

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Caracterización de la harina obtenida de la semilla desgrasada de aguacate (*Persea americana* Mill) y reducción del contenido de cianuro para su aplicación en el desarrollo de productos alimenticios

Trabajo profesional presentado por

**Paulina Schnoor Monzón**

para optar por el grado académico de  
Licenciada en Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala,

2024



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Caracterización de la harina obtenida de la semilla desgrasada de aguacate (*Persea americana* Mill) y reducción del contenido de cianuro para su aplicación en el desarrollo de productos alimenticios

Trabajo profesional presentado por

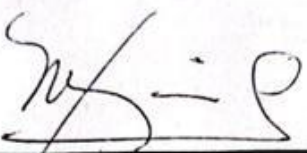
**Paulina Schnoor Monzón**

para optar por el grado académico de  
Licenciada en Ingeniería en Ciencias de Alimentos


Guatemala,

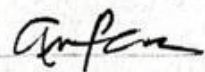
2024

Vo. Bo.:

(f)   
MSc. Fabiola Marisol Reina Tobar

Tribunal Examinador:

(f)   
MSc. Fabiola Marisol Reina Tobar

(f)   
Msc. Ing. Ana Alicia Paz Pierri

(f)   
MSc. Lcda. Ana Silvia Colmenares

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecerle a mi mamá Paula Monzón y a mi papá Hans Paul Schnoor, quienes me apoyaron durante el transcurso de mis 5 años de universidad. Ellos estuvieron presentes en todas mis alegrías, logros, momentos de estrés, quejas, entre mil sentimientos más. Este logro se debe en gran parte a ellos y al amor y apoyo incondicional que me dieron en cada momento. También quiero agradecer a mis abuelitos Lolo, Ita, Chichi y Opi, quienes estuvieron pendientes de mis avances durante todo el transcurso de este trabajo. Mi hermanito Hans también estuvo presente en todos mis momentos de felicidad y crisis y le agradezco por siempre escucharme y darme su valiosa opinión.

También quiero agradecer a Javier Mombiela, quién me apoyó incondicionalmente y estuvo a mi lado durante todo el proceso. Su paciencia, cariño y tiempo dedicado han sido fundamentales para motivarme para enfrentar este desafío. A mis compañeros que vivieron esta experiencia a mi lado y me comprendieron más que nadie. Su compañía durante todas las etapas del desarrollo de este trabajo hizo que el proceso fuera mucho más llevadero. Les agradezco por estar siempre presentes, escuchando mis inquietudes y celebrando cada logro.

Además, quisiera agradecer a la Universidad del Valle de Guatemala, a todos mis catedráticos y a mi asesora por brindarme todos los conocimientos necesarios para completar esta etapa tan importante de mi vida universitaria. Espero que este estudio contribuya al campo de tecnología de alimentos y logre hacer conciencia en la importancia de los recursos naturales con alto potencial alimenticio que año por año se desechan en Guatemala. Con esto, comienzo a cerrar una de las etapas más importantes de mi vida, la cual me brindó muchos aprendizajes y retos que me llenan de orgullo.

## TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos .....	I
Índice de cuadros .....	IV
Índice de figuras .....	VI
Resumen .....	VIII
II. Antecedentes.....	4
2.1 Condiciones de cultivo en Guatemala .....	4
2.2 Procesamiento industrial del aguacate.....	4
2.3 Economía circular.....	6
2.4 Estado actual de la investigación y brechas en el conocimiento .....	7
III. Marco teórico.....	9
3.1 La semilla de aguacate.....	9
3.2 Maduración y almacenamiento.....	9
3.3 Aprovechamiento de las fracciones de la semilla de aguacate .....	10
3.4 Composición nutricional de la semilla .....	11
3.5 El cianuro como compuesto tóxico en la semilla .....	12
3.6 Efectos para la salud del contenido de cianuro en la semilla .....	13
3.7 Cuantificación de cianuro por medio de titulación alcalina .....	13
3.8 Métodos de reducción de cianuro.....	14
3.9 Funcionalidad de las harinas en la industria de alimentos.....	15
IV. Justificación .....	17
V. Objetivos.....	18
VI. Metodología.....	19
6.1 Preparación de la muestra.....	19
6.2 Reducción del contenido de cianuro en la semilla de aguacate.....	19
6.3 Metodologías de reducción de cianuro .....	20
6.4 Preparación de la harina .....	20

6.5	Determinación del contenido de cianuro .....	20
6.5.1	Preparación de las soluciones .....	20
6.5.2	Titulación .....	21
6.6	Análisis proximal.....	22
6.6.1	Contenido de humedad .....	22
6.6.2	Contenido de grasa .....	22
6.6.3	Contenido de proteínas .....	22
6.6.4	Contenido de cenizas .....	22
6.6.5	Contenido de carbohidratos .....	22
6.6.6	Contenido de fibra dietética.....	23
6.7	Análisis funcional.....	23
6.7.1	Tamaño de partícula .....	23
6.7.2	Absorción de agua .....	23
4.7.3	Absorción de aceite .....	24
4.7.4	Retención de solventes .....	25
6.7.5	Solubilidad.....	26
6.7.6	Color .....	27
6.7.7	Densidad a granel .....	27
6.8	Prueba de aplicación en desarrollo de productos.....	28
6.8.1	Panificación .....	28
6.8.2	Galletas .....	29
6.8.3	Prueba de extrusión .....	31
6.8.4	Prueba de empanizado.....	32
VII.	Resultados.....	34
VIII.	Discusión .....	44
IX.	Conclusiones.....	50
X.	Recomendaciones .....	51
XI.	Bibliografía.....	53
XII.	Anexos .....	58
12.1	Datos originales .....	58
12.2	Datos calculados .....	69
12.3	Ecuaciones .....	78
12.4	Cálculos .....	84
12.5	Imágenes.....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Composición nutricional de la semilla de aguacate.....	11
Cuadro 2 Contenido de minerales .....	12
Cuadro 3 Formulación del pan de molde.....	29
Cuadro 4 Formulación de las galletas con alto contenido de fibra.....	30
Cuadro 5 Formulación de las galletas fortificada con fibra.....	30
Cuadro 6 Formulación de premezcla para extrusión salada .....	31
Cuadro 7 Formulación de premezcla para extrusión dulce .....	31
Cuadro 8 Formulación de empanizado.....	32
Cuadro 9 Contenido total de HCN en los cinco tratamientos realizados en la harina de semilla de harina .....	34
Cuadro 11 Análisis proximal y contenido de fibra dietética de la harina.....	36
Cuadro 12 Resultados de retención de agua, aceite y solventes en la harina de semilla de aguacate .....	36
Cuadro 13 Colorimetría de la harina de semilla de aguacate .....	37
Cuadro 14 Solubilidad y densidad de la harina de semilla de aguacate .....	37
Cuadro 15 Contenido de fibra y proteínas en las pruebas de alimentos realizadas .....	40
Cuadro 16 Fotografías y descripción física de las pruebas de alimentos realizadas .....	41
Cuadro 17 Dimensiones medidas en la prueba de panificación .....	43
Cuadro 18 Peso de la muestra y volumen de titulación de las muestras con diferentes tratamientos en triplicado.....	58
Cuadro 19 Porcentaje de humedad de la harina de semilla de aguacate .....	59
Cuadro 20 Porcentaje de cenizas de la harina de semilla de aguacate .....	59
Cuadro 21 Porcentaje de proteína de la harina de semilla de aguacate .....	60
Cuadro 22 Porcentaje de grasa en la harina de semilla de aguacate.....	60
Cuadro 23 Datos para la determinación de fibra dietética en la semilla de aguacate.....	61
Cuadro 24 Análisis de absorción de agua en triplicado.....	61
Cuadro 25 Análisis de absorción de aceite en triplicado.....	62
Cuadro 26 Análisis de retención de solventes en triplicado.....	62

Cuadro 27 Solubilidad de la harina en triplicado .....	63
Cuadro 28 Densidad a granel de la harina en triplicado.....	64
Cuadro 29 Colorimetría de la harina en triplicado .....	64
Cuadro 30 Análisis granulométrico de la harina .....	64
Cuadro 31 Formulación de panes y el contenido de fibra y proteína por 100 gramos de ingrediente .....	65
Cuadro 32 Formulación y contenido de fibra y proteína en las galletas declaradas como altas en fibra .....	66
Cuadro 33 Formulación y contenido de fibra y proteína en las galletas declaradas como fuente de fibra.....	66
Cuadro 34 Formulación del empanizado y contenido de fibra y proteína.....	67
Cuadro 35 Formulación de la premezcla para snack extruido salado .....	68
Cuadro 36 Formulación de la premezcla para snack extruido dulce .....	69
Cuadro 37 Total de HCN en las muestras con diferentes tratamientos en triplicado.....	69
Cuadro 38 Análisis proximal y fibra dietética de la harina en triplicado .....	71
Cuadro 39 Análisis funcional de la harina en triplicado .....	71
Cuadro 40 Solubilidad y densidad de la harina en triplicado.....	72
Cuadro 41 Tamaño de partícula y porcentaje que pasa por los platos para el análisis granulométrico de la harina.....	72
Cuadro 42 Formulación de panes y su contenido de fibra en porción de 100 gramos de masa .....	73
Cuadro 43 Formulación de panes y su contenido de proteína en porción de 100 gramos de masa .	73
Cuadro 44 Formulación de galletas altas en fibra y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos de masa .....	74
Cuadro 45 Formulación de galletas como fuente de fibra y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos de masa.....	75
Cuadro 46 Formulación de empanizado su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos .....	76
Cuadro 47 Formulación de premezcla salada para snack extruido y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos.....	76
Cuadro 48 Formulación de premezcla dulce para snack extruido y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Histórico de volumen de las exportaciones de aguacate, del año 2008 al 2022, datos en toneladas métricas.....	6
Figura 2 Estructura general de los glucósidos cianogénicos .....	13
Figura 3 Análisis granulométrico de la harina.....	38
Figura 4 Distribución de tamaño de partícula de la harina.....	39
Figura 5 Descarte de semillas dañadas y en mal estado.....	90
Figura 6 Extracción de gasa con prensa hidráulica .....	90
Figura 7 Remojo en agua de las fracciones de semilla de aguacate.....	90
Figura 8 Ebullición de las fracciones de semilla de aguacate .....	91
Figura 9 Horneado de las fracciones de semilla de aguacate .....	91
Figura 10 Distribución de muestras en base al método de reducción de cianuro.....	91
Figura 11 Proceso de molienda de la harina de semilla de aguacate.....	92
Figura 12 Destilación de la muestra de harina de semilla de aguacate para la posterior cuantificación de HCN .....	92
Figura 13 Obtención de destilado para la cuantificación de HCN en la muestra de harina de semilla de aguacate .....	92
Figura 14 Titulación alcalina para la determinación del contenido de HCN en la harina de semilla de aguacate .....	93
Figura 15 Formación de precipitado indicador del punto final de la titulación alcalina .....	93
Figura 16 Determinación de cenizas en la harina de semilla de aguacate.....	93
Figura 17 Determinación de grasa en la harina de semilla de aguacate por medio del método Soxhlet.....	94
Figura 18 Determinación del contenido de proteína mediante titulación por el método de Kjeldahl .....	94
Figura 19 Determinación del contenido de fibra dietética de la harina de semilla de aguacate.....	94
Figura 20 Determinación del porcentaje de absorción de agua de la harina de semilla de aguacate.....	95
Figura 21 Secado hasta peso constante para la determinación del % de solubilidad de la harina de semilla de aguacate.....	95
Figura 22 Análisis granulométrico de la harina de semilla de aguacate .....	95
Figura 23 Alveolado de los productos formulados para la prueba de panificación .....	96

Figura 24 Prueba de aplicación en galletas con variación de 3, 5, 7 y 60% de harina de semilla de aguacate .....	96
Figura 25 Prueba de aplicación en empanizado .....	96
Figura 26 Prueba de extrusión para elaboración del snack salado .....	97
Figura 27 Fritura del snack extruido dulce.....	97

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el contenido de nutrientes y cianuro en la harina de semilla de aguacate *Persea americana* Mill posterior a la extracción de aceite por medio del uso de una prensa hidráulica. Se emplearon tres métodos de reducción de cianuro los cuales consisten en el remojo de la semilla, ebullición y secado. Se evaluó el contenido total de HCN por medio del método de titulación alcalina AOAC 1990 para analizar la eficiencia de las metodologías de reducción empleadas. Se encontró que la combinación de los tres métodos presentó la concentración más baja de HCN ( $0.293 \pm 0.017$  ppm), encontrándose por debajo de los límites recomendados de ingesta diaria por la FAO & OMS para harina de yuca que se utilizó como referencia. Se preparó una harina mediante el secado y molienda de porciones de semilla de aguacate y se determinó el porcentaje de fibra dietética ( $56.2 \pm 0.01\%$ ). Se realizó un análisis proximal resultando en valores de humedad ( $6.52 \pm 0.04\%$ ), proteína ( $4.53 \pm 0.04\%$ ), grasa ( $3.20 \pm 0.06\%$ ) y cenizas ( $0.58 \pm 0.01\%$ ) mediante las metodologías AOAC. Los carbohidratos ( $29.0 \pm 0.08\%$ ) se determinaron por diferencia.

También se analizaron las características funcionales de las muestras de harina incluyendo tamaño de partícula, absorción de agua y aceite, retención de solventes, solubilidad, color y densidad a granel. Estos resultados fueron esenciales para determinar el uso ideal de la harina, en donde se tomó la decisión de combinarla con otras harinas debido a su baja capacidad de absorción de agua ( $6.360 \pm 0.006\%$ ) y solubilidad ( $19.52 \pm 0.013\%$ ). Con base en esto, se hicieron pruebas de desarrollo de productos con el fin de aprovechar la semilla como materia prima en lugar de su descarte, siendo su principal beneficio su alto contenido de fibra. Se realizó una prueba de panificación, galletería, premezcla para empanizado y una formulación de snacks extruidos dulces y salados, en donde se evaluaron sus características físicas en relación con el porcentaje de harina de semilla de aguacate empleada.

Según los hallazgos de esta investigación, se recomienda realizar un estudio complementario cuyo alcance incorpore la composición de antinutrientes presentes en la semilla de aguacate, así como la manera de reducirlos y su impacto en la dieta humana. Con la finalidad de incrementar los porcentajes de absorción de agua y solubilidad en la harina, se recomienda realizar un estudio que

utilice temperaturas y/o tiempos más bajos durante la reducción del contenido de HCN total, sin impactar de manera negativa en la presencia de cianuro. Con base en la aplicación que se le desee dar a la harina de semilla de aguacate, se recomienda modificar las condiciones de procesamiento y seleccionar un molino que permita obtener el tamaño de partícula deseada. Finalmente, se considera importante realizar un análisis sensorial de la harina de manera que puedan evaluarse sus características organolépticas y su aceptación general ante el público

## I. Introducción

El aguacate es una fruta con alta demanda a nivel mundial debido a sus propiedades sensoriales y nutricionales. La especie *Persea americana* Mill es originaria de México y Centroamérica que pertenece a la familia *Lauraceae*, comprendiendo aproximadamente de 2,200 especies. La pulpa de color verde es la fracción más valorada de este fruto. Sin embargo, la semilla posee diversas características que pueden ser de interés para la industria alimentaria por sus propiedades funcionales y alto valor nutricional. La semilla de aguacate, que a menudo se descarta como desecho, ha demostrado tener diferentes utilidades en el pasado. Desde tiempos antiguos, las civilizaciones mesoamericanas han empleado este subproducto en diversas aplicaciones cosméticas y medicinales.

A pesar de ser pequeña en tamaño, la semilla posee una importancia nutricional que no debe ser pasada por alto. Diversos estudios han demostrado que este subproducto es fuente significativa de fibra dietética, la cual es esencial para promover la salud digestiva. El almidón también forma parte del contenido de carbohidratos, por lo que la semilla se ha tomado en consideración como ingrediente en el desarrollo de productos alimenticios como agente espesante, emulsionante y gelificante (Bangar, et al., 2022). Así mismo, la semilla cuenta con un contenido proteico en donde destacan algunos aminoácidos esenciales. Estudios han determinado la presencia de leucina, valina, lisina, triptófano, entre otros (Bamidele, et al., 2021).

Existen diversos estudios acerca de las posibles aplicaciones de la semilla de aguacate en la industria. Sin embargo, se han investigado los componentes de la semilla, en donde el cianuro destaca por su alta toxicidad (Ulvianti & Zidorn, 2021). Por lo tanto, la limitación principal para el desarrollo de productos alimenticios a partir de este subproducto es su contenido de compuestos tóxicos y antinutrientes que se encuentran de forma natural en la semilla de aguacate. Debido a esto, se determinó la concentración de cianuro, el cual es el componente tóxico principal en la semilla y, por lo tanto, puede causar serios problemas para la salud del consumidor cuando no se realizan tratamientos previos a su procesamiento. La determinación de la composición de los antinutrientes principales en donde se incluye el oxalato, los taninos y las saponinas está fuera del

alcance de este estudio. Sin embargo, debe realizarse una investigación que abarque dichos antinutrientes y su posible reducción en la semilla de aguacate.

Por lo tanto, el presente estudio tuvo como evaluar la efectividad de diferentes métodos de reducción de cianuro, en donde se secaron las semillas a 200 Fahrenheit durante 1 hora y media, se dejaron en remojo con agua durante 24 horas y se pusieron a ebullición a una temperatura de 100 grados Celsius durante 20 minutos. Posteriormente, se llevó a cabo la cuantificación de cianuro en forma de HCN total por medio de titulación alcalina, comparando las muestras con un blanco para determinar la eficiencia de las metodologías de reducción empleadas. De igual manera, se realizó un análisis proximal y de fibra dietética en triplicado.

Las semillas se trituraron en un molino a 7 rpm durante 30 segundos, utilizando dos rondas para una mayor reducción del tamaño de partícula. La harina obtenida se sometió a ensayos funcionales que incluyeron absorción de agua y aceite, retención de solventes incluyendo soluciones al 5% de carbonato de sodio, sacarosa y ácido láctico. Además, se evaluó su solubilidad, densidad, color y se llevó a cabo un análisis granulométrico. En base a los hallazgos, se determinaron las posibles aplicaciones de la harina preparada, la cual se destacó por su alto contenido de fibra y bajos niveles de absorción de agua y solubilidad. Se optó por realizar distintas formulaciones de panificación, galletas, empanizados y premezclas para snacks extruidos, en donde se varió el porcentaje de harina de semilla de aguacate con el fin de evaluar su influencia en los productos elaborados.

Este trabajo está compuesto de diferentes secciones basados en lo realizado en la fase experimental. El apartado de antecedentes presenta los hallazgos de investigaciones realizadas con anterioridad que se relacionan con el tema del trabajo. Así mismo se presenta con una sección de justificación con el fin de explicar la importancia de esta investigación. La parte de marco teórico se incluye con el propósito de exponer el fundamento de la metodología, la cual explica con detalle los pasos seguidos durante el diseño experimental. Este abarca el proceso desde la recepción de la materia prima hasta las pruebas de la harina desarrollada en productos alimenticios. De igual manera, el trabajo cuenta con un apartado de resultados, donde se muestran los hallazgos encontrados en la investigación. Se incluye una sección de discusión, en donde se

analizan los resultados obtenidos. Se finaliza con las conclusiones, recomendaciones y anexos que detallan el proceso de desarrollo del trabajo.

## **II. Antecedentes**

### **2.1 Condiciones de cultivo en Guatemala**

En Guatemala, el aguacate se considera una parte importante en la dieta de la población, siendo considerado un alimento nutritivo debido a que es fuente de vitaminas, minerales, proteínas y grasas. Además, destaca por su alta disponibilidad a nivel nacional. Su peso oscila entre los 200 y 300 gramos, en donde la fracción comestible representa 71 gramos por cada 100 gramos. Es importante conocer las condiciones óptimas del cultivo para la obtención de aguacates que satisfagan los estándares de calidad esperados por los guatemaltecos (MAGA, 2022).

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, las plantaciones de aguacate pueden adaptarse a diferentes variedades de suelo. Sin embargo, los suelos con pH neutro/levemente ácido entre 5.5 a 6.5 son ideales. En general se evitan las regiones frías y excesivamente húmedas, pues el fruto puede ser sensible a estos factores. La temperatura ideal se encuentra entre los 17 a 30 grados Celsius, en donde la temperatura óptima es de 20 grados Celsius. Es recomendado que la altitud se encuentre entre los 800 y 2500 msnm (Agexport, 2003). Por tanto, las áreas de cultivo más pronunciadas en Guatemala son los departamentos siguientes: Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Escuintla, Guatemala, Huehuetenango, Jalapa, Petén, Quetzaltenango, Retalhuleu, Sacatepéquez y San Marcos (Agexport, 2023).

### **2.2 Procesamiento industrial del aguacate**

Durante el procesamiento del aguacate existe la generación de un gran número de residuos agroindustriales, los cuales se constituyen por cáscaras, semillas, hojas, membranas, entre otras fracciones del fruto, los cuales representan alrededor del 50% de la fruta fresca (Grajales, et al., 2017). Una muy pequeña parte de estos componentes son utilizados como alimentación para animales, abonos agrícolas o residuos orgánicos. Así mismo, existen estudios que evalúan el uso de estos residuos en la elaboración de bioplásticos, biocombustibles, entre otros productos. Sin embargo, la realidad es que la gran mayoría de estos son desechados, contribuyendo a la contaminación y el impacto ambiental (Jurado-Eraza, et al., 2023).

Según Alamilla-Beltrán, et al., (2022) el descarte de las semillas representa el 16% del peso seco del aguacate, mostrando un desafío en cuanto al descarte adecuado para evitar las plagas de insectos y roedores además de costos adicionales en cuanto al transporte a las zonas de eliminación. Así mismo, el compostaje de semillas requiere de un tiempo considerable para deshacerse dependiendo de los factores ambientales del lugar de desecho. La semilla de aguacate, al ser dura y poseer mucha fibra, requiere de un período más prolongado para deshacerse en comparación con otros materiales orgánicos más blandos (Silva, et al., 2023).

En Guatemala, el volumen máximo de exportación de aguacate se logró en el año 2022 con un valor de 10,846.45 TM (Agexport, 2023). Según Alvarado, et al., (2023) se estima que el 20% del cultivo de aguacate es destinado a exportación, principalmente hacia países europeos y centroamericanos. Por lo tanto, aproximadamente el 80% de la producción se comercializa de manera local. Tomando el dato de exportación de Agexport en el año 2022, puede realizarse una estimación aproximada de 43,385 TM de aguacates destinados al consumo nacional. Alvarado, et al., 2023 también menciona que 2/3 de la demanda consiste en el fruto fresco, mientras que un 1/3 se destina a procesamiento. Por lo que aproximadamente 14,462 TM de aguacate comercializado a nivel nacional se procesa. Al tomar el dato de referencia de Alamilla-Beltrán, et al., 2022, el 16% del aguacate que se procesa, es un total de 2,313 TM de semillas que suelen desecharse a nivel industrial.

**Figura 1** Histórico de volumen de las exportaciones de aguacate, del año 2008 al 2022, datos en toneladas métricas



*Fuente: Elaboración propia a partir de Agexport, 2023.*

### **2.3 Economía circular**

La Asamblea General de las Naciones Unidas estableció en el año 2015, como parte de la agenda para el 2030, 17 objetivos de desarrollo sostenible, los cuales abordan una variedad de desafíos mundiales. Dentro de ellos se encuentra el objetivo No. 12, el cual se centra en la Producción y Consumo Responsables y es de gran importancia para promover la economía circular con la finalidad de reducir el desperdicio y maximizar el uso de todos los recursos naturales. Adoptar este objetivo en la industria alimentaria es fundamental para asumir los desafíos ambientales, económicos y sociales que se asocian a la producción de alimentos de manera global (Naciones Unidas, 2023).

El aprovechamiento de la semilla de aguacate representa un ejemplo de esto. En lugar de desechar este recurso, la economía circular promueve su valorización en múltiples sectores. Desde la extracción del aceite y producción de alimentos a base de la semilla hasta la fabricación de productos farmacéuticos, cosméticos y bioplásticos, su reutilización no solo reduce la cantidad de residuos generados, sino que también ofrece nuevas oportunidades económicas y representa una contribución al cuidado del medio ambiente. El aprovechamiento de la semilla de aguacate promueve la innovación

y la eficiencia de su cadena de suministro e impulsa el uso de prácticas de fabricación y comercialización más responsables.

#### **2.4 Estado actual de la investigación y brechas en el conocimiento**

En los últimos años, se ha investigado acerca de la posible aplicación de la semilla en la industria alimentaria, destacando en temas de desarrollo de productos tales como harinas no convencionales, aceites, colorantes naturales y alternativa como fuente de almidón y grasa en productos alimentarios. Sin embargo, diversos estudios han demostrado la presencia de compuestos tóxicos para la salud. Nwaokobia, et al., (2019) llevó a cabo el análisis cuantitativo de glucósidos cianogénicos en la semilla de aguacate *Persea americana Mill*, encontrando un contenido de 0.01 mg/100 g de muestra. Por otro lado, Bamidele, et al., (2021). Determinó el contenido de estos compuestos posterior al secado y pulverizado de la semilla, encontrando un aproximado de 10.13 mg/100 g de glucósidos cianogénicos.

En la actualidad, se han llevado a cabo estudios para la reducción de cianuro y antinutrientes presentes en la semilla, en donde los métodos de remojo y ebullición han destacado. Talabi, et al., (2016) y Runyogote, et al., (2021) son autores que han explorado y cuantificado la reducción de dichos compuestos. Quinn, et al., (2022), estudió la eficiencia del método de ebullición de semillas de mandioca, en donde se determinó una reducción de 12.9 ppm a 1.3 ppm del contenido cianogénico. Así mismo, los autores establecen que dicho método es más efectivo que el método de horneado de la semilla. Sin embargo, no se ha encontrado información acerca del efecto de la combinación de ambas técnicas mencionadas y si esto podría generar un mayor porcentaje de reducción de estos compuestos que pueden representar daños a la salud del consumidor.

Padilla, E. et al., (2013) determinó las consecuencias del consumo de la semilla de aguacate Hass en 45 ratones. Se encontró que el extracto etanólico de la semilla presentó efectos negativos a partir de una concentración de 500 mg/kg. Por otro lado, se determinó que el extracto acuoso no mostró efectos adversos en los ratones, argumentando que el método de extracción con etanol tiene el potencial de acarrear ciertos componentes químicos dañinos para los seres vivos. Por lo tanto, los autores

concluyen que la falta de actividad genotóxica en el extracto acuoso de la semilla permite considerar la semilla de aguacate como material para el desarrollo de productos alimenticios. Sin embargo, hacen falta estudios más detallados para concluir acerca de si deben establecerse dosis máximas permitidas para el consumo humano.

### **III. Marco teórico**

#### **3.1 La semilla de aguacate**

La semilla de aguacate consiste en la estructura interna y redonda u ovalada que sostiene la planta de aguacate durante su desarrollo. La capa exterior de la semilla suele ser dura y rugosa de color marrón. Es de gran importancia, pues protege el núcleo interno de la semilla. La capa intermedia es denominada mesocarpio, la cual es más delgada que la estructura exterior. El núcleo central o endocarpio, es la parte más grande de la semilla y se encuentra principalmente conformado por tejidos ricos en almidón. Finalmente, el embrión es el que se encuentra dentro del endocarpio o núcleo de la semilla. Es de gran importancia, pues contiene el material genético de la planta. De igual manera, posee nutrientes de reserva orgánicos e inorgánicos, así como el 50% del aceite total de la semilla (García, et al., 1999).

#### **3.2 Maduración y almacenamiento**

Los aguacates son frutos climatéricos y pertenecen a un grupo muy pequeño de frutas que no maduran estando en el árbol, pues sus hojas son productoras de un inhibidor de la maduración que pasa a través del pedúnculo de la fruta. Sin embargo, posterior a su cosecha, el aguacate es conocido por incrementar su tasa de respiración debido al aumento de producción de etileno. El tiempo requerido para madurar se encuentra relacionado con factores tales como el método de cultivo, tiempo y condiciones de almacenamiento y exposición al etileno. Durante la maduración, la estructura de la pulpa se degrada a medida que la pectina contenida en las paredes de las células se solubiliza, causando que la pulpa se ablande y adquiera una textura suave. Usualmente, el almacenamiento en frío a temperaturas entre 4 y 8 grados Celsius, reduce la velocidad de maduración del aguacate, logrando conservar el fruto durante períodos de tiempo más prolongados (Rodríguez-López, et al., 2017)

Los frutos que no se encuentren en su estado de maduración óptima, deben dejarse a temperatura ambiente como se mencionaba con anterioridad. Es recomendable someter los aguacates con madurez fisiológica óptima a temperaturas de almacenamiento óptimas para ampliar su vida útil. De esta manera,

el proceso de maduración se ve retrasado debido a una reducción en la respiración metabólica del producto y a una menor pérdida de agua. Debe controlarse la temperatura de manera que no ocurra un daño por frío debido a la utilización de temperaturas inferiores a las que tolera el producto. El aguacate es sensible al frío, por lo que el uso de temperaturas inadecuadas afecta su apariencia y proceso de maduración. Las características de color, textura y sabor se ven alteradas y puede apreciarse una coloración grisácea en la pulpa (Cerdas, et al., 2006).

### **3.3 Aprovechamiento de las fracciones de la semilla de aguacate**

El desperdicio de la semilla puede significar una fuente de contaminación hacia el medio ambiente debido a la emisión de compuestos dañinos tales como el metano, lixiviados y emisión de gases hacia la atmósfera durante los procesos de incineración (Asim, et al, 2015). Es por esto que se han dirigido diversas investigaciones en cuanto al aprovechamiento de dichos residuos en la industria. Uno de los subproductos más valorados es el aceite de aguacate, pues existe una demanda creciente por los beneficios que ofrece. Dentro de estos destaca su contenido de ácidos grasos, vitaminas, antioxidantes, entre otros. Este aceite posee un punto de humo elevado, por lo que se utiliza ampliamente en aplicaciones culinarias debido a su resistencia a temperaturas altas. También es de gran importancia en la industria cosmética debido a su contenido considerable de ácido oleico, el cual posee propiedades hidratantes para el cuidado de la piel (Fonseca, et al., 2016). De igual manera, se utiliza como suplemento dietético por su alto contenido de antioxidantes y nutrientes (Flores, et al., 2019).

Posterior a la extracción del aceite, la fracción sólida de la semilla suele emplearse como compostaje y fertilizante orgánico. Sin embargo, recientes estudios han dedicado su investigación al desarrollo de nuevos productos alimenticios. Nyakang'i, et al., (2023) explora el uso de la semilla triturada en el procesamiento de bebidas y productos horneados. Por otro lado, Bangar, et al., (2022) realizó una recopilación de los estudios más destacados en la aplicación de las semillas de aguacate, en donde se menciona el lugar de investigación, método de extracción, compuesto de interés de la semilla y resultados. Se menciona el desarrollo de sopas instantáneas, téis, harinas y bebidas. Así mismo, se ha utilizado como fuente de fibra

en panificación, como preservante en puré de zanahoria, como compuesto antioxidante en carne cruda de cerdo y aceite de girasol, entre otras aplicaciones. Sin embargo, según Talabi, et al., (2016) la semilla posee diversos componentes tóxicos como lo es el cianuro. Así mismo, cuenta con un contenido significativo de antinutrientes tales como el oxalato, los taninos, las saponinas y el ácido oxálico. Por lo tanto, es necesario conducir los análisis necesarios para evaluar los métodos de reducción de dichos compuestos y determinar los límites en los cuales la presencia de estos no representa un peligro para la salud del consumidor.

### 3.4 Composición nutricional de la semilla

En el año 2018, Eijofor, et al., determinó la composición nutricional de la semilla de aguacate *Persea Americana Mill* en Engu, Nigeria mediante un análisis proximal. Se encontró un contenido de carbohidratos (49.03%), lípidos (17.90%), proteína (15.55%), humedad (15.10%) y cenizas (2.26%). De igual manera, Ifesan, et al., en 2015, llevó a cabo el análisis de las semillas en Nigeria con una preparación previa de secado por horno a temperaturas entre 45-50 grados Celsius. Mediante un análisis proximal se determinó el contenido de carbohidratos (44.70%), proteína (23.0%), grasa (14.1%), humedad (8.6%), fibra (7.1%) y cenizas (2.4%). Para minerales, destaca el potasio (4.16%), sodio (1.41%), sodio (0.82%) y zinc (0.18%).

**Cuadro 1** Composición nutricional de la semilla de aguacate

<b>Parámetro (g/100 g)</b>	<b>Eijofor, et al (2018)</b>	<b>Ifesan, et al (2015)</b>
Carbohidratos	49.0 ± 0.02	44.7 ± 4.80
Proteínas	15.6 ± 0.36	23.0 ± 2.80
Humedad	15.1 ± 0.14	8.60 ± 0.14
Lípidos	17.9 ± 0.40	14.1 ± 0.18
Cenizas	2.26 ± 0.23	2.40 ± 0.70

*Fuente: Elaboración propia a partir de Eijofor, et al., (2018) y Ifesan, et al., (2015).*

**Cuadro 2** Contenido de minerales

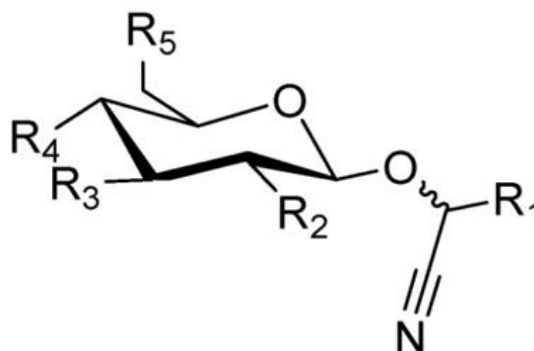
<b>Minerales (mg/100 g)</b>	
Potasio	4.16 ± 0.13
Sodio	1.41 ± 0.11
Calcio	0.82 ± 0.01
Zinc	0.18 ± 0.02
Magnesio	0.10 ± 0.01
Fósforo	0.10 ± 0.01

*Fuente: Elaboración propia a partir de Ifesan, et al., (2015).*

### **3.5 El cianuro como compuesto tóxico en la semilla**

El cianuro es un compuesto químico que puede encontrarse en una gran variedad de plantas. En 1782 se realizó la primera extracción de este compuesto, el cual posee una estructura de un átomo de carbono que enlaza un átomo de nitrógeno con un triple enlace. El cianuro puede ser producido por una amplia gama de bacterias, hongos y algas. También se encuentra en diferentes tipos de plantas y semillas. En las semillas, el cianuro se encuentra en forma de glucósidos cianogénicos, los cuales son el producto del metabolismo secundario de la síntesis de las plantas. Están compuestos por una aglicona del tipo alfa-hidroxinitrilo y de una molécula de azúcar que generalmente se encuentra en forma de D-glucosa. Los glucósidos cianogénicos derivados de la fenilalina que pueden encontrarse en la semilla de aguacate son la amigdalina y la prunasina. Su presencia en las plantas es de gran importancia, pues la liberación de cianuro de hidrógeno sirve como una defensa química contra herbívoros y patógenos.

**Figura 2** Estructura general de los glucósidos cianogénicos



*Fuente: Yulvianti & Zidorn (2021).*

### **3.6 Efectos para la salud del contenido de cianuro en la semilla**

La limitación principal para el uso de la semilla de aguacate en alimentos es su contenido de compuestos tóxicos, los cuales se presentan en forma de glucósidos cianogénicos como se mencionó con anterioridad. Algunas plantas y semillas requieren de métodos especiales de preparación antes de poder ser consumidos por el ser humano. La toxicidad potencial de estos compuestos reside en su capacidad para producir altas concentraciones de cianuro de hidrógeno por medio de procesos de hidrólisis. Esto sucede tras la alteración de las células vegetales durante la trituración del material durante el procesamiento o consumo de la semilla. Generalmente, pequeñas cantidades de cianuro son expulsados del cuerpo humano por medio de la acción de enzimas y tiosulfatos presentes en diversos tejidos para la formación de tiocianato, el cual es eliminado a través de la orina. Sin embargo, altas cantidades de cianuro traen consecuencias como intoxicaciones agudas, toxicidad crónica, trastornos neurológicos y retraso del crecimiento (Nyirenda, 2020).

### **3.7 Cuantificación de cianuro por medio de titulación alcalina**

Iliya, et al., (2019), empleó el método AOAC de 1990 para la titulación alcalina y cuantificación del contenido de cianuro en muestras de tubérculos de yuca y semillas de manzana. El método utilizado es capaz de determinar el cianuro cuando el ion  $CN$ , en presencia de iones de plata, se consume como cianuro de plata. Los iones

de plata en exceso durante la titulación indican el punto final al reaccionar con el indicador de rodanina, presentando un color entre marrón y rosa.

Se tomaron 5 gramos de cada muestra previamente horneada a 100 grados Celcius y se remojaron en una mezcla de 50 mL de agua destilada y ácido fosfórico durante toda la noche para la liberación del hidrógeno de cianuro de la muestra. Posteriormente, se transfirió la muestra a un matraz de destilación en conjunto de una gota de parafina como agente antiespumante. Se destiló la muestra y se obtuvo una cantidad de 50 mL del destilado, la cual se recibió en un matraz con 4 mL de agua destilada y 0.1 g de hidróxido de sodio. La muestra se transfirió a un balón volumétrico de 50 mL y se aforó con agua destilada. Se añadió 1.6 mL de la solución de Yoduro de Potasio al 5%. Finalmente, se llevó a cabo la valoración utilizando 4 gotas del indicador de rodanina y la solución de nitrato de plata 0.02 M. Como resultado, se reportó un contenido de cianuro de 2.54 ppm en la muestra de yuca secada con aire, 2.61 ppm en la muestra de yuca secada con horno. Los autores establecen que ambos resultados se encuentran debajo de los límites para dosis letal en humanos establecidos por Food Safety Focus en el 2008, el cual es de 0.5-3.5 mg/kg de peso corporal (Iliya, et al., 2019).

En un estudio más antiguo realizado en el 2008, Nwaogu, et al., llevó a cabo la misma metodología de titulación alcalina AOAC en la semilla de aguacate. Las semillas fueron adquiridas del mercado de Ihiagwa en el Estado de Imo, Nigeria. El pretratamiento consistió en el cortado manual de la semilla en trozos y posterior secado al sol hasta peso constante. Posteriormente, se utilizó una licuadora para la formación del polvo. De esta manera, determinó una composición de 24.01 mg de glucósidos cianogénicos/100 g de peso seco. El autor establece que a pesar de que el contenido es alto, no representará ser un problema para la salud del consumidor siempre y cuando se empleen métodos de pretratamiento incluyendo el proceso de secado.

### **3.8 Métodos de reducción de cianuro**

Nyirenda, K. K. (2020), establece que el proceso de secado es una de las técnicas más apropiadas para la reducción de glucósidos cianogénicos. El autor menciona que estudios anteriores en bambú han demostrado una reducción del 80% de estos compuestos mediante liofilización al vacío durante 24 horas a una

temperatura de – 50 grados Celsius. Así mismo, el horneado del producto a 60 grados Celsius por 8 horas mostró como resultado una reducción de hasta el 95%. Por otro lado, el proceso de ebullición muestra diferentes resultados dependiendo de la temperatura y tiempo de procesamiento. Las altas temperaturas promueven la rotura de las paredes celulares, reduciendo el contenido de glucósidos cianogénicos y antinutrientes. Estudios realizados en bambú, han demostrado una reducción del 67.84 - 76.93% después de la ebullición por 10 minutos. Así mismo, reporta que luego de los 20 minutos, se ve una reducción de hasta el 87%.

En otro estudio realizado en el 2023, Nchangwe, et al., evaluó el contenido de glucósidos cianogénicos posterior al secado de las semillas de aguacate al sol durante 24 horas, así como el efecto de la ebullición de las muestras a diferentes temperaturas y tiempos. Sus hallazgos más destacados se observan en el contenido de cianuro de la semilla posterior al secado, consistiendo en una concentración de 0.53 mg/100 g de muestra. Este se vio reducido por el tratamiento de ebullición a 95 grados Celsius durante 20 minutos, dando como resultado 0.1 mg/100 g de muestra. Sus resultados evidencian que la ebullición de las semillas a altas temperaturas es esencial para la reducción de estos compuestos tóxicos y que el control de los parámetros de tiempo y temperatura son necesarios para la disminución de las concentraciones de cianuro.

### **3.9 Funcionalidad de las harinas en la industria de alimentos**

Las harinas no convencionales son un producto que desempeña un papel de gran importancia en la industria alimentaria debido a su versatilidad y amplia gama de aplicación. Su uso destaca principalmente en la panificación, pues permite la obtención de productos libres de gluten; con sabores y aromas diversos. En galletería, las harinas no convencionales también agregan un perfil de sabor diferente y texturas más densas que la harina de trigo. Así mismo, existe la opción de extrusión de las harinas para la obtención de snacks y cereales de desayuno extruidos. El aporte nutricional y la ausencia de gluten son lo que destacan a varias de estas harinas innovadoras, como lo sería la de semilla de aguacate, por lo que su aplicación se ha investigado con más frecuencia en la actualidad.

Dentro de los parámetros más importantes a medir para la obtención de una harina de cualquier tipo, destaca el tamaño de partícula debido a que de este dependen diversos factores como la textura del producto final, la capacidad de absorción de líquidos, la distribución de nutrientes y la textura en las aplicaciones líquidas. De igual manera, la absorción y retención de agua es un parámetro importante a tomar en cuenta, pues permite controlar la humedad del producto. Así mismo, se encuentra relacionado con la textura, frescura y vida útil del alimento. La solubilidad también debe medirse ya que por medio de esta es posible conocer la capacidad de la harina para formar mezclas homogéneas, interactuar con otros componentes y dispersarse en líquidos.

Así mismo, es importante conocer la densidad de la harina para establecer un sistema ideal de manejo, transporte, almacenamiento y manipulación. También debe mencionarse que es de vital importancia determinar la calidad de la harina con base en su uniformidad y optimizar las operaciones de dosificación en la industria. En cuanto a la capacidad de retención de aceite y solventes, se debe medir puesto a que influye en la textura final del producto, absorción de líquidos, formación de emulsiones y retención de aromas y sabores en el producto final. Finalmente, se debe tomar en cuenta el color de la harina, el cual es una característica sensorial que influye en la palatabilidad y aceptación del alimento, pues el color puede aportar información acerca de la calidad, frescura y uniformidad. Por lo contrario, también puede indicar la presencia de compuestos indeseables que pueden afectar la estabilidad y calidad de la harina (Godswill, et al., 2019).

#### **IV. Justificación**

A pesar de su alta disponibilidad y valioso contenido nutricional, la semilla de aguacate es un producto que generalmente se desecha, contribuyendo a la contaminación del medio ambiente. Guatemala es un productor valioso de aguacate a nivel mundial, por lo que el manejo adecuado de los subproductos promueve en gran medida la reducción de residuos sólidos y a un mayor aprovechamiento de los recursos naturales que ofrece el país. Es de gran importancia destacar que desde el año 2018, Guatemala no ha logrado introducirse en el mercado de los Estados Unidos mediante la exportación del producto fresco debido a cuestiones fitosanitarias y a que no se cumplen con los requisitos para su ingreso (MAGA, 2022). Por lo tanto, una gran parte del aguacate que podría destinarse para exportación hacia los Estados Unidos, actualmente se procesa a nivel nacional, representando un incremento en el desperdicio de la semilla del aguacate.

Por esto, el presente trabajo, tiene como objetivo abordar una gran brecha de conocimiento y realizar un análisis del contenido de cianuro encontrado en la semilla de aguacate. Así mismo, se busca determinar la eficiencia de los diferentes métodos de reducción de dichos compuestos con el fin de proporcionar una evaluación precisa de los riesgos y beneficios asociados con el consumo de semillas de aguacate. Un aprovechamiento eficiente de la fracción sólida de la semilla lograría promover la sostenibilidad y reducir el desperdicio. Así mismo, la integración de la semilla de aguacate a la cadena de valor, podría reducir el desperdicio de recursos naturales y reducir el impacto ambiental, así como crear oportunidades económicas y promover el desarrollo de las comunidades locales. En este contexto, la investigación busca integrar el objetivo de desarrollo No. 12 de Producción y Consumo Responsables para promover la economía circular en el aprovechamiento de la semilla de aguacate.

## V. Objetivos

### 5.1 General

- Caracterizar la harina obtenida de la semilla desgrasada de aguacate *Persea americana* Mill y reducir su contenido de cianuro para aplicarla de forma segura en el desarrollo de productos alimenticios.

### 5.2 Específicos

- Caracterizar el contenido proximal, fibra dietética y cianuro en la semilla desgrasada de aguacate *Persea americana* Mill.
- Evaluar la eficiencia de diferentes métodos de reducción de cianuro en la semilla de aguacate.
- Analizar las posibles aplicaciones alimenticias de las fracciones de semilla de aguacate posterior a la extracción del aceite y a los tratamientos de reducción de cianuro.

## VI. Metodología

Las semillas de aguacate utilizadas para la investigación fueron adquiridas en Industrias ODI. Estos fueron transportados utilizando una hielera hasta la planta piloto de la Universidad del Valle de Guatemala. Se comenzó con la preparación de la muestra el mismo día de adquisición de la materia prima.

### *6.1 Preparación de la muestra*

**Lavado:** Las semillas se lavaron con agua para eliminar residuos de la pulpa.

**Selección:** Todas las semillas dañadas o en mal estado se separaron para descarte.

**Primer horneado:** Se utilizó un horno por convección a 200 grados Fahrenheit durante 25 minutos.

**Desprendimiento de la cascarilla:** Se desprendió la cascarilla de todas las semillas manualmente.

**Cortado:** Se empleó una cortadora industrial con cuchilla de espesor de 1mm.

**Extracción de la grasa:** La grasa se extrajo empleando una prensa hidráulica, en donde se alcanzó una presión de hasta 10 toneladas cortas (US tons).

### *6.2 Reducción del contenido de cianuro en la semilla de aguacate*

Se siguió la metodología de Talabi, et al., (2016). Nutritional and Antinutritional Composition of Processed Avocado (*Persea Americana Mill*) Seeds.

### ***6.3 Metodologías de reducción de cianuro***

**Muestra 1 (E):** Las fracciones de semilla desgrasadas se ebulleron durante 20 minutos a 90 grados Celsius. Posteriormente, se secaron en un horno a 90 grados Celsius durante 1 hora y media hasta alcanzar una humedad del 7%.

**Muestra 2 (R):** Las fracciones de semilla desgrasadas se dejaron en remojo con agua durante 24 horas. Posteriormente, se secaron en un horno a 90 grados Celsius durante 1 hora y media hasta alcanzar una humedad del 7%.

**Muestra 3 (C):** Se combinó la metodología de las muestras 1 y 2, remojando en agua durante 24 horas y dejando en ebullición durante 20 minutos a 90 grados Celsius. Posteriormente, las fracciones de semilla desgrasadas se secaron en un horno a 90 grados Celsius durante 1 hora y media hasta alcanzar una humedad del 7%.

**Muestra 4 (S):** Las fracciones de semilla desgrasadas se secaron en un horno a 90 grados Celsius durante 1 hora y media hasta alcanzar una humedad del 7%.

**Control (H):** Las fracciones de semilla desgrasadas no recibieron ningún tratamiento.

### ***6.4 Preparación de la harina***

**Molienda:** La muestra se trituró empleando un molino, en donde las condiciones del proceso fueron las siguientes: 30 segundos de proceso 7 rpm, dos veces por muestra.

### ***6.5 Determinación del contenido de cianuro***

#### ***6.5.1 Preparación de las soluciones***

Las soluciones a emplear para la determinación del contenido de cianuro se prepararon según Food Safety and Standards Authority of India (2016) *Manual of cereals*. Se empleó una balanza analítica (Precision,  $220 \pm 0.0001$  g).

**Yoduro de potasio al 5%:** Se pesaron 10 g de yoduro de potasio y se disolvieron con agua destilada en un matraz volumétrico de 200 mL.

**Nitrato de plata (0.02 M):** Se pesaron 0.85 g de nitrato de plata y se depositaron en un balón aforado de 250 mL. Se aforó hasta la marca con agua destilada.

**Hidróxido de amonio (6 M):** Se midieron 100mL de una solución concentrada de hidróxido de amonio y se depositaron en un balón aforado de 250 mL. Se aforó hasta la marca con agua destilada.

### **6.5.2 Titulación**

Para la determinación del contenido de cianuro se siguió la metodología de Food Safety and Standards Authority of India (2016) *Manual of cereals*. Este procedimiento se llevó a cabo en triplicado por cada muestra.

**Pesaje y remojo:** Se tomaron 5 g de harina y se dejó reposar en una solución de 50 mL de ácido fosfórico y agua destilada durante 24 horas.

**Destilación y preparación del destilado:** Se destiló la muestra empleando un kit de destilación marca Corning con balón de recepción (Pyrex,  $250 \pm 0.150$  mL) y balón aforado (Pyrex,  $50.0 \pm 0.100$  mL). El destilado se recibió en un matraz con 0.1 g de perlas de hidróxido de sodio y 4 mL de agua destilada. El destilado se aforó a 50 mL con agua destilada y se añadieron 1.6 mL de yoduro de potasio.

**Titulación:** Se realizó la titulación de la solución con nitrato de plata 0.02 M utilizando una bureta (Mohr AS,  $50 \pm 0.1$  mL).

**Cálculo de concentración de HCN total:** Se cuantificó el contenido total cianuro mediante la siguiente relación:

$$total\ HCN = \frac{mL\ titulados * 13.5}{peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos}$$

(Iliya, et al., 2019)

## ***6.6 Análisis proximal***

El análisis proximal de la semilla de aguacate desgrasada en polvo se realizó en triplicado.

### ***6.6.1 Contenido de humedad***

- Método AOAC 925.03

### ***6.6.2 Contenido de grasa***

- Método AOAC 920.09

### ***6.6.3 Contenido de proteínas***

- Método AOAC 979.09

### ***6.6.4 Contenido de cenizas***

- Método AOAC 923.03

### ***6.6.5 Contenido de carbohidratos***

- Por diferencia

### ***6.6.6 Contenido de fibra dietética***

- Método AOAC 985.29

### ***6.7 Análisis funcional***

#### ***6.7.1 Tamaño de partícula***

Se trabajó con un tamiz vibratorio y se emplearon platos Cole-Parmer con 3” de diámetro con tamaño de Mesh 10, 20, 30, 40 y 60 para la refinación del tamaño de partícula. Las condiciones del proceso fueron las siguientes: frecuencia de 60 golpes por minuto y frecuencia de vibración de 3600 vpm durante 10 minutos (Cole-Parmer, s.f.).

#### ***6.7.2 Absorción de agua***

Para la capacidad de absorción de agua de la harina se siguió la metodología de Kakar, Attaullah, *et al.*, 2022. *Oil and water absorption capacity of wheat, rice and gram flour powders*. International Journal of Ecosystems and Ecology Science Vol. 12 (2) (pp. 585-594).

**Mezclado:** Se tomó 1 g de la harina y se depositó en un beaker con 10 mL de agua destilada. Se mantuvo en agitación durante 30 minutos usando un agitador magnético.

**Reposo:** Se dejó reposar por 30 minutos a temperatura ambiente.

**Centrifugación:** La muestra se depositó en un tubo de centrifuga y se centrifugó por 25 minutos a 1000 rpm empleando un equipo Garver Electrífuge modelo 208.

**Pesado:** Se eliminó el sobrenadante y se pesaron los sedimentos obtenidos.

**Cálculo:** La capacidad de absorción de agua se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_0}$$

En donde:

w1 = peso del tubo de centrífuga con la muestra

w2 = peso del tubo de centrífuga con sedimentos

w0 = peso de la muestra

(Kakar, et al., 2022)

#### **4.7.3 Absorción de aceite**

Para la capacidad de absorción de agua de la harina se siguió la metodología de Kakar, Attaullah, *et al.*, 2022. *Oil and water absorption capacity of wheat, rice and gram flour powders*. International Journal of Ecosystems and Ecology Science Vol. 12 (2) (pp. 585-594).

**Mezclado:** Se tomaron 0.5 g de la harina y se depositaron en un beaker con 5 mL de aceite de canola. Se mantuvo en agitación durante 30 minutos usando un agitador magnético.

**Reposo:** Se dejó reposar por 30 minutos a temperatura ambiente.

**Centrifugación:** La muestra se depositó en un tubo de centrífuga y se centrifugó por 25 minutos a 1000 rpm empleando un equipo Garver Electrífuga modelo 208.

**Pesado:** Se eliminó el sobrenadante y se pesaron los sedimentos obtenidos.

**Cálculo:** La capacidad de absorción de agua se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de retención de aceite (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_0}$$

En donde:

w1 = peso del tubo de centrifuga con la muestra

w2 = peso del tubo de centrifuga con sedimentos

w0 = peso de la muestra

(Kakar, et al., 2022)

#### **4.7.4 Retención de solventes**

Para el análisis de capacidad de retención de solventes se empleó el método de Kweon, Meera; L. Slade y H. Levine. 2011. *Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding—A Review*. Cereal Chemistry Vol. 88 (6), (pp. 537-552). Se hicieron las siguientes modificaciones: se utilizó una solución de sacarosa al 5%, una solución de carbonato de sodio al 5% y una solución de ácido láctico al 5%.

**Mezclado:** Se pesaron 5g de harina y se introdujeron en tubos de centrifuga. Se añadieron 25 mL de agua destilada y se agitaron los tubos por 5 segundos para incorporar la harina.

**Agitación:** Se dejaron reposar por 20 minutos, agitando cada 5, 10, 15 y 20 minutos respectivamente.

**Centrifugación:** Los tubos se centrifugaron por 15 minutos a 1000 rpm.

**Pesado:** Se decantó el sobrenadante y se drenó el tubo en un ángulo de 90 grados por 10 minutos. Finalmente, se pesó el gel resultante.

**Cálculo:** La capacidad de retención de solventes se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Retención de solventes (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_1}$$

En donde:

w1 = peso del tubo de centrifuga con la muestra

w2 = peso del tubo de centrifuga con sedimentos

(Kakar, et al., 2022)

Se llevó a cabo el mismo procedimiento para cada uno de los solventes mencionados.

### **6.7.5 Solubilidad**

La determinación de la solubilidad de la harina se realizó siguiendo el método de Hyacinthe, Anon Attho, *et al.*, 2021. *Functional properties of composite flours produced with Ivorian taro (Colocasia esculenta L. Cv Fouê) corms flour and wheat (Triticum aestivum L.) flour*. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences Vol. 15 (3), pp. (164 – 176).

**Mezclado:** Se tomó 1g de la harina y se disolvió en 10 mL de agua destilada. Se agitó la mezcla durante 30 minutos empleando un agitador magnético.

**Baño de agua:** Se calentó la muestra a una temperatura de 37 grados Celsius en un baño de agua durante 30 minutos.

**Centrifugación:** Se centrifugó la muestra en tubos de centrifuga por 15 minutos a 1000 rpm.

**Pesado y secado:** Se decantó el sobrenadante y se drenó el tubo en un ángulo de 90 grados por 10 minutos. Finalmente, se pesó el producto resultante y se secó a una temperatura de 105 grados Centígrados hasta peso constante.

**Cálculo:** La solubilidad de la harina se calculó de la siguiente manera:

$$\text{solubilidad} = \frac{m_o - m_i}{m_o}$$

En donde:

$m_o$  = peso inicial de la muestra

$m_i$  = peso final de la muestra seca

(Hyacinthe, et al., 2021)

### **6.7.6 Color**

Se utilizó un colorímetro marca MiniScan EZ modelo 4500L. Los resultados se obtuvieron en términos de  $L^*$ , el cual indica el grado de luminosidad en una escala de 0 (negro) y 100 (blanco). Así mismo, se obtuvo un valor de  $a^*$ , el cual representa la luz reflejada en coordenadas de rojo-verde. Cuando este valor es positivo, indica una mayor proporción de tonalidades rojas. Al ser negativo, las tonalidades tienden a ser más verdes. Finalmente, el valor de  $b^*$  es representante de la luz reflejada en las coordenadas de azul-amarillo, en donde un valor positivo indica una mayor proporción de tonalidades amarillas mientras que el negativo representa las tonalidades azules (Oktarini, et al., 2022).

### **6.7.7 Densidad a granel**

**Medición del peso y volumen:** Se tomó un recipiente de volumen conocido y se depositó la muestra hasta rebasar el borde del recipiente. El exceso se retiró con una varilla. Se tomó el peso de la muestra contenida en el recipiente.

**Cálculo:** La densidad a granel se calculó de la siguiente manera:

$$densidad = \frac{\text{peso de la harina}}{\text{volumen del recipiente}}$$

(Bian, et al., 2016)

## ***6.8 Prueba de aplicación en desarrollo de productos***

### ***6.8.1 Panificación***

Para la prueba de panificación, se emplearon únicamente cuatro ingredientes, siendo estos la harina de la semilla de aguacate, harina de trigo, agua y levadura. Se llevaron a cabo tres formulaciones, en donde se combina un 3, 5 y 8% de la harina de semilla de aguacate en combinación con la harina de trigo.

**Activación de la levadura:** Se tomó la levadura y se mezcló con una pequeña proporción de agua potable hasta disolver. Se dejó reposar durante 10 minutos.

**Mezclado:** Se mezclaron todos los ingredientes en cantidades dictadas por la formulación hasta que todos los ingredientes se incorporaron.

**Amasado:** Se realizó un amasado manual de aproximadamente 10 minutos hasta obtener una masa homogénea.

**Primera fermentación:** Se colocó la masa dentro de un equipo de fermentación durante 1 hora.

**Amasado:** Nuevamente se realizó un amasado manual de aproximadamente 5 minutos.

**Segunda fermentación:** Se colocó la masa dentro de un equipo de fermentación durante 1 hora.

**Horneado:** Cuando faltaban 15 minutos para que acabara la fermentación, se precalentó el horno a 350 grados Fahrenheit. Al finalizar la fermentación, se horneó la masa durante 20 a 25 minutos.

**Enfriado:** Se dejó enfriar el pan sobre una rejilla de metal.

**Alveolado y medición de características:** Con ayuda de un Vernier, se tomó las medidas de alto, ancho y largo de los tres panes formulados. Se partieron a la mitad y se les tomó una fotografía para observar la formación de alveolos.

**Cuadro 3** Formulación del pan de molde

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>F3 (%)</b>
Harina de trigo	57.0	55.0	52.0
Harina de semilla de aguacate	3.00	5.00	8.00
Agua	37.6	37.6	37.6
Levadura	2.40	2.40	2.40

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.8.2 Galletas

Para la prueba de galletería, se empleó la harina de la semilla de aguacate, harina de trigo, azúcar, mantequilla sin sal, polvo para hornear y huevo. Se realizaron cuatro formulaciones distintas, en donde se varió el contenido de harina de semilla de aguacate en un 3, 5, 7 y 60%.

**Cremado:** Se mezcló la margarina y el azúcar. Posteriormente, se agregó el huevo y se mezcló hasta incorporar y obtener una mezcla suave y pálida.

**Mezclado de ingredientes secos:** En otro recipiente, se mezclaron las harinas en base a la formulación y el polvo para hornear.

**Incorporación de ingredientes secos:** Se agregaron los ingredientes secos a la mezcla húmeda. Se incorporó hasta obtener una mezcla homogénea.

**Porcionado y formado:** Se colocaron pequeñas porciones de la masa sobre una bandeja con papel para hornear. Se procuró dejar aproximadamente 10 cm de espacio entre cada una.

**Horneado:** Se precalentó el horno a 350 grados Fahrenheit (177 °C) y se horneó entre 15 y 20 minutos.

**Enfriado:** Se enfriaron las galletas a temperatura ambiente usando una rejilla de metal.

**Cuadro 4** Formulación de las galletas con alto contenido de fibra

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Harina trigo	52.0
Azúcar	19.0
Huevo	10.0
Mantequilla	9.80
Harina de semilla de aguacate	8.00
Sal	0.80
Bicarbonato de sodio	0.40
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Cuadro 5** Formulación de las galletas fortificada con fibra

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Harina trigo	55.0
Azúcar	19.0
Huevo	10.0
Mantequilla	9.80
Harina de semilla de aguacate	3.00
Sal	0.80
Bicarbonato de sodio	0.40
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.8.3 Prueba de extrusión

**Pesado:** Se pesaron todos los ingredientes en base a lo que especifica la formulación.

**Mezclado:** Se incorporaron todos los ingredientes a excepción de las especias.

**Cuadro 6** Formulación de premezcla para extrusión salada

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Harina de maíz	25.0
Harina de arroz	24.0
Harina de semilla de aguacate	20.0
Almidón de maíz	19.0
Sal	3.00
Polvo para hornear	2.00
Tomillo	2.00
Orégano	2.00
Ajo en polvo	1.00
<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Cebolla en polvo	1.00
Sabor queso	1.00
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de Ingredion, s.f*

**Cuadro 7** Formulación de premezcla para extrusión dulce

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Harina de maíz	23.0
Harina de arroz	23.0
Harina de semilla de aguacate	20.0
Almidón de maíz	19.0
Azúcar	9.00

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Canela	3.00
Polvo para hornear	2.00
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de Ingredion, s.f*

**Extrusión:** Se introdujo la mezcla al equipo y se recuperó el extruido en una bandeja de metal.

**Adición de especias:** Se agregaron las especias en caliente según las formulaciones detalladas en los cuadros No. 6 y 7.

#### **6.8.4 Prueba de empanizado**

**Pesado:** Se pesaron todos los ingredientes en base a lo que especifica la formulación.

**Mezclado:** Se incorporaron todos los ingredientes.

**Adición del empanizado:** Se cortó pollo en tiras y se sumergieron en huevo. Cada tira se cubrió con el empanizado.

**Fritura:** Se calentó el aceite hasta una temperatura de 175 grados Celsius. Con ayuda de una tenaza, se depositaron las tiras de pollo hasta dorar.

#### **Cuadro 8** Formulación de empanizado

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Migaja de pan	50.0
Harina de trigo	24.0
Harina de semilla de aguacate	8.00
Queso parmesano	10.0
Sal	3.00
Ajo en polvo	2.00

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Tomillo	2.00
Pimienta	1.00
<b>Total</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## VII. Resultados

**Cuadro 9** Contenido total de HCN en los cinco tratamientos realizados en la harina de semilla de harina

Tratamiento	Total HCN	% de reducción	Desviación estándar
Control	3.735 ± 0.003 ppm	-	0.039
Control + secado	1.688 ± 0.003 ppm	54.70 ± 0.002%	0.068
Remojo	1.350 ± 0.003 ppm	63.80 ± 0.002%	0.135
Ebullición	0.473 ± 0.003 ppm	87.30 ± 0.006%	0.068
Ebullición + remojo	0.293 ± 0.003 ppm	92.10 ± 0.010%	0.078

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los resultados promedio, incerteza y desviación estándar de total HCN determinados en los diferentes tratamientos de reducción de cianuro en la harina de semilla de aguacate y su desviación estándar.

**Cuadro 10** Análisis estadístico ANOVA para los resultados de contenido de HCN en las muestras de harina de semilla de aguacate

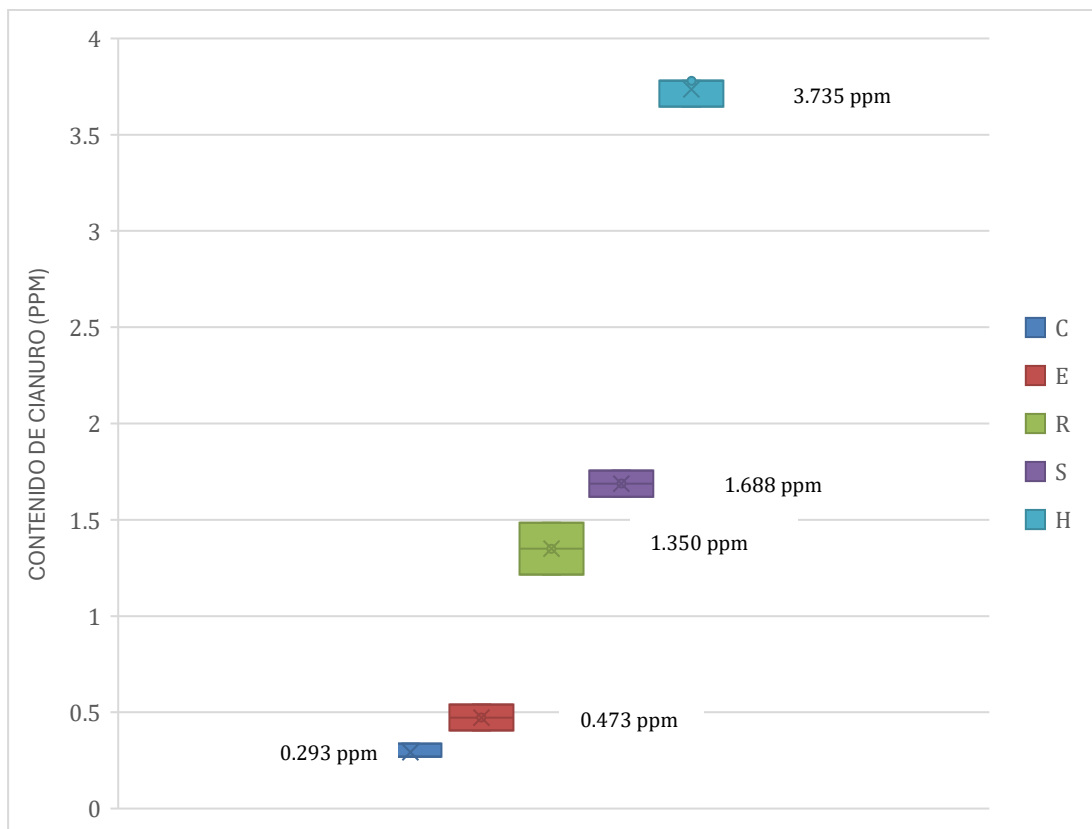
<b>Ho:</b> No hay diferencia significativa en el contenido de HCN total entre los diferentes tratamientos de reducción de cianuro.	
<b>Ha:</b> Sí hay diferencia significativa en el contenido de HCN total entre los diferentes tratamientos de reducción de cianuro.	
<b>Significancia</b>	0.05
<b>Valor-p</b>	1.6 <sup>-12</sup>

**Conclusión:** Con un nivel de significancia de 0.05 y un valor-p de  $1.6^{-12}$ , se concluye que sí hay una diferencia significativa en el contenido de HCN total entre los diferentes tratamientos de reducción de cianuro.

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el análisis estadístico ANOVA realizado para los 5 tratamientos de reducción de cianuro empleados en triplicado. Se muestra la hipótesis nula ( $H_0$ ), la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), el nivel de significancia, el valor-p y la conclusión.

**Figura 3** Diagrama de caja y bigotes para los resultados del contenido de HCN en las muestras de harina de semilla de aguacate



*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el diagrama de caja y bigotes del contenido de HCN en triplicado para cada tratamiento de reducción de cianuro. Al lado de cada caja se muestra el contenido promedio para cada tratamiento. Las cajas se muestran de la

siguiente manera: C para combinación de secado, remojo y ebullición, E para secado y ebullición, R para secado y remojo, S para secado y H para control.

**Cuadro 11** Análisis proximal y contenido de fibra dietética de la harina

<b>Parámetro</b>	<b>Contenido promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>
Fibra dietética	56.2 ± 0.01%	0.01
Carbohidratos	29.0 ± 0.08%	0.01
Humedad	6.52 ± 0.04%	0.01
Proteína	4.53 ± 0.04%	0.16
Grasa	3.20 ± 0.06%	0.004
Cenizas	0.58 ± 0.01%	0.0009

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los resultados promedio, incerteza y desviación estándar del análisis proximal y contenido de fibra dietética en la harina de semilla de aguacate.


**Cuadro 12** Resultados de retención de agua, aceite y solventes en la harina de semilla de aguacate

<b>Parámetro</b>	<b>Contenido promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>
Absorción de agua	6.360 ± 0.006%	0.167%
Absorción de aceite canola	91.50 ± 0.031%	2.100%
Retención de solución al 5% de carbonato de sodio	96.39 ± 0.001%	3.640%
Retención de solución al 5% de ácido láctico	70.75 ± 0.001%	1.085%
Retención de solución al 5% de sacarosa	76.75 ± 0.001%	1.393%

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los resultados promedio, incerteza y la desviación estándar del análisis funcional de la harina de semilla de aguacate, en donde se incluye el porcentaje de retención de agua y aceite y la retención de la solución al 5% de carbonato de sodio, ácido láctico y sacarosa.

**Cuadro 13** Colorimetría de la harina de semilla de aguacate

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
	37.21	15.62	22.37
Desviación estándar	0.3301	0.0777	0.2558

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra las coordenadas de color promedio y desviación estándar de la harina de semilla de aguacate, en donde L\* describe la luminosidad, a\* el componente de color en el eje verde (negativo) – rojo (positivo) y b\* el componente de color en el eje azul (negativo) – amarillo (positivo). También se incluye una imagen del color perteneciente a las tres coordenadas.

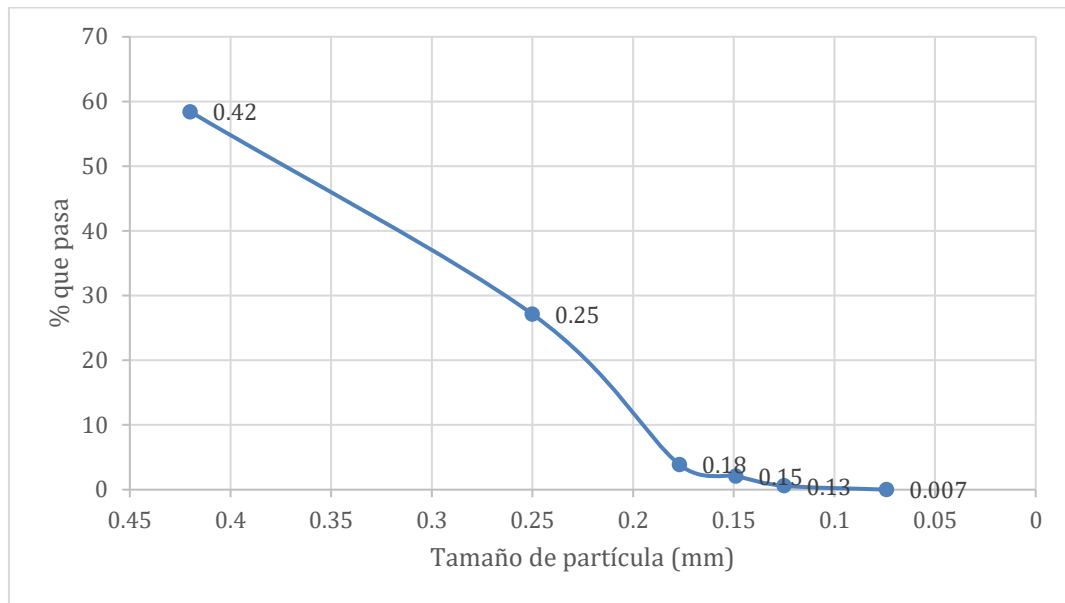
**Cuadro 14** Solubilidad y densidad de la harina de semilla de aguacate

	<b>% solubilidad</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	17.6 ± 0.01%	0.68 ± 0.02
Desviación estándar	0.45%	0.002%

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el promedio, incerteza y desviación estándar del porcentaje de solubilidad y densidad de la harina de semilla de aguacate.

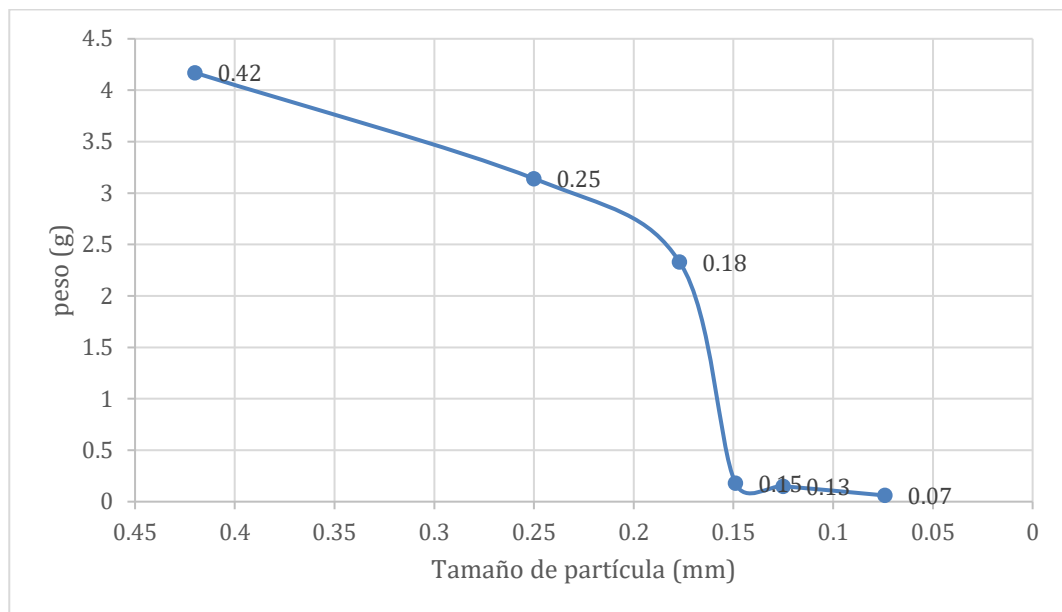
**Figura 4** Análisis granulométrico de la harina



*Fuente: Elaboración propia*

La figura anterior muestra el análisis granulométrico por medio de una gráfica de tamaño de partícula en el eje x en relación con el porcentaje de la muestra de semilla de aguacate que pasa por cada uno de los tamices.

**Figura 5** Distribución de tamaño de partícula de la harina



*Fuente: Elaboración propia*

La figura anterior muestra la gráfica de tamaño de partícula en el eje x en relación con el peso retenido de la muestra de harina de semilla de aguacate en cada uno de los tamices.



**Cuadro 15** Contenido de fibra y proteínas en las pruebas de alimentos realizadas



<b>Alimento</b>	<b>Contenido de fibra (gramos/100g)</b>	<b>Contenido de proteína (gramos/100g)</b>	<b>Declaración nutricional de fibra</b>
Panificación con 3% de harina de semilla de aguacate	3.59	7.74	Fuente de fibra
Panificación con 5% de harina de semilla de aguacate	4.64	7.83	Fuente de fibra
Panificación con 8% de harina de semilla de aguacate	5.67	7.38	Fuente de fibra
Galletas con 3% de harina de semilla de aguacate	3.59	8.98	Fuente de fibra
Galletas con 7% de harina de semilla de aguacate	6.23	7.30	Alto en fibra
Empanizado	7.88	13.24	Alto en fibra
Snack salado	16.5	4.60	Alto en fibra
Snack dulce	16.0	4.35	Alto en fibra

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el contenido de fibra y proteína por 100 gramos en cada una de las pruebas realizadas en alimentos. Para la declaración de fibra se consultó el RTCA 67. 01.60:23.

**Cuadro 16** Fotografías y descripción física de las pruebas de alimentos realizadas

Prueba	Fotografía	Descripción
<p>Panificación con 3, 5 y 8% de harina de aguacate</p>		<p>Las formulaciones con 3 y 5% de harina de semilla de aguacate posee una distribución de alveolos más grandes y en menor cantidad. La formulación de 8% cuenta con una miga más compacta y alveolos en mayor cantidad.</p> <p>Se observa que las formulaciones con 3 y 5% poseen un volumen superior al producto de 8%. Este último adquirió una coloración más dorada.</p>
<p>Galletas con 3, 5, 7 y 60% de harina de aguacate</p>		<p>Las primeras 3 formulaciones adquirieron un color café claro-dorado y se expandieron levemente. Las galletas con 5 y 7% demuestran fisuras más prominentes en su superficie. La galleta con 60% de harina de semilla de aguacate se expandió hacia los lados de manera significativa y adquirió un color café oscuro con textura porosa y quebradiza.</p>

Prueba	Fotografía	Descripción
Empanizado		<p>El empanizado con 8% de harina de semilla de aguacate muestra una cobertura uniforme con textura crujiente y color dorado-café claro. Buena adhesión del empanizado para incorporarse al pollo. Las partículas más grandes pertenecen al queso parmesano.</p>
Snacks extruidos		<p>Snack dulce (arriba) presenta un color café oscuro. Snack salado (abajo) presenta un color café oscuro más claro que el anterior. Ambos mostraron la presencia de unidades que variaban entre crujientes y duras. No hubo buena adhesión de las especias posterior a la fritura.</p>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra fotografías y una descripción física de las pruebas de aplicación de la harina de semilla de aguacate en alimentos.

**Cuadro 17** Dimensiones medidas en la prueba de panificación

<b>Parámetro</b>	<b>3% harina de semilla de aguacate</b>	<b>5% harina de semilla de aguacate</b>	<b>8% harina de semilla de aguacate</b>
Alto	9.00 ± 0.05 cm	9.20 ± 0.05 cm	8.60 ± 0.05 cm
Ancho	10.0 ± 0.05 cm	9.50 ± 0.05 cm	7.00 ± 0.05 cm
Largo	14.2 ± 0.05 cm	14.2 ± 0.05 cm	13.6 ± 0.05 cm

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el alto, ancho y largo promedio de las tres formulaciones de panificación desarrolladas.

## VIII. Discusión

La harina de semilla de aguacate representa una valiosa alternativa en el aprovechamiento de subproductos agrícolas, por lo que el presente trabajo se centra en la caracterización nutricional, la evaluación del contenido de cianuro en la harina preparada posterior a los métodos de reducción mencionados y su aplicación en desarrollo de productos. Los resultados que se muestran en el Cuadro 9 demuestran una reducción progresiva del contenido de cianuro en la harina de semilla de aguacate según el método empleado durante el procesamiento. De igual manera, Cuadro 10 y la Figura 3 muestran que sí existe diferencia significativa en el contenido de HCN total entre los diferentes tratamientos de reducción de cianuro. La semilla cruda sin ningún tipo de tratamiento mostró un contenido de 3.735 ppm, el cual corresponde a 3.02 mg cianuro/10 g de muestra. Esto es consistente con el valor reportado por Nwaogu, et al., 2008, quien determinó un contenido de 2.98 mg cianuro/10 g de muestra.

El proceso de secado de las semillas en condiciones de 90 Celsius durante 1 hora y media mostró una reducción de hasta 1.688 ppm, mostrando una disminución notable de 54.70% en comparación con la muestra control. La reducción del cianuro durante el secado suele darse durante la evaporación del agua facilitando la descomposición de los compuestos cianogénicos. Nchangwe, et al., determinó el contenido de cianuro posterior al secado de las semillas, en donde reportó una concentración de 5.3 ppm. Esta diferencia en los resultados puede deberse a que el autor optó por el secado de la semilla al sol en lugar de utilizar un horno con condiciones controladas de tiempo y temperatura. La combinación de secado y remojo en agua durante 24 horas logró una reducción adicional de 63.80% en este estudio, descendiendo hasta 1.350 ppm. Este resultado es un indicador de la contribución del agua para la lixiviación de compuestos cianogénicos solubles.

Por otro lado, la ebullición a 100 grados Celsius durante 20 minutos posterior al secado, demostró un resultado de 0.473 ppm y una disminución del 87.30%, pues la combinación de calor y agua facilita la liberación y eliminación de una gran parte de los componentes cianogénicos. Nchangwe, et al., determinó un contenido de 1.00 ppm utilizando la metodología de ebullición a 95 grados Celsius durante 20 minutos, valor

significativamente mayor en comparación con el resultado obtenido. Esta diferencia en los resultados puede deberse nuevamente al método de secado escogido. Finalmente, la combinación de las tres técnicas dio como resultado un contenido de 0.293 ppm con un porcentaje de reducción del 92.10%. El tratamiento integral demuestra una mayor eficiencia al aprovechar la sinergia de los métodos, logrando así una reducción significativa del cianuro. Este resultado no es comparable con los datos encontrados en la literatura debido a que no se ha realizado un estudio que combina los tres métodos de secado, remojo y ebullición.

La harina de semilla de aguacate no cuenta con una regulación que limite el contenido máximo seguro de consumo, pues es un producto emergente que en los últimos años ha captado el interés de los investigadores. Tomando en cuenta que en este estudio la harina de semilla de aguacate se aplica en pequeñas cantidades como un ingrediente que aporta fibra dietética en lugar de un componente principal de una dieta, es posible comparar con el dato existente de la harina de yuca, la cual posee un consumo extendido alrededor del mundo y suele utilizarse como reemplazo total de la harina de trigo. En el año 2018, la FAO y OMS estableció un límite de consumo seguro de 10 ppm de HCN para la harina de yuca comestible. A pesar de que el contenido inicial de HCN en la semilla de aguacate ya cumple con los límites recomendados, la reducción adicional es importante en términos de inocuidad. Además, el contenido de HCN suele variar dependiendo de las condiciones de cultivo, procesamiento y almacenamiento del aguacate y los derivados de su semilla, por lo que es de gran importancia fomentar el uso de las metodologías de reducción mencionadas para garantizar la seguridad del consumidor bajo cualquier condición de la semilla.

El análisis proximal de la harina de semilla de aguacate se muestra en el Cuadro 11. El alto contenido de fibra dietética puede deberse a la extracción de grasa y a la etapa de ebullición, concentrando su contenido en la fibra. Este es un resultado positivo para la caracterización de la harina, pues el porcentaje total corresponde a la suma de fibra soluble e insoluble, contribuyendo a la salud digestiva. Bangar, et al., (2022) reporta un contenido de 45.53% de fibra en harina de semilla de aguacate. A pesar de ser un resultado bastante alto, es posible que sea inferior al reportado en este trabajo debido a variaciones en el tratamiento térmico, origen y variedad de la materia prima y el método de preparación de la harina. De igual manera, el autor reporta un 6.7% de

proteína y 3.4% de grasa, los cuales son levemente superiores a los de este estudio. El bajo contenido de humedad (6.52%) reportado es favorable para la estabilidad de la harina preparada. Según Nasir, et al., (2013) el contenido de humedad ideal de la harina oscila entre el 9% y 10%, por lo que un valor más bajo también evita el crecimiento de microorganismos y la descomposición del producto. El bajo contenido graso (3.20%) también es positivo, ya que evita la oxidación de la harina, prolongando su vida útil.

El Cuadro 12 muestra los resultados del análisis funcional de la harina de semilla de aguacate. Se obtuvo un porcentaje de capacidad de absorción de agua bajo (6.36%), lo cual sugiere que esta no puede hincharse de manera significativa como en el caso de la harina de trigo de todo uso, la cual suele presentar entre un 130 y 140% de capacidad de absorción de agua (Kakar, et al., 2022). Por lo tanto, este dato influyó en la decisión de no utilizar un 100% de la harina en la formulación de alimentos de panificación, ya que esto alteraría de manera significativa la textura y volumen del producto final. El valor tan bajo pudo ser impactado por el tamaño de partícula, el alto contenido de fibra y la humedad tan baja registrada en el análisis proximal (Suresh & Samsher, 2013).

Por otro lado, la alta capacidad de absorción de aceite (91.50%) puede deberse al alto contenido de fibra, el cual es capaz de capturar y retener aceites y grasas. Esto es valioso en productos horneados, pues evita la formación de una textura seca o quebradiza. Así mismo, brinda sabor y suavidad a la miga. El valor de retención de la solución al 5% de carbonato de sodio también sugiere que la harina posee un alto porcentaje de almidón y carbohidratos, lo cual puede tener un impacto positivo en la textura de los productos horneados. Los resultados de retención de ácido láctico (70.75%) y sacarosa (76.75%) sugieren que las proteínas y carbohidratos como los pentosanos de la harina, tienen una buena capacidad para interactuar con dichos solventes, lo cual es ventajoso en procesos de fermentación y horneado (Kweon, et al., 2011).

El cuadro No. 14 muestra el % de solubilidad de la harina de semilla de aguacate (17.64%). Esto puede deberse al alto contenido de fibra insoluble y a su estructura. Así mismo, las condiciones de procesamiento tales como el tratamiento térmico y tamaño de partícula influyeron en esta propiedad de la harina. Por lo tanto, este parámetro

también influyó en la decisión de no utilizar un 100% de la harina de semilla de aguacate en las formulaciones de panificación y galletería, ya que la baja incorporación de ingredientes podría influir en la textura, estabilidad y viscosidad de la mezcla (Moradi, et al., 2016).

Los parámetros de color indican que la harina es relativamente oscura, ya que el parámetro de luminosidad se encuentra más cercano al 0 que representa al color negro. El parámetro positivo en el componente verde-rojo sugiere que la harina posee una tendencia hacia el rojo. Finalmente, el componente-azul amarillo demuestra una tendencia hacia el color amarillo debido al valor positivo obtenido. Durante el procesamiento de la harina, se observó que previo a las etapas de remojo y ebullición, la harina mostraba tonos más oscuros y rojos. Según Bachiller, S. (2022), la semilla posee diversos pigmentos solubles en agua como las antocianinas, de los cuales se perdió un porcentaje significativo de su concentración durante el remojo durante 24 horas. Así mismo, la etapa de ebullición contribuye a la degradación de dichos pigmentos debido a su sensibilidad térmica.

Las figuras No. 4 y 5 muestran el análisis granulométrico de la harina, el cual se trabajó con 6 tamices con diferente tamaño de abertura nominal de malla, siendo 40 el más grande y 120 el más pequeño. La figura No. 4 muestra que el 58.4% atravesó el tamiz ASTM No. 40 correspondiente a un tamaño de partícula de  $420\ \mu\text{m}$ , mientras que tan solo el 0.60% atravesó el No. 120 para un tamaño de partícula de  $120\ \mu\text{m}$ . La Figura 5 demuestra mediante la distribución de tamaño en relación al peso retenido que el tamaño de partícula es superior a 0.07 mm. Estos resultados indican que el proceso de molienda no fue el más ideal, sin embargo, su impacto no fue significativo al utilizarse como ingrediente en pequeños porcentajes. Por lo tanto, la selección del molino y las condiciones de procesamiento deben modificarse de acuerdo con la aplicación que desee darse a la harina.

Con base en los parámetros anteriores, se decidió hacer una prueba de panificación con 3, 5 y 8% de harina de semilla de aguacate como se observa en el Cuadro 3. La Figura 16 muestra los resultados de las tres formulaciones desarrolladas. Como es posible observar en la fotografía, los productos con 3 y 5% adquirieron un volumen significativo y una miga levemente aireada por la formación de alveolos. Sin

embargo, la formulación con 8% de harina de aguacate demostró un volumen inferior y una miga más compacta que muestra la formación de un alveolado más pequeño. Por lo tanto, es posible inferir que a partir de un 8% de la harina en la formulación empleada, la baja capacidad de retención de agua, solubilidad y menor contenido de gluten comenzaron a influir en la retención de gases durante la fermentación y por lo tanto en el volumen final del producto.

En cuanto a las galletas, se hicieron dos formulaciones como es posible observar en los cuadros No. 4 y No. 5, en donde el contenido de harina de semilla de aguacate se varió en un 3, 5, 7 y 60% alcanzando las declaraciones de alto en fibra con un mínimo de 6g/100g y fuente de fibra con un mínimo de 3g/100g como se observa en el Cuadro 16. La diferencia principal que se notó con la variación del porcentaje de harina fue la presencia de fisuras en la superficie de las galletas con 5 y 7% de harina de semilla de aguacate. El incremento de su contenido pudo influir en la formación de una textura seca y dificultad de cohesión de los ingredientes debido una baja retención de humedad por parte de la harina. Sin embargo, no se deben descartar otros aspectos que pudieron influir en estas fisuras como lo son las condiciones de horneado, amasado excesivo, el cambio de temperatura brusco durante el enfriamiento y un exceso de azúcar en la formulación (Lezcano, 2015).

En la prueba de empanizado se utilizó de igual manera, un 8% de harina de semilla de aguacate, pudiendo ser declarado como alto en fibra. Como se observa en el Cuadro 16, el empanizado preparado aportó una cobertura uniforme con textura crujiente. Así mismo, demostró propiedades de adhesión altas al momento de incorporarse a las tiras de pollo y una coloración dorada posterior a la fritura. Las partículas más grandes que se observan en la imagen pertenecen al queso parmesano que se incluyó en la formulación para aportar a las propiedades organolépticas del producto.

Finalmente, en las pruebas de extrusión, se utilizó un 20% de semilla de aguacate, que en combinación con los demás ingredientes listados en los Cuadros 6 y 7, dieron un total de 15.35g de fibra/100g de producto salado y 14.85g de fibra/100g de producto dulce respectivamente. Por lo tanto, ambos snacks pueden ser declarados como altos en fibra. Sin embargo, el producto adoptó un color bastante oscuro como

puede apreciarse en el Cuadro 16. Además, se notó una distribución de unidades crujientes y otras duras que no son aceptables en un producto de esta naturaleza.

Esto puede deberse a las condiciones de proceso, así como el tamaño de los agujeros de la boquilla y el tamaño de partícula de la harina que se muestra en la Figura 5, los cuales pudieron influir en la resistencia al flujo y, por lo tanto, el tiempo de retención del producto dentro del equipo a temperaturas altas, influyendo en sus propiedades físicas. Por lo tanto, el porcentaje de harina de semilla de aguacate podría disminuirse para evaluar si existe una mejora en el producto final, en combinación con un mejor control sobre las temperaturas durante la operación. Se determinó que sería posible disminuir hasta un 10% de la harina de semilla de aguacate en la formulación sin afectar directamente la declaración de fibra, la cual seguiría siendo superior a los 6g/100g que dicta el Reglamento Técnico (RTCA 67. 01.60:23) como límite mínimo de declaración de “alto en fibra.”

## IX. Conclusiones

- Dada la composición proximal y el contenido de fibra dietética, se determinó que la harina de semilla de aguacate elaborada a partir del aguacate *Persea americana* Mill es un ingrediente apropiado para aportar fibra dietética y los niveles de cianuro sí pueden reducirse significativamente para que su consumo sea seguro.
- La harina de semilla de aguacate *Persea americana* Mill tiene un alto contenido de fibra (56.2%) y carbohidratos (29.0%), mientras que para proteína (4.53%) y grasa (3.20%) es bajo. Adicionalmente, se encontró que la semilla de aguacate cruda *Persea americana* Mill presenta un contenido de cianuro (3.73 ppm), lo cual es consistente con lo reportado por la literatura.
- Como se esperaba, el método que combina los métodos de secado, remojo y ebullición es la que reduce el mayor contenido de cianuro (92.10%) de los métodos investigados en la harina de semilla de aguacate *Persea americana* Mill.
- Es posible incorporar la harina de semilla de aguacate en formulaciones alimenticias hasta un 10% para incrementar el contenido de fibra en productos horneados que no requieren fermentación y productos donde su textura crujiente sea deseable como los empanizados. No es óptimo en porcentajes mayores del 5% en panadería para evitar pérdida de volumen ni en productos extruidos.

## X. Recomendaciones

1. Con base en los hallazgos presentados, se considera importante realizar un estudio que abarque la caracterización y cuantificación del contenido de antinutrientes en la semilla de aguacate, pues a pesar de ser relevante para comprender por completo su perfil nutricional, quedó fuera del alcance de esta investigación. Conocer la disponibilidad y efectos de su ingesta podría contribuir para obtener un enfoque integral en la aplicación de la semilla de aguacate en el sector alimentario.
2. Se recomienda explorar el efecto de la utilización de condiciones menos intensas de temperatura durante los métodos de reducción de cianuro con el fin de evaluar si es posible aumentar el porcentaje de absorción de agua y solubilidad analizados en la harina elaborada sin comprometer el contenido total de cianuro posterior al procesamiento de la semilla.
3. Con base en la aplicación que se desee dar a la harina de semilla de aguacate, se recomienda modificar las condiciones de procesamiento y seleccionar un molino que permita tener una distribución de tamaño más uniforme.
4. En cuanto a la prueba de extrusión, se recomienda disminuir el porcentaje empleado de la harina de semilla de aguacate para evitar impactos negativos en las propiedades organolépticas del producto. El ajuste de la proporción de harina permitiría una mejora en el perfil de sabor del snack extruido, en donde un porcentaje podría ser de 10% sin alterar la declaración de alto en fibra. Así mismo, se sugiere realizar una reformulación de manera que se incluyan ingredientes que faciliten la expansión y adhesividad del snack extruido.
5. Se recomienda realizar un estudio de vida útil con el fin de analizar la viabilidad comercial y estabilidad de la harina de semilla de aguacate.
6. Se sugiere evaluar el contenido de almidón en la semilla de aguacate como fuente alternativa para la obtención de almidón no convencional para su aplicación en alimentos en base a sus propiedades espesantes y gelificantes (Rivera, et al., 2019).
7. Debido a su contenido de pigmentos orgánicos naturales, se sugiere estudiar la semilla de aguacate para su uso en la industria alimenticia (Surukite, et al., 2013).

8. Finalmente, se sugiere realizar un análisis sensorial de la harina de semilla de aguacate y derivados para obtener información detallada de las propiedades organolépticas y su influencia en la aceptación del consumidor.

## XI. Bibliografía

- Adeleke, Olaposi R., *et al.*, 2017. *Effect of soaking and boiling on anti-nutritional factors, oligosaccharide contents and protein digestibility of newly developed 53ssesm groundnut*. Turkish J. Agric. Food Sci. Tech Vol. 5, pp.1006-1014.
- Alvarado, Ximena N.; I. L. de León y M. Velásquez. 2023. *Actualización y análisis estratégico de la cadena de valor del aguacate guatemalteco*. Revista Científica del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Vol. 6 (2), pp. 2707- 2908.
- Asociación Gremial de Exportadores de Guatemala, AGEXPRONT. 2023. *Manual Técnico de Producción Comercial de Aguacate (Persea Americana Mill.)*. Guatemala, Guatemala.
- Asociación Gremial de Exportadores de Productos No Tradicionales de Guatemala, AGEXPRONT. 2003. *Manual Técnico de Producción Comercial de Aguacate (Persea Americana Mill.)*. Guatemala, Guatemala.
- Bachiller, L. 2022. *Obtención de colorante a partir de la semilla de aguacate*. Universidad Politécnica de Madrid, España. 108 págs.
- Bamidele, T. O. *et al.*, 2021. *Phytochemical Constituents, Nutritional and Anti-Nutritional Composition of Persea americana Seeds*. Savanna Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 3 (2), pp. 117–123.
- Bangar, Sneha Punia. *et al.*, 2022. *Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and Industrial Food Applications*. Food Chemistry, Vol. 10 (16).
- Bian, Qi; S. Sittipod y K. Ambrose. 2015. *Bulk Flow Properties of Hard and Soft Wheat Flours*. Journal of Cereal Science. Kansas State University, USA. 24 págs.

- Calvopiña, Josselyn Andrea. 2018. *Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en un pan libre de gluten*. Escuela Agrícola Panamericana de Zamorano, Honduras. 32 págs: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ae52fc43-adac-45bf-a330-e9a674e29b8c/content>
- Cerdas, María del Milagro; M. Montero y E. Díaz. 2006. *Manual de manejo pre y poscosecha de aguacate (Persea americana)*. Universidad de Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas. 99 págs.
- Cole Parmer. Sin fecha. *Tamices*: <https://pim-resources.coleparmer.com/catalog-page/yv14-0982.pdf>
- Flores, Marcos. *et al.*, 2019. *Avocado oil: Characteristics, Properties, and Applications*.  
Molecules, Vol. 24 (11). 21 págs.
- Fonseca, Patricia. *et al.*, 2016. *Avocado: characteristics, health benefits and uses*. Ciencia Rural  
Vol. 46 (4), pp. 747-754. Santa María, Brasil.
- García-Fajardo, J.A; M. Ramos-Godínez y J. Mora-Galindo. 1999. *Avocado Seed Structure and Quantification of Fat Extraction by Different Techniques*. Revista Chapingo Serie Horticultura, Vol. 5, pp. 123–128.
- Godswill, Chinaza; C. K. Echeta y I. Victory. 2019. *The Functional Properties of Foods and Flours*. International Journal of Advanced Academic Research: Science, Technology and Engineering, Vol. 5 (11). 23 págs.
- Hyacinthe, Anon Attho, *et al.*, 2021. *Functional properties of composite flours produced with Ivorian taro (Colocasia esculenta L. Cv Fouê) corms flour and wheat (Triticum aestivum L.) flour*. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences Vol. 15 (3), pp. 164–176.
- Ifesan B.O.T; B.O. Olorunsola y B.T. Ifesan. 2015. *Nutritional composition and acceptability of candy from avocado seed (Persea americana)*. International Journal of Agriculture Innovations and Research, Vol. 3 (6), pp. 2319-1473.

- Iliya, *et al.*, 2019. *Determination of Cyanide Content in Cassava Tubers (Manihot Esculenta) and Apple Seed (Pyrus Malus)*. International Journal of Current Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences Vol. 6 (2). 7 págs.
- Jurado-Erazo, Danya Katherine; Y.A. Tulcán-Cuasapud y A. F. Rojas González. 2023. *Perspectivas de Valorización de residuos de Frutas a partir de sus características físicas*. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Vol. 24 (1). 22 págs.
- Kakar, Attaullah. *et al.*, 2022. *Oil and water absorption capacity of wheat, rice and gram flour powders*. International Journal of Ecosystems and Ecology Science Vol. 12 (2), pp. 585-594.
- Kweon, Meera; L. Slade y H. Levine. 2011. *Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding—A Review*. Cereal Chemistry Vol. 88 (6), pp. 537- 552.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Sin fecha. *Perfil aguacate (Persea americana)*. Gobierno de Guatemala. 40 págs.
- Moradi, V. *et al.*, 2016. *Rheological Properties of Wheat Flour with Different Extraction Rate*. International Food Research Journal Vol. 23, No. 3. 7 págs.
- Naciones Unidas. Sin fecha. *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, United Nations*: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/> (Accessed: 09 April 2023).
- Nchangwe, CC; N. Kassim y E. Makule. 2023. *Effect on blanching conditions and solar drying on selected nutritional, anti-nutritional and bioactive components of formulated avocado seed powder*. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development Vol. 24 (6). 15 págs.

- Nwaokobia, Kingsley. *et al.*, 2019. *Comparative analysis of the physicochemical, phytochemical and mineral composition of avocado (Persea americana mill.) pulp and seed*. International Journal of Chemical and Biological Sciences, Vol. 1 (2), pp. 12–18.
- Nwaogu, L. A; C.S. Alisi y O.A. Okiaki, 2008. *Studies on the Nutritional and Phytochemical Properties of Persea americana Seed*. Bio-Research, Vol. 6 (1) pp. 320-322.
- Nyakang'i, Clinton O. *et al.*, 2023. *Physicochemical properties of avocado seed extract model beverages and baked products incorporated with avocado seed powder*. International Journal of Food Science, pp. 1–9.
- Nyirenda, Kumbukani K. 2021. *Toxicity Potential of Cyanogenic Glycosides in Edible Plants*. Medical Toxicology. Editado por Erkekoglu, P. y Ogawa, T. Sudáfrica: IntechOpen.
- Oktarini, Winda D. *et al.*, 2022. *Physical Properties and Consumer Acceptance of White Bread with The Substitution of Coconut Dregs and Avocado Seed Flour*. Agritech Vol. 43 (3), pp. 278-287.
- Padilla-Camberos, Estuardo. *et al.*, 2013. *Acute toxicity and genotoxic activity of avocado seed extract (persea americana mill., C.V.Hass)*. The Scientific World Journal, pp. 1–4.
- Rivera-González, Gerardo. *et al.*, 2019. *Physicochemical characterisation and in vitro digestion of Avocado Seed Flour (Persea americana V. Hass) and its starch and fibrous fractions*. International Journal of Food Science & Technology Vol. 54 (7). pp. 2447 – 2457.
- Rodríguez-López, Carlos Eduardo. *et al.*, 2017. *Avocado fruit maturation and ripening: dynamics of aliphatic acetogenins and lipidomic profiles from mesocarp, idioblasts and seed*. BMC Plant Biology Vol. 17 (159). 23 págs.
- Runyogote, Joseph. *et al.*, 2021. *Optimized method for processing avocado seeds to improve selected nutrients and functional values*. Food Science and Technology Research, Vol. 27 (1), pp. 75–84.

- Servicio Ecuatoriano de Normalización. 2015. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1755, segunda revisión. Frutas Frescas. Aguacate. Requisitos*. Quito, Ecuador. 14 págs.
- Silva, João H. C. S. *et al.*, 2023. *Dynamics of plant organic matter decomposition in different agricultural landscapes*. *Revista Caatinga* Vol. 36 (1), pp. 135-144. Mossoró, Brasil.
- Solagro. Sin fecha. *Ficha comercial aguacate Hass*. Solagro, Guatemala: [https://solagroguate.com/es\\_es/](https://solagroguate.com/es_es/)
- Suresh, Chandra & Samsher. 2013. *Assessment of Functional Properties of Different Flours*. *Academic Journals* Vol. 8, No. 38. 5 págs.
- Surukite, Oluwole, *et al.*, 2013. *Qualitative Studies on Proximate Analysis and Characterization of Oil from Persea Americana (Avocado Pear)*. *Journal of Natural Sciences Research* Vol. 3 (2). pp. 68-74.
- Talabi, Justina Y. *et al.*, 2016. *Nutritional and antinutritional compositions of processed ...*, *Asian Journal of Plant Science and Research*. Asian Journal of Plant Science and Research. Pelegia Research Library Vol. 6 (2), pp. 6-12:  
[https://www.researchgate.net/publication/305991055\\_Nutritional\\_and\\_antinutritional\\_compositions\\_of\\_processed\\_Avocado\\_Persea\\_american\\_Mill\\_seeds](https://www.researchgate.net/publication/305991055_Nutritional_and_antinutritional_compositions_of_processed_Avocado_Persea_american_Mill_seeds).
- Tovar-Hernández, *et al.*, 2017. *Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) normal y germinada*. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 15 (2), pp. 30-38.
- Yulvianti, Meri; C. Zidorn. 2021. *Chemical diversity of plant cyanogenic glycosides: An overview of reported natural products*. *Molecules*, Vol. 26 (3). 19 págs.

## XII. Anexos

### 12.1 Datos originales

**Cuadro 18** Peso de la muestra y volumen de titulación de las muestras con diferentes tratamientos en triplicado

No. muestra	Peso de la muestra $\pm 0.00005$ g	Volumen de titulación $\pm 0.002$ mL
c1	10	0.20
c2	10	0.20
c3	10	0.25
e1	10	0.35
e2	10	0.40
e3	10	0.30
r1	10	1.00
r2	10	1.10
r3	10	0.90
s1	10	1.20
s2	10	1.25
s3	10	1.30
h1	10	2.70
h2	10	2.80
h3	10	2.80

Fuente: *Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos de muestra y volúmenes de titulación de HCl empleados para la determinación de HCN total en las muestras de harina, en donde la letra indica el tipo de tratamiento como c: combinación de secado, ebullición y remojo, e: secado y ebullición, r: secado y remojo, s: secado y h: control. El número indica el número de muestra, ya que el análisis se llevó a cabo en triplicado por cada muestra.

**Cuadro 19** Porcentaje de humedad de la harina de semilla de aguacate

<b>No. muestra</b>	<b>Peso crisol ± 0.00005 g</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso final crisol + muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso muestra seca ± 0.00005 g</b>
1	10.747	4.5851	5.0026	15.750
2	11.387	4.3976	5.0032	16.391
3	11.902	4.8793	5.0011	16.902

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de humedad durante el análisis proximal de las muestras de harina.

**Cuadro 20** Porcentaje de cenizas de la harina de semilla de aguacate

<b>No. muestra</b>	<b>Peso crisol ± 0.00005 g</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso final crisol + muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso cenizas ± 0.00005 g</b>
1	28.192	1.5014	28.200	0.0082
2	28.140	1.5024	28.148	0.0081
3	22.825	1.5015	22.834	0.0097

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de cenizas durante el análisis proximal de las muestras de harina.

**Cuadro 21** Porcentaje de proteína de la harina de semilla de aguacate

<b>No. muestra</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Volumen HCl ± 0.05 mL</b>
1	0.256	1.30
2	0.257	1.30
3	0.251	1.35

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos y volúmenes de titulación de HCl empleados para la determinación del % de proteína durante el análisis proximal de las muestras de harina.

**Cuadro 22** Porcentaje de grasa en la harina de semilla de aguacate

<b>No. muestra</b>	<b>Peso vaso ± 0.00005 g</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso final crisol + muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso grasa ± 0.00005 g</b>
1	75.293	5.0030	75.461	0.1683
2	76.417	5.0027	76.593	0.1763
3	75.717	5.0010	75.852	0.1350

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de grasa durante el análisis proximal de las muestras de harina.

**Cuadro 23** Datos para la determinación de fibra dietética en la semilla de aguacate

<b>No. muestra</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso residuo ± 0.00005 g</b>	<b>Peso proteína ± 0.00005 g</b>	<b>Peso cenizas ± 0.00005 g</b>	<b>Peso blanco ± 0.00005 g</b>
1	1.672	1.025	0.021	0.049	0.0004
2	1.672	1.025	0.023	0.079	0.0004
3	1.672	1.025	0.021	0.089	0.0004

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de fibra dietética en las muestras de harina.

**Cuadro 24** Análisis de absorción de agua en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso muestra + tubo de centrífuga ± 0.00005 g</b>	<b>Peso tubo de centrífuga + sedimentos ± 0.00005 g</b>
1	1.0044	24.135	17.877
2	1.0027	24.832	18.262
3	1.0011	24.430	18.120

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de absorción de agua en las muestras de harina en triplicado.

**Cuadro 25** Análisis de absorción de aceite en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Peso tubo de centrífuga + muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso muestra ± 0.00005 g</b>	<b>Peso de tubo de centrífuga + sedimentos ± 0.0001 g</b>
1	14.42	0.500	14.95
2	12.80	0.500	13.25
3	14.45	0.500	14.92

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de absorción de aceite en las muestras de harina en triplicado.

**Cuadro 26** Análisis de retención de solventes en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Peso tubo de centrífuga + harina ± 0.0001 g</b>	<b>Peso tubo de centrífuga + gel ± 0.0001 g</b>
s1	18.83	32.98
s2	18.77	33.34
s3	18.79	33.35
c1	17.30	34.34
c2	17.25	43.68
c3	18.95	36.42
l1	18.86	32.01
l2	18.98	32.39

<b>No. muestra</b>	<b>Peso tubo de centrifuga + harina <math>\pm 0.0001</math> g</b>	<b>Peso tubo de centrifuga + gel <math>\pm 0.0001</math> g</b>
13	18.71	32.16

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de retención de solventes, en donde s: solución de sacarosa al 5%, c: solución de carbonato de sodio al 5% y l: solución de ácido láctico.

**Cuadro 27** Solubilidad de la harina en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Peso inicial <math>\pm 0.0001</math> g</b>	<b>Peso final <math>\pm 0.0001</math> g</b>	<b>Peso del beaker <math>\pm 0.0001</math> g</b>
1	1.0135	0.840	24.710
2	1.0113	0.830	24.000
3	1.0068	0.770	23.930

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos empleados para la determinación del % de solubilidad de las muestras de harina en triplicado.

**Cuadro 28** Densidad a granel de la harina en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Peso ± 0.0001 g</b>	<b>Volumen ± 0.1 cm<sup>3</sup></b>
1	6.78	10
2	6.79	10
3	6.76	10

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra los pesos y volúmenes empleados para la determinación de la densidad de las muestras de harina en triplicado.

**Cuadro 29** Colorimetría de la harina en triplicado

<b>L* ± 0.005</b>	<b>a* ± 0.005</b>	<b>b* ± 0.005</b>
37.58	15.60	22.55
37.12	15.71	22.49
36.94	15.56	22.08

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el análisis colorimétrico de las muestras de harina en triplicado.

**Cuadro 30** Análisis granulométrico de la harina

<b>No. Mesh ASTM</b>	<b>Peso retenido ± 0.00005 g</b>	<b>Tamaño de partícula (μm)</b>
40	4.17	420
60	3.14	250
80	2.33	177
100	0.18	149

<b>No. Mesh ASTM</b>	<b>Peso retenido ± 0.00005 g</b>	<b>Tamaño de partícula (μm)</b>
120	0.15	125
200	0.06	74

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el número de Mesh ASTM empleado para el análisis granulométrico así como el peso retenido de la harina en cada uno de los platos. El tamaño de partícula corresponde al tamaño de plato empleado.

**Cuadro 31** Formulación de panes y el contenido de fibra y proteína por 100 gramos de ingrediente

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>F3 (%)</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Harina de trigo	57.0	55.0	53.0	3.33	13.3
Agua	37.6	37.6	37.6	-	-
Harina de semilla de aguacate	3.00	5.00	7.00	56.2	4.53
Levadura	2.40	2.40	2.40	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	-	-

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra las tres formulaciones empleadas para la elaboración de pan, en donde su contenido de harinas varía. Además, muestra los gramos de fibra y proteína por 100 gramos de cada ingrediente empleado.

**Cuadro 32** Formulación y contenido de fibra y proteína en las galletas declaradas como altas en fibra

<b>Alto en fibra</b>				
<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>gramos</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Harina de trigo	52.0	52.0	3.33	13.3
Azúcar	19.0	19.0	-	-
Huevo	10.0	10.0	-	12.4
Mantequilla	9.80	9.80	-	-
Harina de semilla de aguacate	8.00	8.00	56.2	4.53
<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>gramos</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Sal	0.80	0.80	-	-
Bicarbonato de sodio	0.40	0.40	-	-
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación utilizada para la elaboración de las galletas altas en fibra. Además, muestra los gramos de fibra y proteína por 100 gramos de cada ingrediente empleado.

**Cuadro 33** Formulación y contenido de fibra y proteína en las galletas declaradas como fuente de fibra

<b>Fuente de fibra</b>			
<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Harina de trigo	57.0	3.33 g	13.3 g
Azúcar	19.0	-	-

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Huevo	10.0	-	12.4
Mantequilla	9.80	-	-
Harina de semilla de aguacate	3.00	56.2 g	4.53
Sal	0.80	-	-
Bicarbonato de sodio	0.40	-	-
<b>Total</b>	<b>100 g</b>	-	-

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación utilizada para la elaboración de las galletas como fuente de fibra. Además, muestra los gramos de fibra y proteína por 100 gramos de cada ingrediente empleado.

**Cuadro 34** Formulación del empanizado y contenido de fibra y proteína

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Miga de pan	50.0	3.33 g	13.3 g
Harina de trigo	24.0	3.33 g	13.3 g
Queso parmesano	10.0	-	30.1 g
Harina de semilla de aguacate	8.00	56.2 g	4.53 g
Sal	3.00	-	-
Ajo en polvo	2.00	9.00 g	-
Tomillo	2.00	37.0 g	-

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Pimienta	1.00	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	-	-

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación utilizada para la elaboración del empanizado. Además, muestra los gramos de fibra y proteína por 100 gramos de cada ingrediente empleado.

**Cuadro 35** Formulación de la premezcla para snack extruido salado

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Harina de maíz	25.0	8.67 g	8.30 g
Harina de arroz	22.0	0.50 g	6.94 g
Harina de semilla de aguacate	22.0	56.2 g	4.53 g
Almidón de maíz	19.0	-	-
Sal	3.00	-	-
Polvo para hornear	2.00	-	-
Tomillo	2.00	37.0 g	37.0 g
Orégano	2.00	42.5 g	
Ajo en polvo	1.00	9.00 g	
Cebolla en polvo	1.00	15.2 g	
Sabor queso	1.00	-	
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	-	-

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación utilizada para la elaboración de la premezcla salada para el snack extruido. Además, muestra los gramos de fibra y proteína por 100 gramos de cada ingrediente empleado.

**Cuadro 36** Formulación de la premezcla para snack extruido dulce

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g)</b>	<b>Proteína (100 g)</b>
Harina de maíz	22.0	8.67 g	8.30 g
Harina de arroz	22.0	0.50 g	6.94 g
Harina de semilla de aguacate	22.0	56.2 g	4.53 g
Almidón de maíz	19.0	-	-
Azúcar	9.00	-	-
Canela	3.00	53.1 g	-
Polvo para hornear	2.00	-	-
Sal	1.00	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>16.0 g</b>	<b>4.35 g</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación utilizada para la elaboración de la premezcla dulce para el snack extruido. Además, muestra los gramos de fibra y proteína por 100 gramos de cada ingrediente empleado.

## 12.2 Datos calculados

**Cuadro 37** Total de HCN en las muestras con diferentes tratamientos en triplicado

<b>No. Muestra</b>	<b>Total HCN <math>\pm</math> 0.01 ppm</b>
c1	0.27
c2	0.27
c3	0.34
e1	0.47
e2	0.54

<b>No. Muestra</b>	<b>Total HCN <math>\pm</math> 0.01 ppm</b>
e3	0.41
r1	1.35
r2	1.49
r3	1.22
s1	1.62
s2	1.69
s3	1.76
h1	3.65
h2	3.78
h3	3.78

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el contenido total de HCN por muestra, en donde la letra indica el tipo de tratamiento como c: combinación de secado, ebullición y remojo, e: secado y ebullición, r: secado y remojo, s: secado y h: control. El número indica el número de muestra, ya que el análisis se llevó a cabo en triplicado por cada muestra.

**Cuadro 38** Análisis proximal y fibra dietética de la harina en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Humedad ± 0.001 %</b>	<b>Cenizas ± 0.0001 %</b>	<b>Proteína ± 0.017 %</b>	<b>Grasa ± 0.001%</b>	<b>Carbohidratos ± 0.003%</b>	<b>Fibra ± 0.003 %</b>
1	7.072	0.5462	4.45	3.364	27.42	57.15
2	5.954	5.9391	4.42	3.524	30.32	55.21
3	6.531	6.460	4.71	2.700	30.70	54.72

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el % de humedad, cenizas, proteína, grasa, carbohidratos y fibra en triplicado. Se utilizó una normalidad de 0.10 para el HCl y un factor de proteína de 6.25 para la determinación del % de proteína.

**Cuadro 39** Análisis funcional de la harina en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>Absorción de agua</b>	<b>Absorción de aceite</b>	<b>Retención de sol. 5% sacarosa</b>	<b>Retención de sol. 5% ácido láctico</b>	<b>Retención de sol. 5% carbonato de sodio</b>
1	6.231 ± 0.032 %	105.9 ± 1.765%	75.15 ± 0.085	69.72 ± 0.083	98.50 ± 0.100
2	6.550 ± 0.033%	90.00 ± 1.671%	77.62 ± 0.086	70.65 ± 0.085	98.49 ± 0.100
3	6.300 ± 0.032%	94.00 ± 1.695%	77.49 ± 0.086	71.89 ± 0.095	92.19 ± 0.089

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el % de absorción de agua, % de absorción de aceite y retención en solución al 5% de sacarosa, ácido láctico y carbonato de sodio en triplicado.

**Cuadro 40** Solubilidad y densidad de la harina en triplicado

<b>No. muestra</b>	<b>% solubilidad</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	17.12 ± 0.141	0.68 ± 0.001
2	17.93 ± 0.141	0.68 ± 0.001
3	23.52 ± 0.142	0.68 ± 0.001

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el % de solubilidad y densidad de la muestra de harina en triplicado.

**Cuadro 41** Tamaño de partícula y porcentaje que pasa por los platos para el análisis granulométrico de la harina

<b>No. Mesh ASTM</b>	<b>Tamaño de partícula (mm)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
40	0.42	58.4 ± 0.16
60	0.25	27.1 ± 0.07
80	0.18	3.89 ± 0.01
100	0.15	2.09 ± 0.01
120	0.13	0.60 ± 0.01
200	0.07	0.00 ± 0.00

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra el tamaño de partícula proporcionado por el tamaño de plato en mm y el porcentaje de la harina que pasa por cada uno de los platos del equipo.

**Cuadro 42** Formulación de panes y su contenido de fibra en porción de 100 gramos de masa

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>Fibra (100 g de masa)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>Fibra (100 g de masa)</b>	<b>F3 (%)</b>	<b>Fibra (100 g de masa)</b>
Harina de trigo	57.0	1.90 g	55.0	1.83 g	52.0	1.73 g
Agua	37.6	-	37.6	-	37.6	-
Harina de semilla de aguacate	3.00	1.69 g	5.00	2.81 g	8.00	4.49 g
Levadura	2.40	-	2.40	-	2.40	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>3.59 g</b>	<b>100 %</b>	<b>4.64 g</b>	<b>100 %</b>	<b>6.22 g</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación empleada para la elaboración de pan, en donde la variación se observa en el contenido de harinas. Además, por cada formulación se muestra el contenido de fibra y proteína por 100 gramos de masa.

**Cuadro 43** Formulación de panes y su contenido de proteína en porción de 100 gramos de masa

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>	<b>F3 (%)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>
Harina de trigo	57.0	7.60	55.0	7.33	53.0	7.07
Agua	37.6	-	37.6	-	37.6	-
Harina de semilla de aguacate	3.00	0.14	5.00	0.23	7.00	0.32

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>	<b>F3 (%)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>
Levadura	2.40	-	2.40	-	2.40	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>-</b>	<b>100 %</b>	<b>-</b>	<b>100 %</b>	<b>-</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación de los productos de panificación y su contenido de fibra y proteína por 100 gramos de masa.

**Cuadro 44** Formulación de galletas altas en fibra y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos de masa

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de masa)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>
Harina de trigo	52.0	1.73	6.93
Azúcar	19.0	-	-
Huevo	10.0	-	1.24
Mantequilla	9.80	-	-
Harina de semilla de aguacate	8.00	4.94	0.36
Sal	0.80	-	-
Bicarbonato de sodio	0.40	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>6.23 g</b>	<b>7.30 g</b>
	<b>Por porción de 30 g</b>	<b>1.87 g</b>	<b>2.19 g</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación de las galletas altas en fibra y su contenido de fibra y proteína por 100 gramos de masa. Así mismo se muestra el contenido de fibra y proteína por porción de 30 gramos, correspondiendo a una unidad.

**Cuadro 45** Formulación de galletas como fuente de fibra y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos de masa

<b>Fuente de fibra</b>			
<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de masa)</b>	<b>Proteína (100 g de masa)</b>
Harina de trigo	57.0	1.90 g	7.60
Azúcar	19.0	-	-
Huevo	10.0	-	1.24
Mantequilla	9.80	-	-
Harina de semilla de aguacate	3.00	1.69 g	0.14
Sal	0.80	-	-
Bicarbonato de sodio	0.40	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>3.59 g</b>	<b>8.98</b>
	<b>Por porción de 30 g</b>	<b>1.08 g</b>	<b>2.69</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación de las galletas como fuente de fibra y su contenido de fibra y proteína por 100 gramos de masa. Así mismo se muestra el contenido de fibra y proteína por porción de 30 gramos, correspondiendo a una unidad.

**Cuadro 46** Formulación de empanizado su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de empanizado)</b>	<b>Proteína (100 g de empanizado)</b>
Miga de pan	50.0	1.67 g	6.67 g
Harina de trigo	24.0	0.80 g	3.01 g
Queso parmesano	10.0	-	3.20 g
Harina de semilla de aguacate	8.00	4.49 g	0.36 g
Sal	3.00	-	-
Ajo en polvo	2.00	0.18 g	-
Tomillo	2.00	0.74 g	-
Pimienta	1.00	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>7.88 g</b>	<b>13.2 g</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación de empanizado y su contenido de fibra y proteína por 100 gramos de producto.

**Cuadro 47** Formulación de premezcla salada para snack extruido y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de premezcla)</b>	<b>Proteína (100 g de premezcla)</b>
Harina de maíz	25.0	2.17 g	2.08 g
Harina de arroz	22.0	0.11 g	1.53 g
Harina de semilla de aguacate	22.0	12.4 g	1.00 g

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de premezcla)</b>	<b>Proteína (100 g de premezcla)</b>
Almidón de maíz	19.0	-	-
Sal	3.00	-	-
Polvo para hornear	2.00	-	-
Tomillo	2.00	0.74 g	-
Orégano	2.00	0.85 g	-
Ajo en polvo	1.00	0.09 g	-
Cebolla en polvo	1.00	0.15 g	-
Sabor queso	1.00	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>16.5 g</b>	<b>4.60 g</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación de la premezcla salada para la elaboración de un snack extruido además de su contenido de fibra y proteína por 100 gramos de producto.

**Cuadro 48** Formulación de premezcla dulce para snack extruido y su contenido de fibra y proteína en porción de 100 gramos

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de premezcla)</b>	<b>Proteína (100 g de premezcla)</b>
Harina de maíz	22.0	1.91 g	8.30 g
Harina de arroz	22.0	0.11 g	6.94 g
Harina de semilla de aguacate	22.0	12.4 g	4.53 g
Almidón de maíz	19.0	-	-
Azúcar	9.00	-	-

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>	<b>Fibra (100 g de premezcla)</b>	<b>Proteína (100 g de premezcla)</b>
Canela	3.00	1.59 g	-
Polvo para hornear	2.00	-	-
Sal	1.00	-	-
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>16.0 g</b>	<b>4.35 g</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro anterior muestra la formulación de la premezcla dulce para la elaboración de un snack extruido además de su contenido de fibra y proteína por 100 gramos de producto.

### **12.3 Ecuaciones**

**Ecuación 1** Cálculo de HCN total en la muestra

$$total\ HCN = \frac{mL\ titulados * 13.5}{peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos}$$

La constante 13.5 utilizada en esta ecuación se utiliza para convertir el volumen del reactivo utilizado para la titulación (AgNO<sub>3</sub>) en una medida de concentración de HCN. Esta representa la cantidad de HCN que reacciona con un volumen unitario del reactivo, teniendo en cuenta la concentración de 0.02 M del AgNO<sub>3</sub> y el volumen titulado. Esta ecuación se empleó para determinar los valores mostrados en el Cuadro 37, utilizando los datos de peso de muestra y volumen titulado mostrados en el Cuadro 18.

(Iliya, et al., 2019)

### **Ecuación 2** % de reducción de cianuro

$$\% \text{ de reducción de cianuro} = \frac{A - B}{A} * 100\%$$

En donde:

A = concentración de HCN en la muestra control

B = concentración de HCN en la muestra con tratamiento de reducción de cianuro

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de reducción de las muestras con diferentes tratamientos de reducción de cianuro en comparación con la concentración de HCN de la muestra control. Los resultados se presentan en el Cuadro 9.

### **Ecuación 3** Cálculo de porcentaje de humedad

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso inicial de la muestra} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso inicial de la muestra}} * 100\%$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de humedad de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 38, utilizando los datos registrados en el Cuadro 19.

### **Ecuación 4** Cálculo de porcentaje de cenizas

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{\text{peso cenizas}}{\text{peso inicial de la muestra}} * 100\%$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de cenizas de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 38, utilizando los datos registrados en el Cuadro 20.

**Ecuación** Cálculo de porcentaje de nitrógeno

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{\text{volumen HCl} * \text{Normalidad HCl} * 1.4007}{\text{peso de la muestra}}$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de nitrógeno de la harina en triplicado para posteriormente calcular el porcentaje de proteínas. La normalidad del HCl empleado para la titulación corresponde a 0.1 N.

**Ecuación 6** Cálculo de porcentaje de proteína

$$\% \text{ de proteínas} = \% \text{ de nitrógeno} * \text{factor de proteína}$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de proteínas de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro38, utilizando los datos registrados en el Cuadro 21. El factor de proteína empleado corresponde al valor de 6.25.

**Ecuación 7** Cálculo de porcentaje de grasa

$$\% \text{ de grasa} = \frac{\text{peso de la grasa}}{\text{peso de la muestra}} * 100\%$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de grasa de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 38, utilizando los datos registrados en el Cuadro 22.

**Ecuación 8** Cálculo de porcentaje de fibra dietética

$$\% \text{ de fibra} = \frac{\text{peso muestra} - \text{peso residuo} - \text{peso proteína} - \text{peso cenizas}}{\text{peso muestra}} * 100\%$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de fibra dietética de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 38, utilizando los datos registrados en el Cuadro 23.

**Ecuación 9** Cálculo de porcentaje de carbohidratos

*% carbohidratos*

$$= 100\% - \%humedad - \%cenizas - \%proteína - \%grasa \\ - \%fibra$$

Esta ecuación se empleó para determinar el porcentaje de carbohidratos por diferencia de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 38.

**Ecuación 10** Cálculo de capacidad de absorción de agua

$$\text{Capacidad de absorción de agua (\%)} = \frac{w2 - w1}{w0}$$

En donde:

w1 = peso del tubo de centrífuga con la muestra

w2 = peso del tubo de centrífuga con sedimentos

w0 = peso de la muestra

(Kakar, et al., 2022)

Esta ecuación se empleó para determinar la capacidad de absorción de agua de la harina en triplicado que se presenta en el cuadro No. 39, utilizando los resultados en triplicado registrados en el Cuadro 24.

**Ecuación 11** Cálculo de capacidad de absorción de aceite

$$\text{Capacidad de retención de aceite (\%)} = \frac{w2 - w1}{w0}$$

En donde:

w1 = peso del tubo de centrífuga con la muestra

w2 = peso del tubo de centrífuga con sedimentos

w0 = peso de la muestra

(Kakar, et al., 2022)

Esta ecuación se empleó para determinar la capacidad de absorción de aceite de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 39, utilizando los resultados en triplicado registrados en el Cuadro 25.

**Ecuación 12** Cálculo de capacidad de retención de solventes

$$\text{Retención de solventes (\%)} = \frac{w2 - w1}{w1}$$

En donde:

w1 = peso del tubo de centrífuga con la muestra

w2 = peso del tubo de centrífuga con sedimentos

(Kakar, et al., 2022)

Esta ecuación se empleó para determinar la capacidad de retención de solventes de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 39, utilizando los resultados en triplicado registrados en el Cuadro 26.

**Ecuación No. 13** Cálculo de solubilidad

$$\text{solubilidad} = \frac{m_o - m_i}{m_o}$$

En donde:

m<sub>o</sub> = peso inicial de la muestra

m<sub>i</sub> = peso final de la muestra seca

(Hyacinthe, et al., 2021)

Esta ecuación se empleó para determinar la solubilidad de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 40, utilizando los resultados en triplicado registrados en el Cuadro 27.

**Ecuación 14** Cálculo de densidad

$$densidad = \frac{\textit{peso de la harina}}{\textit{volumen del recipiente}}$$

(Bian, et al., 2016)

Esta ecuación se empleó para determinar la densidad de la harina en triplicado que se presenta en el Cuadro 40, utilizando los resultados en triplicado registrados en el Cuadro 28.

**Ecuación 15** Propagación de error en sumas y restas

$$Sy = \sqrt{Sa^2 + Sb^2 + Sc^2 + \dots}$$

En donde:

Sy = incerteza de la operación de suma y/o resta

Sa, Sb, Sc = incerteza de cada variable

Esta ecuación se empleó para determinar la propagación de error para sumas y restas de todos los resultados

**Ecuación 16** Propagación de error en multiplicaciones y divisiones

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2 + \dots} * |y|$$

En donde:

$S_y$  = incerteza de la operación de multiplicación y/o división

$S_a, S_b, S_c$  = incerteza de cada variable

$a, b, c$  = valor de la variable

$|y|$  = valor absoluto del resultado de la operación

Esta ecuación se empleó para determinar la propagación de error para multiplicaciones y divisiones de todos los resultados

## 12.4 Cálculos

### **Cálculo 1** Cálculo total de HCN en las muestras de harina

$$\frac{0.20 \text{ mL } (\pm 0.002 \text{ mL}) * 13.5}{10.0 (\pm 0.00005 \text{ g})} = 0.27 (\pm 0.01 \text{ ppm})$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación HCN total en las muestras de harina utilizando los datos del cuadro No. 18. Se empleó la Ecuación 1 y los resultados se muestran en el Cuadro 37.

### **Cálculo 2** Cálculo de porcentaje de reducción de HCN total

$$\frac{3.735 (\pm 0.003 \text{ ppm}) - 1.688 (\pm 0.003 \text{ ppm})}{3.735 (\pm 0.003 \text{ ppm})} * 100\% = 54.70 (\pm 0.002 \%)$$

Este cálculo se realizó para la determinación del porcentaje de reducción de HCN total utilizando las concentraciones promedio de HCN del control y los diferentes

tratamientos de cianuro. Se empleó la Ecuación 2 y los resultados se muestran en el Cuadro 9.

**Cálculo 3** Cálculo de porcentaje de humedad

$$\frac{5.0026 (\pm 0.00005 \text{ g}) - 4.6488 (\pm 0.00005 \text{ g})}{5.0026 (\pm 0.00005 \text{ g})} * 100\% = 7.071 (\pm 0.001 \%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de humedad en las muestras de harina utilizando los datos del Cuadro 19. Se empleó la Ecuación 3 y los resultados se muestran en el Cuadro 38.

**Cálculo 4** Cálculo de porcentaje de cenizas

$$\frac{0.008 (\pm 0.00005 \text{ g})}{1.501 (\pm 0.00005 \text{ g})} * 100\% = 0.546 (\pm 0.005 \%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del % de cenizas en las muestras de harina utilizando los datos del Cuadro. 20. Se empleó la Ecuación 4 y los resultados se muestran en el Cuadro 38.

**Cálculo 5** Cálculo de porcentaje de nitrógeno

$$\frac{1.30 (\pm 0.05 \text{ mL}) * 0.10 * 1.4007}{0.2555 (\pm 0.00005 \text{ g})} = 0.71 (\pm 0.004 \%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de nitrógeno en las muestras de harina. Se empleó la Ecuación 5.

**Cálculo 6** Cálculo de porcentaje de proteínas

$$0.71 (\pm 0.004 \%) * 6.25 = 4.45 (\pm 0.02 \%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de proteínas en las muestras de harina utilizando los datos del Cuadro 21. Se empleó la Ecuación 6 y los resultados se muestran en el Cuadro 38.

**Cálculo 7** Cálculo de porcentaje de grasa

$$\frac{0.1683 (\pm 0.00005 \text{ g})}{5.0030 (\pm 0.0005 \text{ g})} * 100\% = 3.364 (\pm 0.001 \%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de grasa en las muestras de harina utilizando los datos del Cuadro 22. Se empleó la Ecuación 7 y los resultados se muestran en el Cuadro 38.

**Cálculo 8** Cálculo de porcentaje de fibra dietética

$$\frac{1.025 (\pm 0.00005 \text{ g}) - 0.021 (\pm 0.00005 \text{ g}) - 0.049 (\pm 0.00005 \text{ g}) - 0.0004 (\pm 0.00005 \text{ g})}{1.672 (\pm 0.00005 \text{ g})}$$

$$= 57.15 (\pm 0.346\%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de fibra dietética en las muestras de harina utilizando los datos del Cuadro 23. Se empleó la Ecuación 8 y los resultados se muestran en el Cuadro 38.

**Cálculo 9** Cálculo de porcentaje de carbohidratos

$$100\% - 7.072 (\pm 0.001\%) - 3.364 (\pm 0.001\%) - 4.450 (\pm 0.02\%)$$

$$- 0.810 (\pm 0.005\%) - 57.15 (\pm 0.346\%) = 27.16 (\pm 0.031\%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de carbohidratos por diferencia en las muestras de harina. Se empleó la Ecuación 9 y los resultados se muestran en el Cuadro 38.

**Cálculo 10** Cálculo de capacidad de absorción de agua

$$\frac{24.1349 (\pm 0.00005\text{g}) - 17.8767 (\pm 0.00005\text{g})}{1.0044 (\pm 0.00005\text{g})} * 100\% = 6.2308 (\pm 0.0318 \%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación de la capacidad de absorción de agua de la harina utilizando los datos del Cuadro 24. Se empleó la Ecuación 10 y los resultados se muestran en el Cuadro 39.

**Cálculo 11** Cálculo de capacidad de absorción de aceite

$$\% = \frac{14.95 (\pm 0.0001\text{g}) - 14.42 (\pm 0.0001\text{g})}{0.5004 (\pm 0.0001\text{g})} * 100\% = 105.6\% (\pm 3.531)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación de la capacidad de absorción de aceite de la harina utilizando los datos del Cuadro 25. Se empleó la Ecuación 11 y los resultados se muestran en el Cuadro 39.

**Cálculo 12** Cálculo de retención de solventes

$$\begin{aligned} \% \text{ retención sacarosa al } 5\% &= \frac{32.98 (\pm 0.0001\text{g}) - 18.83 (\pm 0.0001\text{g})}{18.83 (\pm 0.0001\text{g})} \\ &= 75.15 (\pm 0.085\%) \end{aligned}$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación de la capacidad de retención de solventes de la harina, en donde se incluye la solución de ácido láctico al 5% y la solución de carbonato de sodio al 5%. Se utilizaron los datos del Cuadro 26, se empleó la Ecuación 12 y los resultados se muestran en el Cuadro 39.

**Cálculo 13** Cálculo de porcentaje de solubilidad

$$\frac{1.0135 (\pm 0.0001 \text{ g}) - 0.8400 (\pm 0.0001\text{g})}{1.0135 (\pm 0.0001 \text{ g})} * 100\% = 17.12 (\pm 0.1406\%)$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del porcentaje de solubilidad de la harina utilizando los datos del Cuadro 27. Se empleó la Ecuación 13 y los resultados se muestran en Cuadro 40.

**Cálculo 14** Cálculo de densidad

$$densidad = \frac{6.78 (\pm 0.0001 \text{ g})}{10.0 (\pm 0.1 \text{ g})} = 0.68 (\pm 0.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})$$

Este cálculo se realizó en triplicado para la determinación del % de solubilidad de la harina utilizando los datos del Cuadro 28. Se empleó la Ecuación 14 y los resultados se muestran en el Cuadro 40.

**Cálculo 15** Cálculo de contenido de fibra en las formulaciones de alimentos

$$\frac{1.00 \text{ g de fibra}}{30.0 \text{ g porción}} * 100 = 3.33\% \text{ de fibra por porción de harina de trigo}$$

$$56.0\% \text{ de harina de trigo} * 3.33\% \text{ de fibra} * 100 = 1.73 \frac{\text{g de fibra}}{100 \text{ g de mezcla}}$$

Este cálculo se realizó para la determinación del contenido de fibra por porción en las formulaciones de pan, galletas, empanizado y snacks extruidos. Los resultados se muestran en los Cuadros 42 - 48.

**Cálculo 16** Cálculo de contenido de proteína

$$\frac{4.00 \text{ g de fibra}}{30.0 \text{ g porción}} * 100 = 13.3\% \text{ de proteína por porción de harina de trigo}$$

$$56\% \text{ de harina de trigo} * 13.3\% \text{ de proteína} * 100 = 6.93 \text{ g} \frac{\text{g de proteína}}{100 \text{ g de mezcla}}$$

Este cálculo se realizó para la determinación del contenido de fibra por porción en las formulaciones de pan, galletas, empanizado y snacks extruidos. Los resultados se muestran en los Cuadros 42 - 48.

**Cálculo No. 17** Propagación de error en sumas y restas

$$\sqrt{0.0014^2 + 0.0014^2 + 0.0300^2 + 0.0047^2 + 0.0035^2} = \pm 0.0306\%$$

Este cálculo demuestra el procedimiento que se siguió para determinar la propagación de error de los carbohidratos que se obtuvieron por diferencia. Este cálculo se realizó para todas las propagaciones de error en sumas y restas.

**Cálculo No. 18** Propagación de error en multiplicaciones y divisiones

$$\sqrt{\left(\frac{\pm 0.002 \text{ mL}}{0.200 \text{ mL}}\right)^2 + \left(\frac{\pm 0.00005 \text{ g}}{10.0 \text{ g}}\right)^2} * 0.27 \text{ ppm} = 0.270(\pm 0.003 \text{ ppm})$$

Este cálculo demuestra el procedimiento que se siguió para determinar la propagación de error de la concentración total de HCN en la muestra de harina c1. Este cálculo se realizó para todas las propagaciones de error en multiplicaciones y divisiones.

## 12.5 Imágenes

**Figura 6** Descarte de semillas dañadas y en mal estado



**Figura 7** Extracción de gasa con prensa hidráulica



**Figura 8** Remojo en agua de las fracciones de semilla de aguacate



**Figura 9** Ebullición de las fracciones de semilla de aguacate



**Figura 10** Horneado de las fracciones de semilla de aguacate



**Figura 11** Distribución de muestras en base al método de reducción de cianuro



**Figura 12** Proceso de molienda de la harina de semilla de aguacate



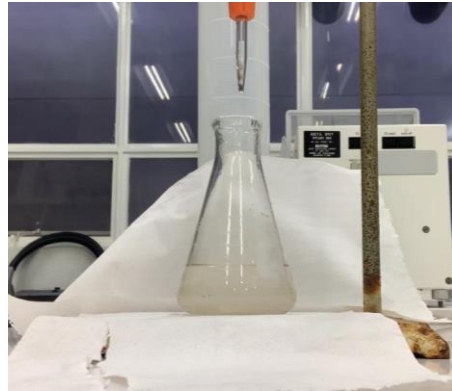
**Figura 13** Destilación de la muestra de harina de semilla de aguacate para la posterior cuantificación de HCN



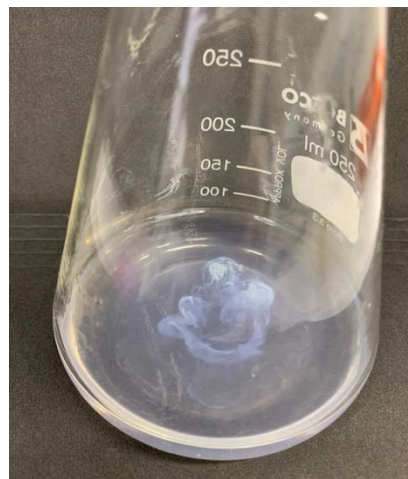
**Figura 14** Obtención de destilado para la cuantificación de HCN en la muestra de harina de semilla de aguacate



**Figura 15** Titulación alcalina para la determinación del contenido de HCN en la harina de semilla de aguacate



**Figura 16** Formación de precipitado indicador del punto final de la titulación alcalina



**Figura 17** Determinación de cenizas en la harina de semilla de aguacate



**Figura 18** Determinación de grasa en la harina de semilla de aguacate por medio del método Soxhlet



**Figura 19** Determinación del contenido de proteína mediante titulación por el método de Kjeldahl



**Figura 20** Determinación del contenido de fibra dietética de la harina de semilla de aguacate



**Figura 21** Determinación del porcentaje de absorción de agua de la harina de semilla de aguacate



**Figura 22** Secado hasta peso constante para la determinación del % de solubilidad de la harina de semilla de aguacate



**Figura 23** Análisis granulométrico de la harina de semilla de aguacate



**Figura 24** Alveolado de los productos formulados para la prueba de panificación



De izquierda a derecha: 3% , 5% y 8% de harina de semilla de aguacate.

**Figura 25** Prueba de aplicación en galletas con variación de 3, 5, 7 y 60% de harina de semilla de aguacate



**Figura 26** Prueba de aplicación en empanizado



**Figura 27** Prueba de extrusión para elaboración del snack salado



**Figura 28** Fritura del snack extruido dulce

