 36.

SOTO RAMOS, Roberto. Influencia de la temperatura en la cinética de secado, difusividad efectiva y calidad de láminas de frutas. Tesis de grado para optar por el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Huancayo-Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, 2013, 62-63 p.

SOTO-GARCÍA, Marcela y ROSALES-CASTRO, Martha. Effect of solvent and solvent-to-solid ratio on the phenolic extraction and the antioxidant capacity of extracts from *Pinus durangensis* and *Quercus sideroxyla* bark. En: Maderas, Cienc. tecnol. 2016, vol. 18 no.4.

TINGTING, Qiu; SUN, Yong; WANG, Xiaoya; ZHENG, Liufeng; ZHANG, Hua; JIANG, Li; ZHU, Xuemei y XIONG, Hua. Drum drying-and extrusion-black rice anthocyanins exert anti-inflammatory effects via suppression of the NF-κB /MAPKs signaling pathways in LPS-induced RAW 264.7 cells. En: Food Bioscience. Junio, 2021, vol. 41, p. 100841.

TOVAR DEL RIO, Jennifer. Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecorregión cafetera. Tesis de grado. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología, 2013, p.33.

TREJO, Andrea; RAMOS LÓPEZ, Karen y PÉREZ GUILLÉN, Carla. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria Vesca* L.) almacenada en refrigeración. En: V Congreso

Iberoamericano de Tecnología postcosecha y agroexportaciones. Enero, 2007, p. 230-239.

VARGAS ATAUCHI, Rocío Milagros y COAGUILA OLANDA, Karen Lizeth. Determinación de los parámetros tecnológicos para la elaboración de un producto tipo snack a partir de zapallo (*Cucurbita maxima duch*). Tesis de grado. Arequipa-Perú. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Facultad De Ingeniería De Procesos. Carrera de Ingeniería de industrias alimentarias, 2018, p.54.

VELÁSQUEZ, Valeria del Carmen. Estandarización del Proceso de Secado de Carragenina en la Empresa Extractos Naturales Gelymar S.A. Tesis de grado para optar por el título de Licenciado en Ciencia de los Alimentos. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería en Alimentos, 2007, 7 p.

VILGIS, Thomas A. Soft matter food physics - The physics of food and cooking. En: Reports on progress in physics. Noviembre, 2015.

VINCES GUILLEN, Rolando y ZAVALA BUSTAMANTE, Valeria. Obtención de harina nixtamalizada de maíz morado (*zea mays l.*) por extrusión. Tesis de grado. Lima- Perú: Universidad San Ignacio de Loyola, Facultad de ingeniería. Carrera de ingeniería Agroindustrial y Agronegocios, 2018, p. 77.

WITROWA RAJCHERT, Dorota; BAWOL, Anna; CZAPSKI, Janusz.; KIDÓN, Marcin. Studies on drying of purple carrot roots. En: Dry. Technol. Noviembre 2009, vol. 27, p. 1325-1331.

WODJDYTO, Aneta; FIGIEL, Adam; OSZMIANSKI, Jan. Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. En: polish journal of food and nutrition sciences. 2007, vol. 57, p. 601-605.

WÓJTOWICZ, Agnieszka; ZALEWSKA-KORONA, Marta; JABŁOŃSKA-RYŚ, Ewa; LISIECKA Katarzyna; MITRUS, Marcin; NOWAK, Gabriela; GOLIAN, Martyna; ONISZCZUK, Anna; KASPRZAK, Kamila; WIDELSKA, Gabriela; ONISZCZUK, Tomasz y COMBRZYŃSKI, Maciej. Physical properties and texture of gluten-free snacks supplemented with selected fruit additions. En: International Agrophysics. Marzo, 2019, vol. 33, p. 407-416.

ZAPATA, Karol; ROJANO, Benjamín y CORTES, Farid. Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollisima baley*). En: Información tecnológica. 2015, vol. 26.

ZIELINSKA, Magdalena y ZIELINKA, Danuta. Effects of freezing, convective and microwave-vacuum drying on the content of bioactive compounds and color of cranberries. En: LWT. Mayo, 2019, vol. 104, p. 202-209.

ZITOUNI, Hafida; HSSAINI, Lahcen; OUAABOU, Rachida; VIUDA-MARTOS Manuel; HERNÁNDEZ, Francisca; ERCISLI, Sezai; ENNAHLI, Said; MESSAOUDI, Zerhouné HANINE, Hafida. Exploring Antioxidant Activity, Organic Acid, and Phenolic Composition in Strawberry Tree Fruits (*Arbutus unedo* L.) Growing in Morocco. En: Plants. Noviembre, 2020.

## ANEXOS

### Anexo A

#### Contenido de polifenoles extractables después del proceso de secado

Análisis de varianza para contenido de polifenoles extractables en fresa fresca y harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70 °C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	32095,7	10698,6	45185,71	0,000
Error	8	1,9	0,2		
Total	11	32097,6			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para contenido de polifenoles extractables en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70 °C frente a fresa fresca (Control).

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	21,6201	A
Harina de fresa secada a 70°C	3	19,0190	
Harina de fresa secada a 55°C	3	16,8724	
Harina de fresa secada a 40°C	3	14,6586	

#### Contenido de polifenoles hidrolizables después del proceso de secado

Análisis de varianza para contenido de polifenoles hidrolizables en fresa fresca y harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70 °C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	79,4770	26,4923	5061,48	0,000
Error	8	0,0419	0,0052		
Total	11	79,5189			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para contenido de polifenoles hidrolizables en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C frente a fresa fresca (Control).

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	4,9611	A
Harina de fresa secada a 55°C	3	11,7765	
Harina de fresa secada a 40°C	3	10,5199	
Harina de fresa secada a 70°C	3	9,5790	

Contenido de polifenoles totales después del proceso de secado

Análisis de varianza para contenido de polifenoles totales en fresa fresca y harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	91,3871	30,4624	304,53	0,000
Error	8	0,8002	0,1000		
Total	11	92,1873			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para contenido de polifenoles totales en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C frente a fresa fresca (Control).

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	26,5812	A
Harina de fresa secada a 55°C	3	28,4410	
Harina de fresa secada a 70°C	3	28,5980	
Harina de fresa secada a 40°C	3	25,1785	

Anexo B

Contenido de antocianinas después del proceso de secado

Análisis de varianza para contenido de antocianinas en fresa fresca y harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	0,807873	0,269291	68772,37	0,000
Error	8	0,000031	0,000004		
Total	11	0,807905			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para contenido de antocianinas en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C frente a fresa fresca (Control).

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	0,5048	A
Harina de fresa secada a 70°C	3	1,2057	
Harina de fresa secada a 55°C	3	0,8769	
Harina de fresa secada a 40°C	3	0,6859	

### Anexo C

Capacidad antioxidante después del proceso de secado

#### ABTS

Análisis de varianza para capacidad antioxidante por el método ABTS en fresa fresca y harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	32095,7	10698,6	45185,71	0,000
Error	8	1,9	0,2		
Total	11	32097,6			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para capacidad antioxidante por el método ABTS en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70 °C frente a fresa fresca (Control).

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	133,4181	A
Harina de fresa secada a 70°C	3	14,1005	
Harina de fresa secada a 40°C	3	14,0484	
Harina de fresa secada a 55°C	3	13,8009	

## DPPH

Análisis de varianza para capacidad antioxidante por el método DPPH en fresa fresca y harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	500,680	166,893	779,62	0,000
Error	8	1,713	0,214		
Total	11	502,393			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para capacidad antioxidante por el método DPPH en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C frente a fresa fresca (Control).

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	22,2912	A
Harina de fresa secada a 55°C	3	7,4744	
Harina de fresa secada a 70°C	3	7,3953	
Harina de fresa secada a 40°C	3	7,2556	

## Anexo D

Contenido de polifenoles totales después del proceso de extrusión

Análisis de varianza para contenido de polifenoles totales en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	5	1747,89	349,578	3767,34	0,000
Error	12	1,11	0,093		
Total	17	1749,00			

Comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95% para contenido de polifenoles totales en snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C frente a harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Harina de fresa secada a 55°C	3	28,4410	A
Harina de fresa secada a 70°C	3	28,5980	B
Harina de fresa secada a 40°C	3	25,1785	C
Snack con harina de fresa secada a 40°C	3	12,3639	D
Snack con harina de fresa secada a 55°C	3	6,5539	E
Snack con harina de fresa secada a 70°C	3	5,4672	F

## Anexo E

### Contenido de antocianinas después del proceso de extrusión

Análisis de varianza para contenido de antocianinas en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	5	1,44295	0,288590	39171,64	0,000
Error	12	0,00009	0,000007		
Total	17	1,44304			

Comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95% para contenido de antocianinas en snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C frente a harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C

Muestra	N	Media	Agrupación
Harina de fresa secada a 40°C	3	0,6859	A
Harina de fresa secada a 55°C	3	0,8769	B
Harina de fresa secada a 70°C	3	1,2057	C
Snack con harina de fresa secada a 40°C	3	0,4664	D
Snack con harina de fresa secada a 70°C	3	0,4516	E
Snack con harina de fresa secada a 55°C	3	0,4175	F

## Anexo F

### Capacidad antioxidante después del proceso de extrusión

#### ABTS

Análisis de varianza para capacidad antioxidante por el método ABTS en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	5	1747,89	349,578	3767,34	0,000
Error	12	1,11	0,093		
Total	17	1749,00			

Comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95% para capacidad antioxidante por el método ABTS en snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C frente a harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Harina de fresa secada a 55°C	3	13,8009	A
Harina de fresa secada a 70°C	3	14,1005	B
Harina de fresa secada a 40°C	3	14,0484	C
Snack con harina de fresa secada a 40°C	3	27,2751	D
Snack con harina de fresa secada a 55°C	3	32,3003	E
Snack con harina de fresa secada a 70°C	3	30,1786	F

#### DPPH

Análisis de varianza para capacidad antioxidante por el método DPPH en harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C y snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	5	2142,60	428,520	14841,17	0,000
Error	12	0,35	0,029		
Total	17	2142,95			

Comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95% para capacidad antioxidante por el método DPPH en snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C frente a harinas de fresa secadas a 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Harina de fresa secada a 70°C	3	7,3953	A
Harina de fresa secada a 55°C	3	7,4744	A
Harina de fresa secada a 40°C	3	7,2556	A
Snack con harina de fresa secada a 40°C	3	30,6302	B
Snack con harina de fresa secada a 55°C	3	28,4272	C
Snack con harina de fresa secada a 70°C	3	28,6325	C

#### Anexo G

##### Coordenada L\*

Análisis de varianza para el análisis colorimétrico de la fresa fresca respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70 ° C.

Muestra	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	1540,14	513,379	1,54014E+11	0,000
Error	8	0,00	0,000		
Total	11	1540,14			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para el análisis colorimétrico en la coordenada L\* de la fresa fresca (Control) respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	20	78,7060	A
Snack con harina de fresa secada a 40°C	20	54,7740	
Snack con harina de fresa secada a 55°C	20	53,3950	
Snack con harina de fresa secada a 70°C	20	50,2760	

##### Coordenada a\*

Análisis de varianza para el análisis colorimétrico de la fresa fresca respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	9,02144	3,00715	9,02144E+08	0,000
Error	8	0,00000	0,00000		
Total	11	9,02144			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para el análisis colorimétrico en la coordenada a\* de la fresa fresca (Control) respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	20	19,1460	A
Snack con harina de fresa secada a 70°C	20	19,3960	
Snack con harina de fresa secada a 40°C	20	17,6760	
Snack con harina de fresa secada a 55°C	20	17,4330	

Coordenada b\*

Análisis de varianza para el análisis colorimétrico de la fresa fresca respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	18,3821	6,12735	727642,01	0,000
Error	8	0,0001	0,00001		
Total	11	18,3821			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para el análisis colorimétrico en la coordenada b\* de la fresa fresca (Control) respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	20	18,3260	A
Snack con harina de fresa secada a 70°C	20	21,4690	
Snack con harina de fresa secada a 40°C	20	18,8640	
Snack con harina de fresa secada a 55°C	20	18,7600	

## Anexo H

### Índice de expansión

Análisis de varianza para el índice de expansión de los snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	2	0,1161	0,058066	11,36	0,000
Error	57	0,2914	0,005113		
Total	59	0,4076			

Comparación de medias por el método de Tukey con una confianza del 95% para el índice de expansión de los snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Snack con harina de fresa secada a 55°C	20	1,4942	A
Snack con harina de fresa secada a 40°C	20	1,4916	A
Snack con harina de fresa secada a 70°C	20	1,3996	B

## Anexo I

### Dureza

Análisis de varianza para la prueba de dureza de los snacks con inclusión de harina de fresa secadas a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	2	886,19	443,096	540,35	0,000
Error	27	22,14	0,820		
Total	29	908,33			

Comparación de medias por el método de Tukey con una confianza del 95% para la prueba de dureza de los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Muestra	N	Media	Agrupación
Snack con harina de fresa secada a 40° C	20	25,6990	A
Snack con harina de fresa secada a 55° C	20	17,4927	B
Snack con harina de fresa secada a 70° C	20	12,5172	C

#### Anexo J

Análisis de varianza para los azúcares reductores de la fresa fresca con respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secados a las temperaturas de 40, 55 y 70°C.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	209880	69960,0	1,98891E+12	0,000
Error	8	0	0,0		
Total	11	209880			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un nivel de confianza del 95% para los azúcares reductores de la fresa fresca (Control) respecto a los snacks con inclusión de harina de fresa secada a las temperaturas de 40, 55 y 70°C

Muestra	N	Media	Agrupación
Fresa fresca (control)	3	52,1840	A
Snack con harina de fresa secada a 40°C	3	374,3529	
Snack con harina de fresa secada a 55°C	3	361,9199	
Snack con harina de fresa secada a 70°C	3	329,4725	