

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**DESARROLLO DE UN CEREAL A BASE DE HARINA DE AVENA  
ENRIQUECIDO CON EXTRACTO CONCENTRADO DE CÁSCARA DE PIÑA**

**POR:**

**ALLAN JOSÉ GONZALES ARDÓN**

**TESIS**



**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**DICIEMBRE, 2025**

**DESARROLLO DE UN CEREAL A BASE DE HARINA DE AVENA  
ENRIQUECIDO CON EXTRACTO CONCENTRADO DE CÁSCARA DE PIÑA**

**POR:**

**ALLAN JOSÉ GONZALES ARDÓN**

**MARIO JOSUE GONZALES SANTOS PhD**

**ASESOR PRINCIPAL**

**TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA  
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITUL DE  
INGENIERO EN TECNOLOGIA ALIMENTARIA**

**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**DICIEMBRE, 2005**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, A Dios, cuya presencia fue mi amparo en la incertidumbre y mi brújula en cada decisión. A Él debo la fortaleza que sostuvo mis pasos, la claridad que iluminó mis dudas y la esperanza que me permitió perseverar.

A mis padres, José Rómulo Gonzales y Xiomara Jamileth Ardón Tinoco, raíces firmes y techo seguro de mi vida. Ustedes me enseñaron la dignidad del trabajo honrado, la nobleza de la palabra cumplida y el valor de avanzar aun cuando el camino se torna cuesta arriba. Sus sacrificios silenciosos, su amor que corrige y abraza, y su fe inquebrantable en mi destino son la herencia más alta que llevo conmigo. Todo lo que soy y lo que llegue a ser descansa, en gran medida, sobre la paciencia con que me acompañaron y la ternura con que me impulsaron. Gracias por sostener mis amaneceres y por nombrar mis sueños cuando yo aún no sabía decirlos.

A mis hermanas, Vasty Zoar Gonzales Ardón y Xiomara Nohemí Gonzales Ardón, por su lealtad sin fisuras, por el aliento en los días densos y por recordarme, con su alegría, que el camino se hace más liviano cuando se camina en familia.

A mi abuela, Reina María Tinoco, por sus oraciones constantes, abrigo de mi espíritu y memoria de lo que verdaderamente importa. Y a mi abuela Alejandra Gonzales, cuya bondad, amor y ejemplo de vida siguen siendo mi mayor inspiración. Aunque ya no esté conmigo, su recuerdo vive en cada logro que alcanzo.

A mis hermanos en la fe, por la intercesión y la compañía que levantaron mi ánimo cuando el cansancio amenazaba con detenerme.

Y a mi familia extendida tíos, abuelos y primos, por su confianza que me sostuvo aun en los días inciertos, por su apoyo generoso que se manifestó en consejos prudentes, oraciones, llamadas a tiempo y una ayuda siempre discreta pero decisiva; por abrirme sus casas y su mesa, por celebrar conmigo cada pequeño avance y por abrazar con paciencia mis ausencias cuando el estudio exigía silencio.

Este trabajo es fruto compartido: lo dedico a cada uno de ustedes, con gratitud honda y amor perdurable.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer término, a Dios, amparo en la incertidumbre y brújula de mis decisiones. A Él debo la fortaleza que sostuvo mis pasos, la luz que despejó mis dudas y la esperanza que me permitió perseverar sin desfallecer.

A mis padres, José Rómulo Gonzales y Xiomara Jamileth Ardón Tinoco, raíces firmes y techo seguro de mi vida. Me enseñaron el valor del trabajo honrado, la palabra cumplida y la perseverancia. Sus sacrificios silenciosos, su amor y su fe en mí son la herencia más grande que tengo. Gracias por sostener mis amaneceres y creer en mis sueños. A mis hermanos en la fe, por su intercesión, sus palabras oportunas y su compañía A mi familia extendida tíos, abuelos y primos gracias por su confianza, su apoyo a tiempo y su comprensión. Su afecto me recuerda el origen y la honra de lo bien hecho; fueron mi red.

A mis amigos Isabella Michael Figueroa Reyes, Juanangel Vázquez Carranza, Carlos Inestroza, Shelsse Isela Bonillas, Angie Ninel Erazo, Juan Tejeda Silva y a todos mis compañeros, por su compañía leal, su ánimo constante y su apoyo en cada etapa. Su amistad y confianza también quedan honradas en esta tesis.

A mis asesores, el Ph.D. Mario Josué Gonzales Santos, la M. Sc. Katy Marcela Castellanos Reyes y el M. Sc. Francisco Enrique Sánchez Rosales, por su guía rigurosa, su paciente exigencia y la lucidez de sus observaciones. Su criterio, su disponibilidad y su acompañamiento cercano fueron decisivos para llevar esta obra a buen término.

Este logro es, en verdad, fruto compartido. Lo agradezco y lo ofrezco a cada uno de ustedes con gratitud honda y amor perdurable.

## CONTENIDO

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA.....                                                     | i    |
| AGRADECIMIENTO .....                                                 | iii  |
| Contenido.....                                                       | iv   |
| Lista De Tablas.....                                                 | vi   |
| Lista De Figuras.....                                                | vii  |
| Lista De Anexos .....                                                | viii |
| Resumen.....                                                         | ix   |
| I. Introducción .....                                                | 1    |
| II. Objetivos .....                                                  | 3    |
| 2.1    Objetivo General.....                                         | 3    |
| 2.2    Objetivos Específicos. ....                                   | 3    |
| III. Hipótesis .....                                                 | 4    |
| IV. Revisión Literaria .....                                         | 5    |
| 4.1.    Cereales. ....                                               | 5    |
| 4.2. Avena ( <i>Avena Sativa</i> L.). ....                           | 7    |
| 4.3.    Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales. ....           | 9    |
| 4.4. <i>Ananas Comosus</i> (Piña) Y Sus Subproductos. ....           | 11   |
| 4.5.    Extractos Concentrados De Cáscara De Piña. ....              | 12   |
| 4.6.    Cereales Enriquecidos Con Fibra Y Compuestos Fenólicos. .... | 14   |
| V. Materiales Y Métodos .....                                        | 17   |

|       |                                                                                                  |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1   | Lugar Donde Se Realizó La Investigación. ....                                                    | 17 |
| 5.5.  | Reactivos Utilizados. ....                                                                       | 17 |
| 5.2.  | Materias Primas. ....                                                                            | 18 |
| 5.3.  | Obtención Del Extracto Concentrado De Cáscara De Piña. ....                                      | 19 |
| 5.4.  | Formulación Y Elaboración Del Cereal De Avena Enriquecido Con Extracto De Cascaras De Piña. .... | 20 |
| 5.7.  | Análisis Fisicoquímicos. ....                                                                    | 21 |
| 5.8.  | Determinación Del Color (CIELAB) En El Cereal A Base De Avena. ....                              | 22 |
| 5.10  | Determinación De Propiedades Texturales. ....                                                    | 25 |
| 4.11. | Diseño Experimental Y Análisis Estadístico. ....                                                 | 27 |
| VI.   | Resultados Y Discusión .....                                                                     | 28 |
| 6.1   | Parámetros Fisicoquímicos Del Cereal De Avena Con Extracto De Cascaras De Piña. 28               |    |
| 6.2   | Propiedades De Color Del Cereal De Avena Con Extracto De Cáscara De Piña. 32                     |    |
| 6.3   | Propiedades De Minerales Del Cereal. ....                                                        | 35 |
| 6.4   | Propiedades Texturales Del Cereal. ....                                                          | 39 |
| VII.  | Conclusiones.....                                                                                | 42 |
| VIII. | Recomendaciones .....                                                                            | 43 |
| IX.   | Bibliografías .....                                                                              | 44 |
| X.    | Anexos.....                                                                                      | 53 |
| 10.3  | Anexo 3 Análisis Realizados Al Cereal Terminado.....                                             | 55 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Materiales, reactivos y equipos empleados en la elaboración del cereal a base de avena enriquecido con extracto concentrado de cáscara de piña. ....                                | 17 |
| <b>Tabla 2</b> Efecto de los diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña sobre las propiedades de color del cereal de avena en el espacio CIELAB ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ). .... | 32 |
| <b>Tabla 3</b> Efecto de las distintas concentraciones de extracto de cascara de piña en la cantidad de minerales del cereal de avena. ....                                                        | 35 |



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Contenido de sólidos solubles (°Brix), valores de pH y contenido de humedad del cereal de avena elaborado con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña (0 % control, 25 %, 50 % y 100 % de incorporación en la formulación).....                                                                       | 29 |
| <b>Figura 2</b> Diferencia total de color ( $\Delta E$ ), ángulo de tono ( $h^\circ$ ) y croma ( $C^*$ ) del cereal a base de harina de avena con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña. ....                                                                                                                       | 34 |
| <b>Figura 3</b> Propiedades texturales del cereal de avena elaborado con diferentes tratamientos (T1, T2, T3 y T4). Se presentan los valores de fuerza, tenacidad y rigidez/flexibilidad, obtenidos mediante análisis instrumental de textura para las formulaciones con distintos niveles de extracto concentrado de cáscara de piña. .... | 39 |

## **LISTA DE ANEXOS**

|              |                |                                                                       |    |
|--------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>10.1.</b> | <b>Anexo 1</b> | Preparación del extracto de cascara de piña.....                      | 53 |
| <b>10.2</b>  | <b>Anexo 2</b> | Elaboración del cereal de avena con extracto de cascara de piña. .... | 54 |
| <b>10.3</b>  | <b>Anexo 3</b> | Análisis realizados al cereal terminado.....                          | 55 |

**Allan José Gonzales Ardón (2025).** Desarrollo de un cereal a base de harina de avena enriquecido con extracto concentrado de cáscara de piña. Trabajo profesional supervisado por tesis de grado ingeniería en Tecnología Alimentaria, Facultad de Ciencias Tecnológicas, Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras.

## RESUMEN

La cáscara de piña es un subproducto con alto contenido de fibra y minerales que puede aprovecharse en la elaboración de alimentos de consumo frecuente. En este estudio se evaluó su incorporación en un cereal elaborado a base de harina de avena. Se reemplazó la fase líquida por extracto concentrado de cáscara de piña en cuatro niveles (0, 25, 50 y 100 %) y se determinaron cambios en °Brix, pH, humedad, color (CIELAB), contenido mineral (K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn, Cu) y características de textura. El análisis estadístico se realizó mediante un diseño completamente al azar y prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). La incorporación del extracto incrementó los sólidos solubles, pasando de  $1,0 \pm 0,58$  °Brix (0–25 %) a  $1,5 \pm 0,87$  °Brix (50 %) y  $2,5 \pm 1,44$  °Brix (100 %), mientras que el pH se mantuvo en valores alcalinos entre  $8,3 \pm 0,05$  y  $8,6 \pm 0,26$  y la humedad dentro del rango típico de cereales de baja humedad ( $4,69 \pm 0,83$  % a  $6,40 \pm 0,57$  %). En cuanto al color, un nivel intermedio de extracto aumentó la luminosidad hasta 65, mientras que concentraciones más altas produjeron oscurecimiento con valores de 53 y un desplazamiento hacia tonalidades más cálidas (incremento de  $a^*$  y  $b^*$ ). En el perfil mineral se observó un aumento de potasio, magnesio y fósforo, así como variaciones en elementos traza asociadas al extracto. En textura, la adición de cáscara de piña redujo la dureza (de 48 N a 32–35 N) y la tenacidad del producto sin alterar de forma marcada la fracturabilidad. En conjunto, los resultados muestran que el extracto de cáscara de piña permite formular un cereal con mayor aporte de sólidos solubles y minerales y una textura más suave, manteniendo pH y humedad adecuados,

lo que respalda su potencial como alimento funcional y el aprovechamiento sostenible de residuos.

**Palabras claves:** Harina de avena; Cáscara de piña; Propiedades fisicoquímicas; Minerales; Textura.

## I. INTRODUCCIÓN

Los cereales constituyen la base de la alimentación para la mayor parte de la población mundial y aportan una fracción importante de la energía, proteínas y micronutrientes consumidos diariamente. Arroz, maíz y trigo concentran cerca del 60 % de la energía alimentaria global, mientras que otros granos como la avena, cebada y centeno complementan la dieta por su versatilidad tecnológica y su aporte de compuestos bioactivos. En este contexto, el desarrollo de alimentos a base de cereales con mejor perfil nutricional y funcional se ha vuelto una prioridad frente al aumento de enfermedades crónicas no transmisibles y a la demanda de productos más saludables por parte de los consumidores. Entre los cereales, la avena (*Avena sativa*) se reconoce como un ingrediente de alto interés funcional debido a su equilibrada composición. Presenta contenidos apreciables de proteínas (con predominio de globulinas), lípidos ricos en ácidos grasos insaturados y una fracción de carbohidratos donde destacan el almidón y la fibra dietaria, con proporciones relevantes de  $\beta$ -glucanos. Estos polisacáridos solubles se relacionan con la disminución del colesterol LDL, la modulación de la respuesta glucémica y la prevención de enfermedades cardiovasculares, lo que ha llevado a organismos reguladores a respaldar declaraciones de salud asociadas a su consumo (Pizarro , Ronco , & Gotteland , 2014).

De manera paralela, la industria alimentaria enfrenta el reto de reducir la generación de residuos y el impacto ambiental derivado de sus procesos. La aplicación del enfoque de economía circular y del principio de las “3R” (reducir, reutilizar y reciclar) ha impulsado la valorización de subproductos agroindustriales, especialmente aquellos ricos en fibra, compuestos fenólicos y minerales. Diversos estudios demuestran que cáscaras, bagazos y pulpas de frutas pueden transformarse en harinas, extractos o ingredientes funcionales que mejoran el perfil nutricional de nuevos alimentos, al tiempo que disminuyen el desperdicio

y contribuyen a sistemas productivos más sostenibles (Duarte-Silva, y otros, 2024). En el caso particular de la piña (*Ananas comosus*), su procesamiento genera una cantidad considerable de residuos, ya que solo cerca de la mitad del fruto corresponde a pulpa comestible. Se ha reportado que aproximadamente 31 % del peso corresponde a la cáscara, 13 % a las hojas y 3 % al corazón, lo que implica que cerca del 50 % del volumen total se descarta durante el pelado y acondicionado. Sin embargo, estos subproductos contienen fibra dietaria, vitaminas, minerales, azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos con actividad antioxidante, lo que los convierte en una fuente prometedora de ingredientes funcionales para la formulación de alimentos enriquecidos (Santos D. , y otros, 2021).

La obtención de extractos acuosos y concentrados a partir de cáscara de piña ha demostrado ser una estrategia viable para concentrar sólidos solubles, minerales y compuestos bioactivos, los cuales pueden incorporarse en matrices farináceas o en productos de cereal. La literatura señala que el uso de harinas y extractos provenientes de subproductos frutales en formulaciones de panes, galletas o cereales expandidos mejora el contenido de fibra, polifenoles y minerales, e incluso modifica parámetros tecnológicos como el color, la textura y la capacidad de retención de agua (Santos, Lopes da Silva, & Pintado, 2022).

En este marco, la formulación de un cereal a base de harina de avena enriquecido con extracto concentrado de cáscara de piña se plantea como una alternativa que integra salud y sostenibilidad: por un lado, aprovecha un subproducto agroindustrial con potencial funcional, y por otro, fortalece el aporte de fibra y micronutrientes propios de la avena y de la cáscara de piña. Evaluar el efecto de diferentes niveles de incorporación del extracto (0, 25, 50 y 100 % de la fase líquida) sobre parámetros como °Brix, pH, humedad, color CIELAB, contenido mineral y textura permite generar evidencia técnica sobre la viabilidad de este producto, su estabilidad y su posible aceptación como cereal listo para consumo.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general.**

Desarrollar un cereal a base de harina de avena enriquecido con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña, evaluando el efecto de su incorporación sobre las propiedades fisicoquímicas, de color, minerales y texturales del producto final.

### **2.2 Objetivos específicos.**

Elaborar un cereal a base de harina de avena con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña (0, 25, 50 y 100 % de la fase líquida), estandarizando las condiciones de obtención del extracto, mezclado, formado y horneado.

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas (pH, humedad y sólidos solubles °Brix) y el color en el espacio CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$  y  $\Delta E^*$ ) del cereal elaborado con cada nivel de extracto concentrado de cáscara de piña.

Cuantificar el contenido de minerales (K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn y Cu) y evaluar las propiedades texturales (dureza, fragilidad/flexibilidad y tenacidad) del cereal, analizando estadísticamente el efecto de los niveles de extracto para identificar la formulación con el mejor perfil funcional.

### III. HIPÓTESIS

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Cambiar la cantidad de extracto de cáscara de piña en el cereal de avena (0%, 25%, 50% y 100%) no provoca cambios en los resultados de °Brix, pH, humedad, minerales ni textura; es decir, los cuatro tratamientos se comportan igual en esas mediciones.

**Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Cambiar la cantidad de extracto de cáscara de piña en el cereal de avena (0%, 25%, 50% y 100%) sí provoca cambios en al menos una de las mediciones de °Brix, pH, humedad, minerales o textura; es decir, hay diferencias entre los tratamientos.



## **IV. REVISIÓN LITERARIA**

### **4.1. Cereales.**

Los cereales son semillas de plantas herbáceas de la familia de las gramíneas, con más de 9000 variedades conocidas. Entre los más importantes globalmente se encuentran el arroz, maíz, y trigo, mientras que otros como cebada, centeno y avena tienen también importancia secundaria. Estos granos son fundamentales en la alimentación humana y animal debido a su alto contenido de nutrientes y versatilidad en usos culinarios y agrícolas.

#### **4.1.1. Importancia de los cereales en la alimentación humana.**

Los cereales constituyen la base de la alimentación humana en la mayoría de las regiones del mundo, aportando entre 50 y 60 % de la energía diaria en muchas dietas. Arroz, trigo y maíz son los granos dominantes en términos de producción y consumo, mientras que avena, cebada, centeno y otros cereales menores complementan la oferta nutricional. Desde el punto de vista de la composición, los cereales se caracterizan por un elevado contenido de carbohidratos complejos, principalmente almidón, y cantidades variables de proteína, lípidos, fibra dietética y micronutrientes como hierro, zinc, magnesio y vitaminas del complejo B. Esta combinación de energía y nutrientes los convierte en un grupo clave para la seguridad alimentaria y nutricional, especialmente en países de ingresos bajos y medios, donde son la base de la dieta diaria (Borrelli & Donatella Bianca, 2025).

Los estudios recientes sobre granos enteros han enfatizado que la forma en que se consumen los cereales (refinados versus integrales) tiene un impacto decisivo en la salud. El consumo

de cereales integrales se asocia con menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y mortalidad por todas las causas, debido a su mayor aporte de fibra dietética, antioxidantes, vitaminas y minerales biodisponibles. En los granos integrales, la fracción de salvado y germen concentra compuestos fenólicos, tocoferoles, ácidos grasos esenciales y minerales como hierro, zinc y magnesio, que se pierden parcialmente cuando el grano se refina. La evidencia epidemiológica reciente respalda la recomendación de sustituir cereales refinados por integrales como estrategia de salud pública para mejorar la calidad global de la dieta y reducir enfermedades crónicas asociadas a la alimentación (Garutti, y otros, 2022).

#### **4.1.2. Cereales para desayuno y alimentos listos para consumo.**

Los cereales listos para consumo (ready-to-eat cereals, RTEC) se han consolidado como una de las formas más populares de ingestión de cereales en el desayuno, especialmente en contextos urbanos. Estos productos se elaboran mediante procesos como extrusión, laminado y tostado, y suelen enriquecerse con vitaminas y minerales para compensar las pérdidas asociadas al procesado y mejorar su valor nutricional. Estudios recientes que caracterizan el perfil nutricional de los RTEC en mercados europeos han mostrado que muchos de estos productos aportan cantidades significativas de hierro, calcio y vitaminas del complejo B por porción, contribuyendo de forma relevante a la ingesta diaria recomendada, en particular en niños y adolescentes. Sin embargo, la misma evidencia señala que el contenido de azúcares añadidos y sodio puede ser elevado, lo que obliga a vigilar reformulaciones que mantengan los beneficios de fortificación sin agravar el riesgo de sobrepeso y enfermedades metabólicas (Electra & Vassilios, 2025).

Las tendencias en el desarrollo de cereales para desayuno se orientan actualmente hacia productos con mayor densidad nutricional, menor contenido de azúcares y perfiles de fibra y minerales más equilibrados. Revisiones recientes destacan la incorporación de granos integrales, pseudocereales y subproductos de frutas ricos en fibra y polifenoles para aumentar el contenido de compuestos bioactivos sin comprometer la aceptabilidad sensorial. De forma paralela, los fabricantes recurren a la fortificación con hierro, zinc, calcio y vitaminas

liposolubles para posicionar los cereales como vehículos de micronutrientes en poblaciones con deficiencias. Estas innovaciones responden tanto a la demanda de alimentos funcionales como a marcos regulatorios que incentivan la reformulación hacia perfiles nutricionalmente más saludables ( Boukid, y otros, 2022).

## **4.2. Avena (*Avena sativa* L.).**

### **4.2.1. Generalidades y usos de la avena.**

La avena es un cereal que ha cobrado creciente importancia en la industria alimentaria por su perfil nutricional y funcional, así como por su versatilidad tecnológica. Aunque tradicionalmente se utilizaba como forraje y en algunos productos básicos (hojuelas, harinas), en los últimos años su consumo se ha diversificado hacia bebidas vegetales, snacks, barras, productos de panificación y alimentos fermentados tipo yogur. Este interés se relaciona con la percepción de la avena como “cereal saludable”, asociada con la reducción del colesterol, el control glucémico y el aporte de fibra soluble. Además, la avena se considera un ingrediente adecuado para el desarrollo de productos destinados a consumidores con estilos de vida activos, vegetarianos o que buscan alternativas a lácteos y otros cereales (Paudel , Dhungana , Caffè , & Krishnan, 2021).

Estudios recientes también han resaltado el potencial de la avena en productos fermentados. La matriz de avena permite el crecimiento de cultivos iniciadores lácticos y probióticos, dando lugar a bebidas y “yogures” no lácteos con buena estabilidad fisicoquímica y aceptabilidad sensorial. Estas formulaciones combinan el aporte de  $\beta$ -glucanos, proteínas vegetales y compuestos fenólicos propios de la avena con los metabolitos producidos durante la fermentación (ácido láctico, compuestos aromáticos), generando alimentos con propiedades funcionales añadidas. El uso de avena en este tipo de productos se ve favorecido por su sabor suave, su textura cremosa al gelatinizar el almidón y la creciente demanda de alternativas vegetales (Alemayehu G. F., Forsido, Tola, & Amare, 2023).

#### **4.2.2. Composición nutricional de la avena.**

Desde el punto de vista nutricional, la avena se distingue de otros cereales por su mayor contenido de lípidos, proteínas de buena calidad y fibra soluble. Su fracción proteica se sitúa habitualmente entre 12 y 20 %, con predominio de globulinas, lo que la diferencia del trigo y maíz, donde dominan las prolaminas. La fracción lipídica, que oscila entre 5 y 9 %, aporta ácidos grasos mono y poliinsaturados, destacando oleico y linoleico, relacionados con efectos cardioprotectores. Además, la avena presenta una proporción relevante de fibra dietética total, con un balance entre fracción soluble e insoluble que contribuye tanto a la salud intestinal como a la modulación de la respuesta posprandial (Alemayehu G. F., Forsido, Tola, & Amare, 2023).

Revisiones recientes han demostrado que, además del macronutriente principal (almidón) y de la fibra soluble, la avena es fuente de micronutrientes como hierro, zinc, magnesio, fósforo y vitaminas del complejo B. La concentración y biodisponibilidad de estos minerales se ven influenciadas por factores como el cultivar, las condiciones de cultivo y el procesamiento (descascarado, laminado, extrusión). Ciertas tecnologías permiten reducir el contenido de fitatos y otros antinutrientes, favoreciendo la absorción de hierro y zinc, lo que posiciona a la avena como un ingrediente interesante para alimentos que buscan mejorar el aporte mineral en la dieta (Ruja, y otros, 2024).

#### **4.2.3. $\beta$ -glucanos de avena y su papel en la salud.**

Los  $\beta$ -glucanos de avena son polisacáridos de la pared celular con estructura mixta  $\beta(1\rightarrow3)/\beta(1\rightarrow4)$ , responsables de muchas de las propiedades funcionales atribuidas a este cereal. Su alta capacidad para formar soluciones viscosas en el tracto gastrointestinal se relaciona con la disminución de la absorción de colesterol y ácidos biliares, así como con la atenuación de la respuesta glucémica posprandial. Meta-análisis recientes confirman que consumos diarios de alrededor de 3 g de  $\beta$ -glucanos procedentes de avena pueden reducir de

forma significativa el colesterol LDL, contribuyendo a la prevención de enfermedades cardiovasculares en adultos con hipercolesterolemia moderada (Paudel , Dhungana , Caffè , & Krishnan, 2021).

Además del efecto hipocolesterolemizante, los  $\beta$ -glucanos de avena influyen sobre la saciedad, el control del peso corporal y la composición de la microbiota intestinal. La fermentación colónica de estos polisacáridos genera ácidos grasos de cadena corta, como acetato, propionato y butirato, que participan en la regulación del metabolismo energético y de la respuesta inflamatoria. Estos efectos son relevantes en el diseño de alimentos funcionales, ya que permiten formular productos que no sólo aportan energía y nutrientes, sino que también modulan funciones fisiológicas clave relacionadas con el síndrome metabólico (Zurbau, Noronha , Khan, Sievenpiper, & Wolever, 2021).

#### **4.3. Aprovechamiento de residuos agroindustriales.**

##### **4.3.1. Residuos de la industria alimentaria y economía circular.**

La industria alimentaria genera grandes volúmenes de residuos y subproductos en todas las etapas de la cadena, desde la producción primaria hasta el procesado y distribución. Estos flujos incluyen cáscaras, bagazos, semillas, pulpas y fracciones no comestibles que, en muchos casos, se gestionan como desechos con alto costo económico y ambiental. En el contexto de la economía circular, diversos autores señalan que estos residuos constituyen reservorios de compuestos bioactivos fibra dietética, polifenoles, pigmentos, minerales que pueden ser recuperados y reincorporados a la cadena alimentaria como ingredientes funcionales. Este enfoque reduce la presión sobre los recursos naturales y contribuye a la mitigación del cambio climático al disminuir las emisiones asociadas a la gestión de residuos (Cassani & Gomez Zavaglia, 2022).

Revisiones recientes destacan que los subproductos agroindustriales pueden contener concentraciones más altas de compuestos bioactivos que las fracciones tradicionalmente consumidas. Las cáscaras y semillas de frutas, por ejemplo, suelen concentrar polifenoles, carotenoides y minerales que no están presentes en igual magnitud en la pulpa. La valorización de estos flujos se ha propuesto mediante la producción de harinas ricas en fibra, extractos fenólicos, colorantes naturales, biopolímeros y otros ingredientes con valor añadido para alimentos, nutraceuticos y materiales biodegradables. Esta perspectiva sitúa al aprovechamiento de residuos como un eje central para reconvertir el modelo lineal de “producir-usar-desechar” hacia un sistema alimentario más regenerativo (Saini, y otros, 2025).

#### **4.3.2. Beneficios del uso de residuos agroindustriales en alimentos.**

El uso de residuos agroindustriales en alimentos presenta ventajas nutricionales, tecnológicas y ambientales. Desde el punto de vista nutricional, la inclusión de harinas o extractos obtenidos de cáscaras, bagazos o semillas puede incrementar el contenido de fibra dietética, polifenoles y minerales en productos como panes, snacks, bebidas y cereales para desayuno. Estos componentes contribuyen a mejorar el perfil antioxidante y a reducir el índice glicémico de los alimentos, además de ofrecer una vía para aumentar la densidad de micronutrientes en matrices de alto consumo (Abbasi-Parizad, y otros, 2022).

En términos tecnológicos, la incorporación de subproductos puede modificar la textura, la capacidad de retención de agua, la estabilidad oxidativa y el color de los alimentos. Se ha demostrado, por ejemplo, que el uso de pomazas de frutas en productos extruidos aumenta la absorción de agua, modifica la expansión y puede mejorar la estabilidad frente a la oxidación gracias a su contenido de compuestos fenólicos. En paralelo, desde la perspectiva ambiental, la valorización de estos residuos reduce la cantidad de desechos enviados a rellenos sanitarios, disminuye emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su degradación y genera nuevas fuentes de ingresos para la agroindustria (Soja, Combrzyński, Oniszcuk, Gancarz, & Oniszcuk, 2024).

#### **4.4. *Ananas comosus* (piña) y sus subproductos.**

##### **4.4.1. Procesamiento de piña y generación de residuos.**

La piña es una de las frutas tropicales más procesadas a nivel industrial, destinándose a la elaboración de jugos, pulpas, conservas y productos mínimamente procesados. Este procesamiento genera cantidades importantes de subproductos, que pueden representar entre 30 y 50 % del peso fresco del fruto, incluyendo cáscara, corona, corazón y pedúnculo. Diversos trabajos recientes han cuantificado que la cáscara constituye la fracción más abundante de estos residuos, seguida por el corazón y la corona; estas fracciones, aunque tradicionalmente se han destinado a alimentación animal o desecho, concentran fibra, azúcares, minerales y compuestos bioactivos con potencial de aprovechamiento en alimentos funcionales (Santos D. , y otros, 2021).

La aplicación del enfoque de biorrefinería a la cadena de la piña propone que estos residuos sean tratados como materias primas para la obtención de una amplia gama de productos de valor añadido: enzimas, fibras dietéticas, compuestos fenólicos, azúcares fermentables y biopolímeros. En países productores de piña a gran escala, como Costa Rica, se ha sugerido que la integración de procesos de biorrefinería permitiría reducir la carga ambiental asociada a la disposición de residuos, al mismo tiempo que se generan nuevos productos exportables, contribuyendo a una bioeconomía circular ( Amores Monge, y otros, 2022).

##### **4.4.2. Composición y potencial funcional de la cáscara de piña.**

La cáscara de piña se caracteriza por un elevado contenido de fibra dietética, tanto soluble como insoluble, además de azúcares residuales, minerales (potasio, calcio, magnesio, fósforo) y una fracción significativa de compuestos fenólicos. Estudios recientes han demostrado que los extractos obtenidos de la cáscara concentran flavonoides, ácidos

fenólicos y otros antioxidantes que muestran actividad captadora de radicales libres y potencial antimicrobiano. Estas propiedades hacen de la cáscara un ingrediente atractivo para la formulación de alimentos funcionales, ya sea en forma de harina, extracto concentrado o ingrediente fermentable (Paz, y otros, 2024).

Otro componente relevante en los subproductos de piña es la bromelina, un complejo enzimático proteolítico presente en cáscara, corazón y tallo. La bromelina ha sido asociada con propiedades antiinflamatorias, digestivas, antitrombóticas y antimicrobianas, lo que explica su uso en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Adicionalmente, se ha descrito que la cáscara y otros residuos de piña son fuentes de minerales y fibra fermentable con potencial prebiótico, lo que refuerza su interés como ingrediente funcional en alimentos diseñados para mejorar la salud intestinal y metabólica ( Polanía, Londoño, Ramírez, Bolívar, & Aguilar , 2023).

#### **4.5. Extractos concentrados de cáscara de piña.**

##### **4.5.1. Métodos de obtención y compuestos bioactivos.**

La obtención de extractos concentrados a partir de cáscara de piña se ha estudiado mediante diversas técnicas de extracción, que incluyen métodos convencionales (maceración sólida-líquida) y tecnologías emergentes como extracción asistida por ultrasonido, microondas, altas presiones y autohidrólisis. Estas tecnologías buscan maximizar la recuperación de compuestos bioactivos fenólicos, bromelina, carotenoides utilizando condiciones de proceso más sostenibles (menor consumo de solvente y energía). Se ha demostrado que técnicas como la extracción asistida por ultrasonido aumentan la liberación de fenoles y la actividad antioxidante de los extractos, mientras que la autohidrólisis controlada puede favorecer la liberación de azúcares fermentables y fracciones de fibra soluble ( Kaushal, Kaur, Panesar, Anal, & Chu Ky, 2023).



Los extractos concentrados de cáscara contienen mezclas complejas de compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides), fibra soluble, minerales y, dependiendo del proceso, bromelina con actividad proteolítica residual. Estos extractos han mostrado capacidad antioxidante, antimicrobiana y, en algunos casos, efectos potenciadores de la bioaccesibilidad de otros compuestos fenólicos cuando se combinan con matrices alimentarias. La estandarización de las condiciones de extracción y la caracterización detallada del perfil químico son pasos clave para su uso como ingredientes funcionales en alimentos; asimismo, se requiere establecer la estabilidad de estos compuestos durante el almacenamiento y el procesamiento térmico ( Kocakaplan, Ozkan, Kamiloglu, & Capanoglu, 2024).

#### **4.5.2. Aplicación de extractos de cáscara de piña en alimentos funcionales.**

El uso de extractos de cáscara de piña en alimentos funcionales se ha explorado en diversas matrices, incluyendo bebidas, productos cárnicos marinados, productos lácteos y formulaciones en polvo. En productos cárnicos, por ejemplo, la adición de extractos ricos en bromelina ha demostrado reducir la dureza de la carne y mejorar la jugosidad, además de aportar cierta capacidad antioxidante. En bebidas, los extractos fenólicos de cáscara pueden emplearse como fuente de antioxidantes naturales, contribuyendo a la estabilidad oxidativa y ofreciendo beneficios para la salud relacionados con la reducción del estrés oxidativo (Santos D. , y otros, 2021).

Estudios más recientes han propuesto la incorporación de extractos de cáscara y otros subproductos de piña en matrices como café con leche, snacks y productos de panificación. En bebidas tipo café, se ha observado que los extractos de corona y corazón pueden aumentar la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos durante la digestión in vitro, lo que sugiere un efecto sinérgico entre los fenoles del café y los componentes de la piña. En productos extruidos o de panificación, harinas provenientes de cáscara y otros residuos pueden utilizarse para incrementar el contenido de fibra y minerales, aunque es necesario ajustar las formulaciones para evitar efectos negativos sobre textura y aceptabilidad sensorial ( Kocakaplan, Ozkan, Kamiloglu, & Capanoglu, 2024).

## **4.6. Cereales enriquecidos con fibra y compuestos fenólicos.**

### **4.6.1. Concepto de alimento y cereales mejorados.**

En el marco de los alimentos funcionales, los cereales mejorados se conciben como matrices capaces de vehicular no sólo energía y macronutrientes, sino también compuestos bioactivos y micronutrientes esenciales. En este contexto, los cereales de desayuno extruidos y las barras a base de cereales se han utilizado como vehículos para la fortificación con hierro, zinc, calcio y vitaminas del complejo B, aprovechando su alto consumo en grupos vulnerables como niños y adolescentes. Estudios recientes muestran que muchos cereales listos para consumir que se comercializan con alegaciones de “enriquecidos con vitaminas y minerales” aportan fracciones relevantes de la ingesta diaria recomendada de hierro y calcio por porción, lo que puede contribuir a reducir deficiencias nutricionales, siempre que el producto mantenga un contenido moderado de azúcares y sodio (Parra-Murillo , y otros, 2021).

Más allá de la fortificación clásica, se ha desarrollado el concepto de cereales “mejorados” mediante la incorporación de ingredientes ricos en fibra y polifenoles, que simultáneamente aportan minerales. Subproductos de frutas, pseudocereales y semillas se han utilizado para formular extruidos, hojuelas y barras con mayor densidad de fibra dietética y polifenoles, sin descuidar el aporte de calcio, hierro, magnesio y otros elementos traza. En estos sistemas, la matriz cereal puede proteger parcialmente los compuestos fenólicos durante el procesado y el almacenamiento, mientras que los minerales se incorporan en formas más biodisponibles o estabilizadas. La combinación de fibra, polifenoles y minerales en un solo producto permite tratar problemas de baja ingesta de micronutrientes y, al mismo tiempo, aportar beneficios metabólicos adicionales (Kosicka-Gębska , Sajdakowska, Jeżewska-Zychowicz, Gębski, & Gutkowska , 2024).

#### **4.6.2. Antecedentes de cereales formulados con residuos de frutas.**

El uso de residuos de frutas en cereales y snacks a base de cereales se ha estudiado principalmente con el objetivo de incrementar la fibra y los compuestos fenólicos; sin embargo, estos subproductos también contribuyen de manera importante al contenido mineral de los alimentos. Pomazas de manzana, mango, frutas rojas y otros subproductos han demostrado enriquecer productos extruidos y barras con potasio, calcio, magnesio y, en menor medida, hierro y zinc. En extruidos de maíz enriquecidos con pomaza de manzana, por ejemplo, se ha observado un aumento significativo de la capacidad antioxidante y de la fibra dietética, junto con mejoras en algunos minerales, sin comprometer gravemente la textura cuando el nivel de sustitución se mantiene dentro de rangos moderados (Soja, Combrzyński, Oniszczyk, Gancarz, & Oniszczyk, 2024).

Otros trabajos han desarrollado cereales en hojuelas y barras utilizando harinas de avena combinadas con pulpa o harinas de residuos de mango, frutos rojos o bayas. Estas formulaciones han mostrado incrementos en el contenido de calcio, hierro y potasio cuando se incorpora fruta deshidratada o harinas de cáscaras, además de elevar la capacidad antioxidante total. En algunos casos se ha reportado que productos como barras de avena y mijo enriquecidas con polvos de frutas pueden alcanzar contenidos de calcio cercanos a 250–300 mg/100 g, lo que representa una contribución importante a la ingesta recomendada cuando se consumen como snack diario. La clave está en equilibrar la cantidad de subproducto para no afectar negativamente la textura ni la aceptabilidad sensorial, manteniendo al mismo tiempo una densidad mineral alta (Has, y otros, 2023).

Finalmente, revisiones sobre el desarrollo de cereales y snacks funcionales subrayan que la combinación de matrices de cereal con residuos de frutas es una vía prometedora para simultáneamente aumentar fibra, polifenoles y minerales. Se enfatiza que harinas de cáscaras de frutas tropicales (como mango y piña) aportan no sólo compuestos fenólicos sino también cantidades apreciables de calcio, magnesio y potasio. Al integrar estos ingredientes en cereales listos para consumo, es posible diseñar productos con un perfil nutricional más

completo, alineados con estrategias de sostenibilidad y economía circular, y con un potencial claro para la prevención de deficiencias minerales en poblaciones con consumo elevado de productos procesados (Borrelli & Donatella Bianca, 2025).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Lugar donde se realizó la investigación.

El estudio se realizó en la planta procesadora de granos y cereales, los laboratorios de la Carrera de Ingeniería en Tecnología Alimentaria, el laboratorio de Suelos y el laboratorio de ciencias de la carne de la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG), utilizando las áreas de desarrollo de productos y análisis fisicoquímico/bromatológico,

### 5.5. Reactivos utilizados.

Para los análisis se utilizaron: agua destilada/purificada, soluciones buffer patrón pH 4.0 y 7.0 (para calibración de pH-metro), reactivos de grado analítico para digestión ácida (ácido nítrico concentrado,  $\text{HNO}_3$ , y peróxido de hidrógeno,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y sales patrón de K, Ca, Mg, P, Fe, Zn y Mn para la calibración del equipo de AAS y del método colorimétrico de fósforo.

**Tabla 1** Materiales, reactivos y equipos empleados en la elaboración del cereal a base de avena enriquecido con extracto concentrado de cáscara de piña.

| Materiales y Reactivos Utilizados |                                                 |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Categoría                         | Descripción                                     |
| Materias primas                   | Cáscara de piña ( <i>Ananas comosus</i> )       |
|                                   | Harina de avena                                 |
|                                   | Agua (para extracción y mezclas)                |
| Reactivos fisicoquímicos          | Agua destilada (calibración de pH y °Brix)      |
| Reactivos para análisis mineral   | Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) para digestión |

|                                                  |                                                      |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                  | Soluciones patrón para K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn y Cu |
|                                                  | Agua desionizada                                     |
| <b>Equipos Utilizados</b>                        |                                                      |
| <b>Equipo</b>                                    | <b>Uso principal</b>                                 |
| Parrilla eléctrica                               | Calentamiento de cáscara para extracción             |
| Licuadora                                        | Trituración de la cáscara                            |
| Cernidor fino                                    | Separación de pulpa y fibras                         |
| Espátula                                         | Manipulación de mezcla                               |
| Charolas                                         | Secado y horneado                                    |
| Horno                                            | Deshidratación y horneado del cereal                 |
| Molde de lámina delgada                          | Formación del cereal                                 |
| Pesa digital                                     | Medición de ingredientes                             |
| Refractómetro                                    | Medición de °Brix                                    |
| Potenciómetro (pH-metro)                         | Medición de pH                                       |
| Horno de secado                                  | Determinación de humedad                             |
| Balanza analítica                                | Pesaje de muestras para análisis                     |
| Colorímetro                                      | Medición de parámetros CIELAB                        |
| Texturómetro                                     | Evaluación de dureza, tenacidad y fracturabilidad    |
| Equipo de digestión (Kjeldahl o bloque digestor) | Preparación de muestras minerales                    |
| Espectrofotómetro/AAS/ICP                        | Cuantificación de minerales                          |

## 5.2. Materias primas.

### 5.2.1. Harina de avena.

Se empleó harina de avena comercial (Quaker®), adquirida en el comercio local y conservada en su empaque original hasta el momento de uso. La avena se utiliza ampliamente como base en productos funcionales debido a su contenido de  $\beta$ -glucanos, así como a su aporte de minerales.

### 5.2.2. Cáscara de piña (*Ananas comosus L.*).

Las piñas frescas se adquirieron en el mercado local, seleccionando frutos sanos y sin daños visibles ni presencia de mohos. En el laboratorio se retiró la corona y se realizó el pelado manual con cuchillos de acero inoxidable, separando la cáscara de la pulpa. Las cáscaras se lavaron primero con agua potable y posteriormente con agua purificada para eliminar tierra, restos de pulpa y suciedad superficial.

### **5.3. Obtención del extracto concentrado de cáscara de piña.**

#### **5.3.1. Troceado y escaldado.**

Las cáscaras limpias se cortaron en trozos de aproximadamente 1-2 cm para aumentar el área de contacto con el agua de extracción. Luego, se sometieron a un escaldado en agua caliente a 80-90 °C durante 3-5 min. Este tratamiento tuvo tres objetivos: Para inactivar enzimas como polifenol oxidasa y peroxidasa, responsables de pardeamiento enzimático, para reducir la carga microbiana inicial de la superficie del subproducto y mejorar la transferencia de masa en etapas posteriores de secado o extracción (Shamsudin, Che Man, Ariffin, Azmi, & Mohd Ghani, 2023). Tras el escaldado, el agua se descartó y las cáscaras se enjuagaron con agua purificada para retirar sólidos solubles liberados y restos de espuma o suciedad desprendida durante el tratamiento térmico.

#### **5.3.2. Extracción acuosa en caliente y concentración.**

Las cáscaras escaldadas se colocaron en recipientes de acero inoxidable y se adicionó agua purificada en relación 1:1 (p/v) con respecto al peso húmedo de cáscara. La mezcla se calentó sobre una placa eléctrica manteniendo la temperatura en  $60 \pm 2$  °C durante 4 h, con agitación ocasional.

La elección de una temperatura moderada ( $\approx 60$  °C) y un tiempo prolongado se basó en estudios de extracción de compuestos fenólicos y antioxidantes de cáscara de piña y otros

subproductos frutales, donde se ha observado que temperaturas en el rango de 50–70 °C, combinadas con relaciones solvente sólido adecuadas, mejoran la recuperación de compuestos bioactivos y minerales sin producir degradación severa (Lourenço, y otros, 2021).

Transcurrido el tiempo de extracción, la mezcla se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se filtró primero a través de una malla metálica y luego con papel filtro Whatman N.º 1, para eliminar partículas sólidas. El filtrado se concentró por calentamiento suave a 60 °C hasta reducir aproximadamente a la mitad el volumen, con el fin de incrementar la concentración de sólidos solubles, compuestos fenólicos y minerales en el extracto. Finalmente, el extracto concentrado de cáscara de piña (ECP) se envasó en frascos ámbar y se almacenó a 4 °C hasta su utilización. La obtención de extractos concentrados a partir de subproductos de piña se alinea con la propuesta de su uso como ingredientes funcionales en alimentos, reportada en la literatura reciente (Santos D. , y otros, 2021)

#### **5.4. Formulación y elaboración del cereal de avena enriquecido con extracto de cascaras de piña.**

Para cada tratamiento, se pesaron 250 g de harina de avena y se midieron 350 mL de la mezcla líquida correspondiente (agua/extracto de cascaras de piña) según el diseño experimental. La fase líquida se añadió de manera gradual sobre la harina de avena en un recipiente, mezclando y posteriormente amasando manualmente hasta obtener una masa homogénea, de consistencia plástica, sin presencia de grumos secos. Se formaron manualmente pequeñas esferas (bolitas) de masa, de aproximadamente 1–2 cm por unidad, buscando que fueran lo más uniformes posible para asegurar un horneado homogéneo. Las unidades se colocaron sobre bandejas para hornear, dejando separación entre ellas. El horneado se llevó a cabo en un horno de convección precalentado a  $130 \pm 5$  °C durante 20 min (Aviles-Rivera, y otros, 2024).



Después del horneado, las muestras de cereal se dejaron enfriar sobre rejillas metálicas hasta alcanzar temperatura ambiente ( $\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Finalmente, se envasaron al vacío y se almacenaron a temperatura ambiente, protegidas de la luz, hasta realizar los análisis.

## **5.7. Análisis fisicoquímicos.**

### **5.7.1 Análisis de sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ).**

Para la determinación de sólidos solubles, se tomó una porción representativa de cada tratamiento, se pesaron 10 g de cereal previamente triturado y se mezclaron con 100 mL de agua destilada (relación 1:10), agitando hasta obtener una suspensión homogénea. La mezcla se filtró con papel filtro y el filtrado se utilizó como extracto para la lectura. El contenido de sólidos solubles se determinó con un refractómetro analógico KERN Optics ORA 32BA, depositando una alícuota del filtrado sobre el prisma y leyendo el valor directamente en la escala de 0–32  $^{\circ}\text{Brix}$ , considerándose este valor como indicador del contenido de sólidos solubles totales del cereal (Patel, Kumar, & Kaur, 2025).

### **5.7.2. Determinación de pH.**

El pH del cereal se determinó a partir de una suspensión 1:10 (p/v). Se mezclaron 10 g de cereal molido con 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitados, se agitaron durante 30 min a temperatura ambiente y luego se dejó reposar hasta obtener una fase líquida relativamente clara. El pH se midió con un pH-metro digital (Thermo Scientific, Orion Versa Star Pro) previamente calibrado con soluciones buffer pH 4.0 y 7.0. (Singh, Kumari, & Chauhan, 2022)

### **5.7.3. Determinación de humedad.**

El contenido de humedad se determinó siguiendo métodos tipo AOAC para productos de cereales con una balanza de humedad OHAUS MB 120: equipada con capsulas de aluminio. Se pesaron 5 g de cereal molido en cápsulas de aluminio previamente taradas y se secaron en una estufa de aire forzado a  $105 \pm 2$  °C hasta peso constante. La humedad se calculó por diferencia de peso y se expresó en porcentaje (AOAC, 2019).

#### **5.8. Determinación del color (CIELAB) en el cereal a base de avena.**

El color del cereal se evaluó instrumentalmente en el espacio CIELAB mediante las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400 equipado con iluminante estándar D65. En este sistema,  $L^*$  describe la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), mientras que  $a^*$  y  $b^*$  representan los ejes cromáticos verde-rojo y azul-amarillo, respectivamente, lo que permite una descripción objetiva del color en productos alimentarios sólidos y en polvo (Minolta). En cada tratamiento, las mediciones se realizaron en tres puntos distintos de la superficie del cereal, procurando cubrir zonas representativas y evitar áreas con defectos visibles o sombras. En cada punto se tomaron tres lecturas consecutivas, sin desplazar la muestra entre mediciones, de modo que cada tratamiento contó con nueve valores por coordenada ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ); el valor final reportado se obtuvo como el promedio de las nueve lecturas. Este procedimiento permitió reducir la variabilidad asociada a la heterogeneidad superficial propia de productos particulados y es consistente con protocolos aplicados en barras y cereales listos para consumo (Tsykhanovska, y otros, 2023).

Además de las coordenadas CIELAB básicas, se calculó el cambio total de color ( $\Delta E^*$ ) entre cada tratamiento y una muestra de referencia (por ejemplo, el tratamiento control sin extracto), según la ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

donde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  representan las diferencias entre las coordenadas de la muestra evaluada y las de la referencia. Valores altos de  $\Delta E^*$  indican diferencias de color fácilmente perceptibles, mientras que valores bajos corresponden a cambios poco notorios, lo que facilita cuantificar de forma objetiva la magnitud del cambio cromático durante el procesamiento o almacenamiento (Tobolková & Durec , 2023).

El croma o saturación ( $C^*$ ) se utilizó para describir la intensidad del color del cereal, calculada a partir de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  de cada muestra según:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Valores mayores de  $C^*$  indican colores más vivos o saturados, mientras que valores menores se asocian a tonos más apagados o cercanos al gris. En matrices farináceas y productos tipo cereal, las variaciones en  $C^*$  pueden relacionarse con la presencia de pigmentos naturales, el grado de tostado y las reacciones de pardeamiento que ocurren durante el procesamiento térmico.

El ángulo de tono ( $h^*$ ) se calculó para describir la tonalidad dominante del color en el plano  $a^*-b^*$ , utilizando la expresión:

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

Este parámetro permite ubicar el color dentro del círculo cromático: valores de  $h^*$  cercanos a  $0^\circ$  o  $360^\circ$  se relacionan con tonalidades rojizas, alrededor de  $90^\circ$  con amarillos, próximos a  $180^\circ$  con verdes y cercanos a  $270^\circ$  con azules. Todos estos parámetros juntos mediante la combinación de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  con  $\Delta E^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  nos permitieron caracterizar de forma detallada los cambios en luminosidad, saturación y tono asociados a la incorporación del extracto de cáscara de piña y a las condiciones de procesamiento del cereal

## 5.9. Determinación de minerales.

Se recolectó una muestra de cada tratamiento y se trituro en un molino hasta obtener un polvo fino y homogéneo. De cada tratamiento se pesaron 0,5 g y se colocaron en crisoles de porcelana previamente limpios y tarados. Los crisoles se introdujeron en un horno de mufla (BIOBASE) y se programó la temperatura a 500 °C durante 5 horas, hasta que las muestras adquirieron un color gris claro, indicativo de la eliminación de la mayor parte de la materia orgánica. Transcurrido este tiempo, los crisoles se dejaron enfriar a temperatura ambiente antes de proceder a la disolución de las cenizas.

Para la preparación de las soluciones de cenizas destinadas a la determinación de minerales, a cada crisol se le añadieron 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 1 % agitando suavemente hasta lograr la completa disolución del residuo mineral. La solución resultante se filtró mediante papel filtro, y el filtrado se trasladó a un matraz aforado de 50 mL, Esta solución constituía la muestra digerida para cada tratamiento.

Con las muestras ya diluidas, se realizó el análisis de hierro (Fe), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Para la determinación de fósforo (P) se utilizó un espectrofotómetro UV/Vis de alta precisión (SPECORD 210 plus), mientras que los demás minerales se cuantificaron mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS) en flama, empleando un equipo Analytik Jena novAA 800.

Para la lectura de los minerales metálicos (por ejemplo, Cu, Fe, K, Mn), a la solución de cenizas previamente disuelta se le añadió como solvente ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 1 %, preparando una dilución de trabajo en la que se mezclaron 9 mL de  $\text{HNO}_3$  al 1% con 1 mL de la solución de cenizas. Estas soluciones se envasaron en botellas de reactivo de plástico para su posterior lectura en el AAS. La concentración en la muestra se obtuvo a partir de la lectura del equipo (mg/L), y la masa de muestra, y se expresó finalmente en ppm (mg/kg).

En el caso del fósforo, este se determinó por método colorimétrico (espectrofotometría UV/Vis) mediante la reacción de molibdato de amonio en medio ácido y posterior reducción para formar el complejo “azul de molibdeno”. A una alícuota de la solución de cenizas se le

añadió la mezcla reactiva con molibdato de amonio (y ácido ascórbico como agente reductor dentro del reactivo), desarrollándose un color azul cuya intensidad es proporcional a la concentración de fósforo. La absorbancia se midió a 880 nm, longitud de onda reportada como máxima para el complejo fosfomolibdeno azul (Pratiwi et al., 2023; Wieczorek et al., 2022).

Cuando fue necesario, las muestras se diluyeron en una relación 1:5 para situar la absorbancia dentro del rango lineal de la curva de calibración; en estos casos, el cálculo final consideró la concentración leída por el equipo, el volumen de aforo (100 mL) y el factor de dilución (5), expresando los resultados en ppm (mg/kg).

Para la lectura específica de Mg y Ca, se empleó además una solución salina recomendada en el protocolo del equipo de AAS, la cual se añadió a las soluciones de muestra y a los patrones con el propósito de mantener constante la fuerza iónica del medio y favorecer la correcta atomización de estos elementos en la llama. El uso de esta solución contribuyó a estabilizar la señal de absorción y mejorar la linealidad de las curvas de calibración para Mg y Ca, minimizando posibles interferencias de la matriz del cereal. En todos los casos, la concentración final de cada mineral se calculó a partir de la lectura instrumental (mg/L), ajustada considerando el volumen de aforo y los factores de dilución aplicados, y se expresó como ppm (mg/kg de muestra).

Todas las determinaciones de minerales se realizaron por duplicado ( $n = 2$ ) por tratamiento, y los resultados se expresaron como promedio de las dos réplicas analíticas.

#### **5.10 Determinación de propiedades texturales.**

El análisis de textura del cereal se realizó en un texturómetro (TMS-Pro Texture Analyzer) equipado con una célula de compresión-corte tipo Kramer/Ottawa en formato miniatura, constituida por un cubo de cuatro paredes fijas y una placa móvil provista de tres cuchillas (“dientes”), adecuada para evaluar productos extruidos crujientes de baja humedad como

cereales listos para consumo. Este tipo de celda permite obtener curvas fuerza–deformación con múltiples eventos de fractura, a partir de las cuales se derivan parámetros mecánicos como dureza, fragilidad y tenacidad (Aussanasuwannakul, Teangpook, Treesuwan, Puntaburt, & Butsuwan, 2022).

Para cada tratamiento se realizaron 10 réplicas independientes, de forma análoga a lo reportado para extrudidos de arroz y snacks expandidos, donde se emplean múltiples repeticiones para reducir la variabilidad inherente a productos crujientes (Ménabréaz , y otros, 2021).

En cada corrida, las unidades de cereal se colocaron dentro del cubo de la célula Kramer/Ottawa formando una sola capa, evitando espacios libres excesivos y asegurando una distribución homogénea de las esferas dentro del volumen de ensayo. la placa móvil con tres cuchillas descendió en modo de compresión uniaxial hasta provocar la fractura de las muestras, registrándose en tiempo real la curva fuerza/deformación (N vs mm) mediante el software del texturómetro (Aussanasuwannakul, Teangpook, Treesuwan, Puntaburt, & Butsuwan, 2022).

A partir de cada curva fuerza–deformación se calcularon tres parámetros instrumentales: dureza (Hardness), fragilidad/flexibilidad (Brittleness/Flexibility) y tenacidad (Toughness). La dureza se definió como el pico máximo de fuerza registrado durante la primera fractura principal. La fragilidad/flexibilidad se describió a partir del patrón de fractura de la curva, considerando la distancia hasta el primer pico de ruptura y el número de picos de fuerza por encima de un umbral predeterminado, donde mayor número de picos y menor deformación al primer pico indican estructuras más frágiles y menos flexibles (Janić Hajnal, y otros, 2024). La tenacidad (Toughness) del cereal se estimó como el área bajo la curva fuerza-deformación desde el contacto inicial de la sonda hasta el punto de fractura final, considerada como una medida de la energía requerida para romper la estructura del producto (Aussanasuwannakul, Teangpook, Treesuwan, Puntaburt, & Butsuwan, 2022).

Los valores de dureza, fragilidad/flexibilidad y tenacidad obtenidos para cada réplica se exportaron desde el software del texturómetro a una hoja de cálculo para su procesamiento estadístico. Se calcularon los promedios y desviaciones estándar por tratamiento (Ménabréaz, y otros, 2021).

#### **4.11. Diseño experimental y Análisis estadístico.**

Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, definidos según el porcentaje de extracto concentrado de cáscara de piña en la fase líquida usada para hidratar la harina de avena:

- **T0 (control):** 0 % ECP y 100 % agua purificada.
- **T25:** 25 % ECP y 75 % agua purificada.
- **T50:** 50 % ECP y 50 % agua purificada.
- **T100:** 100 % ECP y 0 % agua purificada.

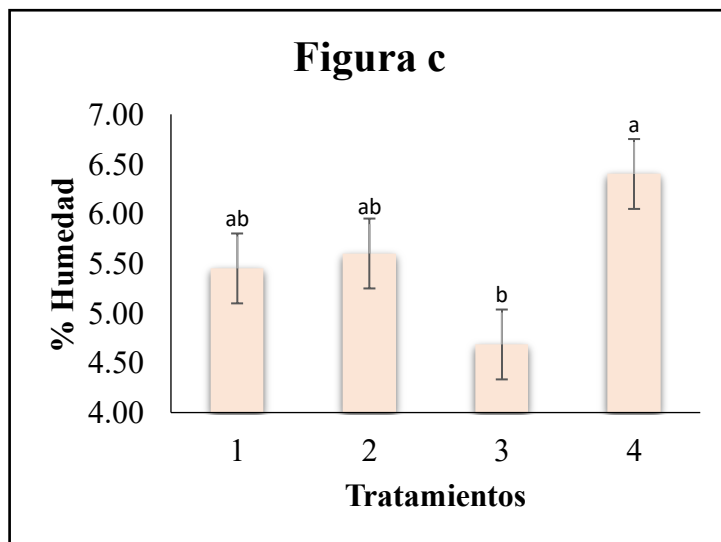
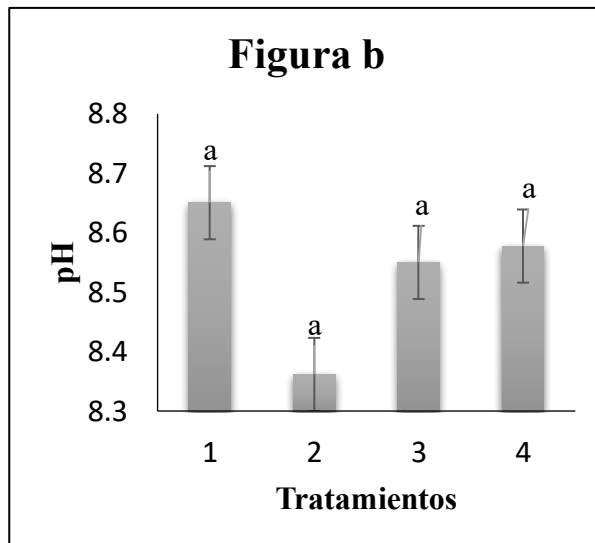
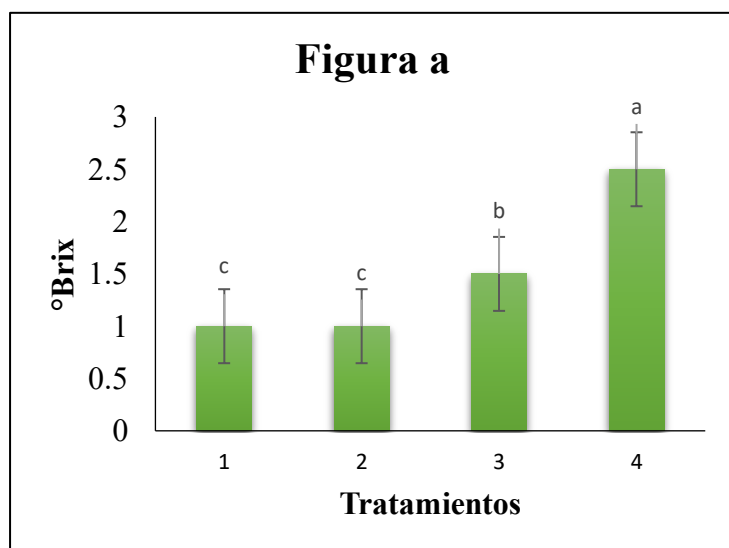
En todos los tratamientos se emplearon 250 g de harina de avena y 350 mL de la mezcla líquida correspondiente. Cada tratamiento se elaboró en tres repeticiones independientes, considerándose como variables de respuesta: *pH*, *humedad*, *color* (*L*, *a*, *b*\*) contenido de minerales (K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn) y textura.

Todos los resultados de °Brix, pH, humedad, color, minerales y textura se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar de tres repeticiones. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para evaluar el efecto del nivel de extracto de cáscara de piña (0, 25, 50 y 100 %) sobre cada variable de respuesta. Cuando se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), se utilizó la prueba de Tukey para comparar medias entre tratamientos. El procesamiento estadístico se realizó con el software estadístico Minitab.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Parámetros fisicoquímicos del cereal de avena con extracto de cascaras de piña.

#### 6.1.1 Análisis fisicoquímico del cereal de avena con extracto de cáscaras de piña, incluyendo contenido de sólidos solubles (°Brix), pH y humedad.





**Figura 1** Contenido de sólidos solubles (°Brix), valores de pH y contenido de humedad del cereal de avena elaborado con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña (0 % control, 25 %, 50 % y 100 % de incorporación en la formulación).

En la Figura “a” se observa que el contenido de sólidos solubles del cereal de avena aumentó de forma progresiva a medida que se incrementó la proporción de extracto de cáscara de piña en la formulación. Los tratamientos con 0 y 25 % presentaron valores similares ( $1,0 \pm 0,58$  °Brix), mientras que el tratamiento con 50 % alcanzó  $1,5 \pm 0,87$  °Brix y el de 100 % llegó hasta  $2,5 \pm 1,44$  °Brix. El tratamiento con 100 % de extracto mostró la mayor concentración de sólidos solubles, seguido por el 50 %, en tanto que los niveles de 0 y 25 % registraron los valores más bajos.

Este comportamiento coincide con la composición de la cáscara de piña, la cual contiene azúcares solubles, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos que se transfieren al extracto acuoso durante las etapas de escaldado, trituración y concentración. Varios autores han señalado que los subproductos de frutas, incluida la cáscara de piña, presentan una fracción importante de sólidos solubles y fibra asociada a compuestos bioactivos, por lo que su incorporación en matrices farináceas incrementa los sólidos totales disponibles en el producto final (Santos, Lopes da Silva, & Pintado, 2022).

De forma similar, en productos de cereales enriquecidos con harinas o extractos de subproductos frutales se ha descrito que el aumento de la proporción de estos ingredientes se relaciona con incrementos en los valores de °Brix y en el contenido de compuestos fenólicos, sin necesidad de adicionar sacarosa extra (Miri, Egea, Souza, & Lima, 2025). Aunque los valores de °Brix obtenidos en este estudio se mantienen en un rango bajo, el incremento observado en el tratamiento con 100 % de extracto de cáscara de piña sugiere una formulación con mayor aporte de sólidos solubles propios de la fruta, lo que podría contribuir a una ligera percepción de dulzor, sin comprometer el perfil de producto bajo en azúcar.

### **6.1.2 pH del cereal de avena con extracto de cáscara de piña.**

En la figura b los valores de pH del cereal oscilaron entre  $8,3 \pm 0,05$  y  $8,6 \pm 0,26$ , sin diferencias significativas entre tratamientos, aunque la cáscara de piña y sus extractos suelen presentar un pH ligeramente ácido debido a la presencia de ácidos orgánicos como el cítrico y el málico, la matriz de avena y el tratamiento térmico parecen ejercer un efecto amortiguador, manteniendo el producto final en un rango débilmente alcalino. Estudios recientes en cereales de desayuno elaborados a partir de mezclas de granos y leguminosas reportan valores de pH cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos después del horneado o tostado, y señalan que la incorporación de ingredientes vegetales ricos en fibra no necesariamente modifica de forma marcada este parámetro ( Ezegbe, y otros, 2025).

Desde el punto de vista tecnológico, la ausencia de diferencias significativas en el pH entre tratamientos es importante porque indica que la incorporación de extracto de cáscara de piña, incluso en su nivel máximo (100 %), no acidifica el producto ni compromete la estabilidad de otros componentes sensibles al pH. Además, mantener un pH relativamente constante facilita el diseño del proceso y el uso de condiciones homogéneas de horneado y almacenamiento, considerando que el pH constituye una de las “barreras” que, junto con el bajo contenido de humedad, contribuyen a garantizar la inocuidad y la vida útil de alimentos de baja humedad (Liu, Roopesh, Tang, Wu, & Wenqin, 2022).

### **6.1.3 Contenido de humedad del cereal de avena con extracto de cáscara de piña.**

En la Figura c se observa que el contenido de humedad del cereal de avena varió significativamente entre tratamientos ( $p < 0,05$ ), con valores que oscilaron entre  $4,69 \pm 0,83$  % en el tratamiento 3 (50 % de extracto de cáscara de piña) y  $6,40 \pm 0,57$  % en el tratamiento 4 (100 % de extracto). El tratamiento 4 presentó el mayor contenido de humedad y difirió estadísticamente del tratamiento 3, mientras que los tratamientos 1 y 2 mostraron valores intermedios, sin diferencias significativas entre sí ni respecto a los tratamientos extremos, como lo indican las letras comunes (ab). El mayor contenido de humedad observado en el tratamiento con 100 % de extracto de cáscara de piña puede atribuirse a la mayor incorporación de compuestos hidrofílicos, principalmente fibra dietética y fracciones

pécticas presentes en la cáscara de piña, las cuales poseen elevada capacidad de retención de agua. Este comportamiento es característico de matrices enriquecidas con subproductos frutales, donde la fibra actúa como una estructura capaz de retener parte del agua incluso después de procesos térmicos como el horneado. Resultados similares han sido reportados por (Santos, Lopes da Silva, & Pintado, 2022). Quienes señalan que la adición de subproductos de frutas en formulaciones de cereales y productos de panificación incrementa moderadamente la humedad final del producto.

Por otro lado, el tratamiento con 50 % de extracto presentó el menor valor de humedad, lo que sugiere que a niveles intermedios de incorporación del extracto se logra un equilibrio entre la pérdida de agua durante el horneado y la capacidad de retención hídrica de la matriz, favoreciendo una estructura más seca y crujiente. Este comportamiento resulta tecnológicamente relevante, ya que humedades más bajas se asocian con mejor textura y estabilidad en cereales listos para consumo.

A pesar de las diferencias estadísticas observadas, todos los tratamientos presentaron valores de humedad dentro del rango típico para cereales de desayuno (4–8 %), considerado adecuado para garantizar una textura crujiente y una buena estabilidad durante el almacenamiento (Ezegbe, y otros, 2025). En este tipo de productos, humedades cercanas o inferiores al 6 % suelen corresponder a actividades de agua menores a 0,85, condición que limita el crecimiento microbiano y clasifica al producto como un alimento de baja humedad con adecuada inocuidad microbiológica (Liu, Roopesh, Tang, Wu, & Wenqin, 2022).

En conjunto, los resultados indican que la incorporación de extracto de cáscara de piña influye de manera significativa en el contenido de humedad del cereal, particularmente a niveles elevados de sustitución, sin comprometer los valores tecnológicos aceptables para este tipo de producto. (Hasan, y otros, 2024) señalan que los subproductos frutales ricos en fibra y polifenoles pueden modificar la humedad y textura en productos de cereal, aportando ventajas funcionales como mayor contenido de fibra y sensación de saciedad sin afectar negativamente la estabilidad del producto cuando el proceso de secado es adecuado.

## 6.2 Propiedades de color del cereal de avena con extracto de cáscara de piña.

**Tabla 2** Efecto de los diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña sobre las propiedades de color del cereal de avena en el espacio CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

| Tratamientos | L                        | a                      | b                       |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| 0%           | 59.84±2.26 <sup>b</sup>  | 7.06±0.54 <sup>c</sup> | 26.2±1.42 <sup>d</sup>  |
| 25%          | 65.03±0.72 <sup>a</sup>  | 6.66±0.21 <sup>d</sup> | 26.47±0.68 <sup>c</sup> |
| 50%          | 53.2±1.51 <sup>c</sup>   | 7.82±0.20 <sup>a</sup> | 29.61±0.48 <sup>a</sup> |
| 100%         | 53.06±10.41 <sup>d</sup> | 7.55±0.42 <sup>b</sup> | 28.99±1.87 <sup>b</sup> |

Medias con letras en común no son significativamente diferentes, medias con letras distintas son significativamente diferentes a partir de la prueba de Tukey ( $p>0.05$ )

Las concentraciones 0%, 25%, 50% y 100% corresponden a los niveles de extracto concentrado de cáscara de piña adicionados a la formulación del cereal de avena.

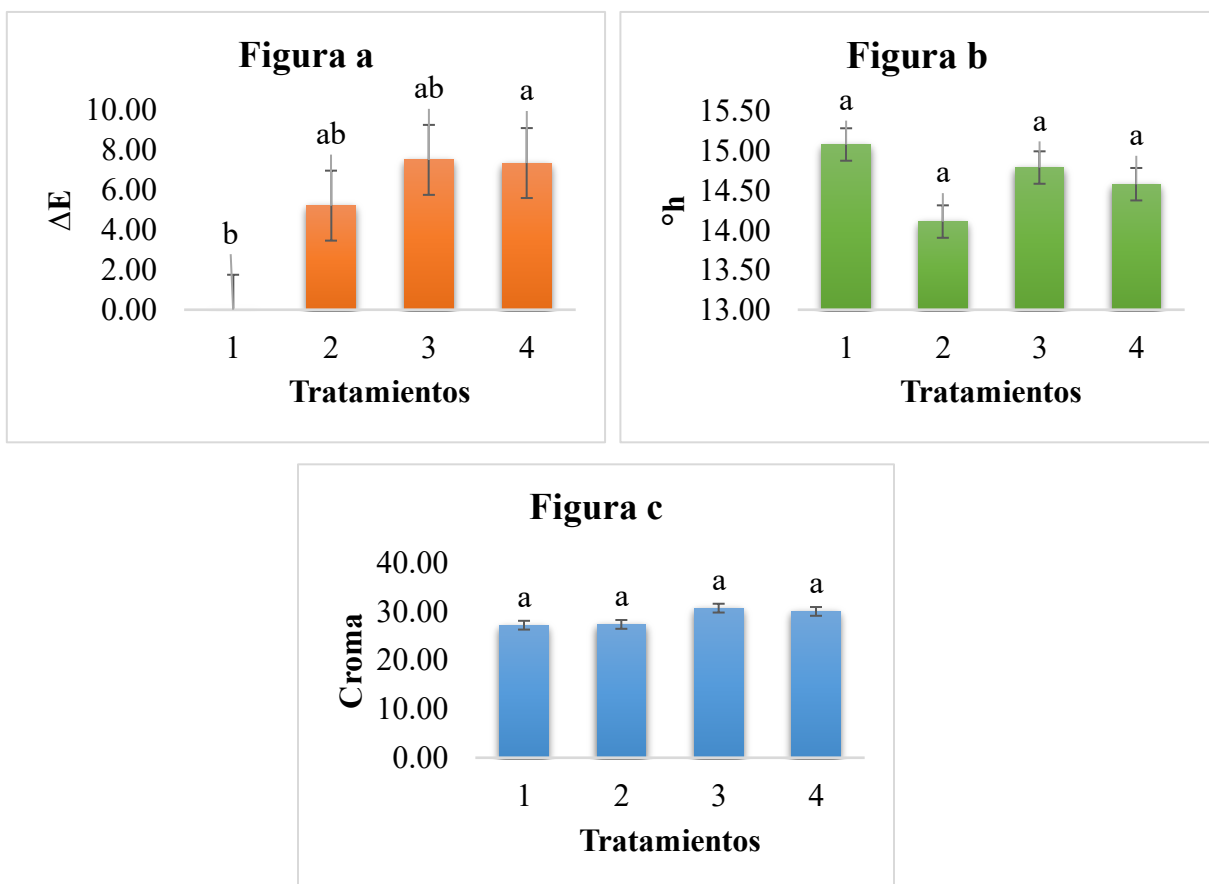
En la tabla 2 se observa que la incorporación del extracto de cáscara de piña modifica de forma significativa varios parámetros de color del cereal en el espacio CIELAB. La luminosidad ( $L^*$ ) aumenta en el tratamiento con 25 % de extracto ( $65 \pm 03$ ) respecto al control ( $59 \pm 84$ ), pero desciende en los niveles de 50 y 100 % (53). Por su parte, las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  se incrementan de manera marcada en los tratamientos con mayor proporción de extracto (50–100 %).

En la coordenada  $L^*$ , el tratamiento con 25 % de extracto presenta la mayor luminosidad y difiere significativamente de los demás (letra “a”), mientras que los tratamientos con 50 y 100 % muestran los valores más bajos (letra “d”) y el control (0 %) se ubica en un nivel intermedio (letra “b”). Este comportamiento sugiere que una incorporación moderada de

extracto aclara el cereal respecto al control, pero a concentraciones más altas el producto tiende a oscurecerse. Una posible explicación es que, a bajas dosis, los compuestos fenólicos del extracto ejercen principalmente un efecto antioxidante que limita las reacciones de pardeamiento; sin embargo, al aumentar la cantidad de extracto, se vuelve más evidente el aporte de su propio color y la mayor disponibilidad de azúcares reductores, lo que favorece la formación de pigmentos de Maillard durante el horneado y, en consecuencia, una menor luminosidad (Melini, Vescovo, Raffo, & Melini, 2024).

En la coordenada  $a^*$ , describe la transición de tonalidades verdosas (valores negativos) a rojizas (valores positivos), se observa que el tratamiento con 50 % de extracto alcanza el valor más alto y difiere significativamente del resto (letra “a”), seguido por el tratamiento con 100 % (letra “b”), mientras que el control (0 %) y el 25 % muestran los valores más bajos (letras “c” y “d”). Este patrón indica que, a medida que aumenta la concentración de extracto de cáscara de piña en la formulación, el color del cereal se desplaza hacia tonalidades más rojizas. Este incremento en  $a^*$  puede relacionarse con la presencia de polifenoles y otros compuestos oxidables propios de la cáscara de piña, que durante el secado y el horneado participan tanto en reacciones de pardeamiento enzimático como en procesos no enzimáticos (especialmente la reacción de Maillard), dando lugar a pigmentos de tipo marrón-rojizo que se suman a los pigmentos naturales del subproducto (Krajewska & Dziki, 2023 ).

En el caso de  $b^*$ , los tratamientos con mayor nivel de extracto (3 y 4) muestran los valores más altos (letras a y b), mientras que el control y el tratamiento 2 presentan  $b^*$  significativamente menores (letras d y c). Este aumento refleja un desplazamiento hacia tonos más amarillos a medida que se incrementa el extracto. La cáscara de piña contiene carotenoides, flavonoides y otros cromógenos amarillos que, al concentrarse en el extracto, aportan color y, además, pueden intensificar el tono amarillo cuando reaccionan con azúcares y proteínas durante el horneado. El aumento de la dosis de estos ingredientes eleva la componente  $b^*$  y confiere al producto un aspecto amarillo-dorado, típico de alimentos integrales y ricos en fibra. (Pacheco, y otros, 2022)



**Figura 2** Diferencia total de color ( $\Delta E$ ), ángulo de tono ( $h^\circ$ ) y croma ( $C^*$ ) del cereal a base de harina de avena con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña.

Medias con letras en común no son significativamente diferentes, medias con letras distintas son significativamente diferentes a partir de la prueba de LSD ( $p > 0.05$ )

En la figura 2 a en la gráfica de  $\Delta E$  se aprecia que los cuatro tratamientos presentan valores muy cercanos entre sí ( $\approx 13,8$ – $15,1$  unidades) y comparten la misma letra (“a”), lo que confirma que no existen diferencias significativas en la diferencia total de color entre las formulaciones. Esto indica que, aunque la incorporación de extracto de cáscara de piña modifica de manera individual los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , el cambio global del color del cereal respecto al patrón de referencia es prácticamente el mismo en todos los tratamientos.

En la figura 2 b en la gráfica del ángulo de tono ( $h^\circ$ ) se aprecia que todos los tratamientos comparten la misma letra (“a”), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en el tono dominante del cereal. Este comportamiento es coherente con lo observado en  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ : la incorporación del extracto de cáscara de piña refuerza los matices rojizos y amarillos, pero sin desplazar el color fuera de la misma región del espacio CIELAB, correspondiente a tonalidades amarillo-anaranjadas características de matrices elaboradas con avena y subproductos de piña (Mala, Piayura, & Itthivadhanapong, 2024).

En la figura 2 c en la gráfica de croma ( $C^*$ ) se confirma esta estabilidad: los valores de saturación del color son muy similares entre tratamientos y, nuevamente, no se observan diferencias significativas (todas las barras comparten la letra “a”). Desde el punto de vista físico, esto indica que la intensidad global del color, es decir, qué tan vivo o apagado se percibe se mantiene prácticamente constante, mientras que los cambios asociados al extracto se concentran en la luminosidad y en el equilibrio entre las componentes roja y amarilla. En sistemas de panificación enriquecidos con pomazas o cáscaras de frutas se ha descrito que la matriz rica en almidón y fibra actúa como un “tamiz óptico”: aunque aumente la cantidad de pigmentos fenólicos o carotenoides, la dispersión de la luz en la estructura porosa del cereal atenúa las variaciones en  $C^*$ , generando productos con saturación similar, pero con ligeras diferencias en  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  ( Andrejko, y otros, 2024).

### 6.3 Propiedades de minerales del cereal.

**Tabla 3** Efecto de las distintas concentraciones de extracto de cascara de piña en la cantidad de minerales del cereal de avena.

| Tratamientos | Cu                 | Zn                 | Fe                 | Mn                  | K                   | Mg                  | Ca                  | P                     |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0%           | 0 <sup>b</sup>     | 27.71 <sup>a</sup> | 49.91 <sup>a</sup> | 39.01 <sup>ab</sup> | 1996.5 <sup>b</sup> | 1050.5 <sup>a</sup> | 149.64 <sup>a</sup> | 2850.825 <sup>a</sup> |
| 25%          | 0 <sup>b</sup>     | 34.34 <sup>a</sup> | 58.94 <sup>a</sup> | 58.12 <sup>a</sup>  | 3765.5 <sup>a</sup> | 1323 <sup>a</sup>   | 281.25 <sup>a</sup> | 2839.875 <sup>a</sup> |
| 50%          | 14.28 <sup>a</sup> | 30.03 <sup>a</sup> | 47.66 <sup>a</sup> | 32.86 <sup>b</sup>  | 3466.5 <sup>a</sup> | 1142.5 <sup>a</sup> | 316.35 <sup>a</sup> | 2209.325 <sup>a</sup> |

|             |                   |                    |                   |                    |                    |                   |                    |                      |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| <b>100%</b> | 24.9 <sup>a</sup> | 35.53 <sup>a</sup> | 52.3 <sup>a</sup> | 28.91 <sup>b</sup> | 3236 <sup>ab</sup> | 1189 <sup>a</sup> | 382.6 <sup>a</sup> | 2595.65 <sup>a</sup> |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|

---

Las concentraciones 0%, 25%, 50% y 100% corresponden a los niveles de extracto concentrado de cáscara de piña adicionados a la formulación del cereal de avena.

En la Tabla 3 se presenta el contenido de minerales del cereal de avena elaborado con diferentes niveles de extracto concentrado de cáscara de piña, incluyendo las diferencias significativas determinadas mediante la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Los resultados se expresan en partes por millón (ppm), equivalentes a miligramos de mineral por kilogramo de cereal (mg/kg); por ejemplo, un valor de 2000 indica 2000 mg del mineral por kg de producto. En general, al incrementar el porcentaje de extracto de cáscaras de piña en la fase líquida (0, 25, 50 y 100 %), se observa una tendencia de aumento en potasio (K), magnesio (Mg) y fósforo (P), mientras que calcio (Ca), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn) muestran variaciones menos marcadas o patrones no estrictamente lineales entre tratamientos.

El comportamiento observado para K, Mg y P está estrechamente relacionado tanto con la composición mineral propia de la cáscara de piña como con la matriz base del cereal de avena utilizada en la formulación. Diversos estudios describen que los subproductos de piña (cáscara, corona y otros tejidos externos) presentan contenidos apreciables de cenizas, siendo especialmente ricos en potasio y magnesio, además de aportar cantidades relevantes de calcio y fósforo, lo que los convierte en ingredientes promisorios para la formulación de alimentos enriquecidos en minerales (Santos D. , y otros, 2021). No obstante, los resultados obtenidos en el tratamiento control (0 % de extracto) evidencian que la harina de avena por sí sola ya contribuye de manera significativa al contenido mineral del cereal, particularmente en el caso del fósforo, mineral que se encuentra naturalmente presente en los granos de avena asociado a fosfatos y compuestos estructurales del endospermo. Esto explica que, aun en ausencia del extracto de cáscara de piña, el cereal elaborado con 100 % de agua muestre valores medibles y relevantes de fósforo, confirmando el papel de la avena como una fuente basal de este mineral.



Durante la obtención del extracto de cáscara de piña, la aplicación de escaldado, extracción acuosa y posterior concentración del filtrado favoreció la solubilización y transferencia de minerales hacia la fase líquida, particularmente de aquellos presentes en formas iónicas o fácilmente dissociables, como K y Mg, y en menor medida P. En consecuencia, al sustituir progresivamente el agua por el extracto concentrado en la formulación (25–100 %), se incrementa la cantidad total de minerales incorporados por unidad de volumen, lo que se traduce en un mayor contenido mineral en el cereal final, especialmente evidente en el tratamiento con 100 % de extracto, donde se observa un efecto acumulativo del aporte mineral del extracto sobre la matriz de avena (Lau, Sabran, & Shafie, 2021).

En el caso de Ca, Fe, Zn y Mn, las variaciones entre tratamientos son más irregulares, aun cuando tanto la cáscara de piña como la avena son fuentes comprobadas de estos elementos. Una explicación es que una fracción importante de estos minerales no se encuentra “libre” en la matriz, sino fuertemente asociada a componentes estructurales de la pared celular (pectinas, hemicelulosas, celulosa) o complejada con fitatos y polifenoles propios del cereal y del extracto. Cuando los minerales están unidos a estos ligandos, su movilidad frente a una extracción acuosa moderada es mucho menor que la de cationes más libres como el K o el Mg (Brouns, 2021).

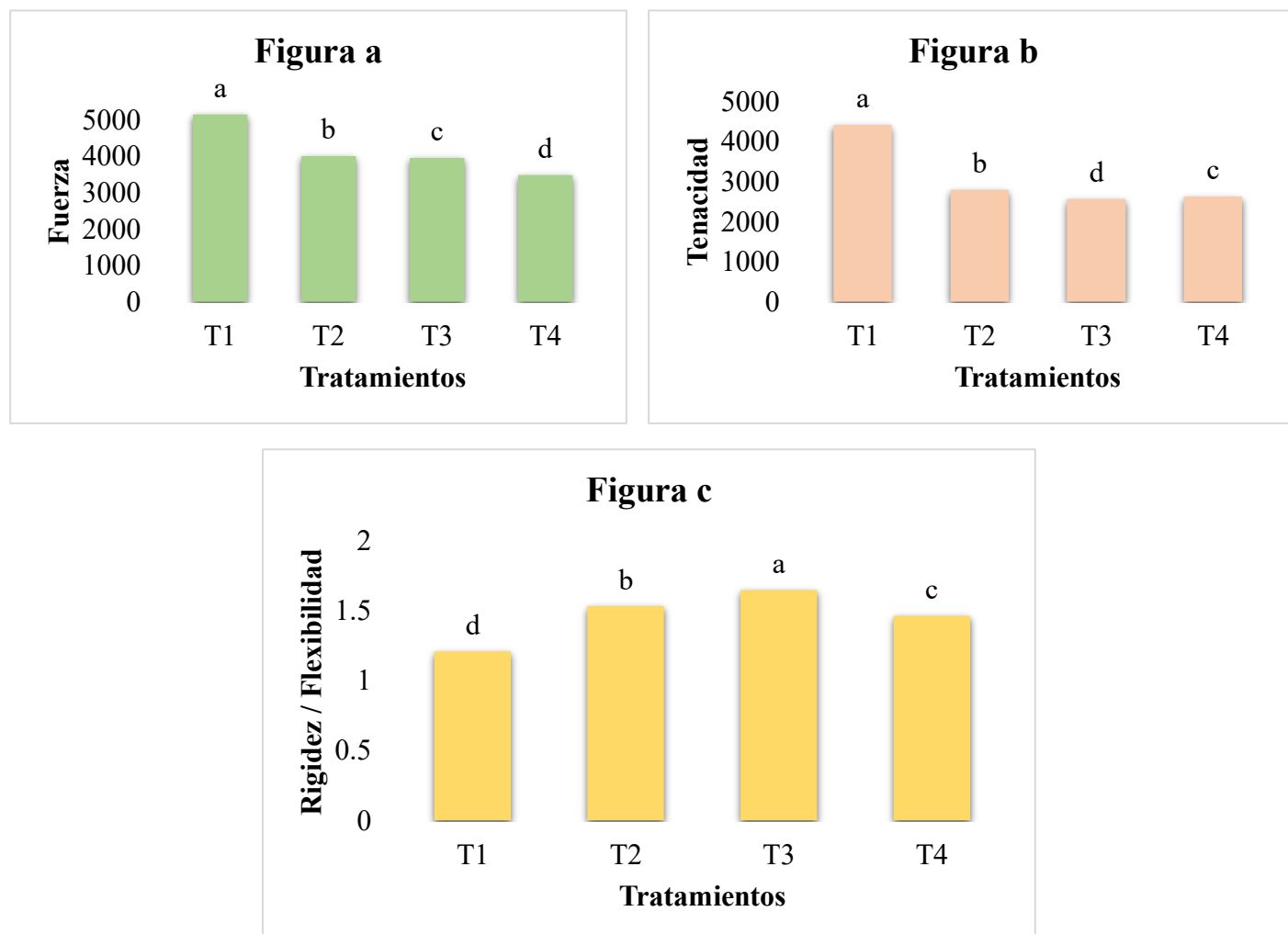
Durante la elaboración del extracto de cáscaras de piña, solo una parte de Ca, Fe, Zn y Mn pasa efectivamente a la fase líquida; otra fracción permanece retenida en los residuos sólidos de cáscara o se reincorpora formando complejos menos solubles al entrar en contacto con la harina de avena. Posteriormente, en las etapas de mezclado y horneado, estos minerales pueden seguir interactuando con los fitatos y con los compuestos fenólicos, formando sales y complejos que no modifican el contenido total (que es lo que cuantifica la digestión ácida), pero sí generan una distribución heterogénea dentro de la estructura del cereal y una mayor variabilidad entre réplicas. Como resultado, aunque el extracto de cáscara de piña aporte Ca, Fe, Zn y Mn adicionales, la respuesta en los datos de la tabla no sigue un patrón claramente proporcional al nivel de extracto, sino que se observa un comportamiento amortiguado y

menos lineal frente al gradiente de sustitución de agua por el extracto de cascara de piña (Brouns, 2021).

Los resultados indican que la sustitución progresiva de agua por extracto de cascara de piña es el factor que mejor explica las variaciones en el contenido mineral del cereal. Los elementos más solubles y móviles en medios acuosos, como el potasio y el magnesio (y, en menor medida, el fósforo), responden de manera más clara al incremento del porcentaje de extracto, mostrando aumentos consistentes en sus concentraciones. En contraste, el calcio, el hierro, el zinc y el manganeso, que suelen estar más fuertemente ligados a la matriz vegetal y a ligandos como fitatos y compuestos fenólicos, presentan variaciones menos lineales y de menor magnitud. Este patrón coincide con lo descrito para otros cereales y snacks enriquecidos con subproductos frutales, donde la incorporación de ingredientes ricos en cenizas y fibra incrementa sobre todo los minerales mayoritarios, mientras que los elementos traza (Hierro, Zinc, Cobre, etc.) muestran aumentos más moderados y fuertemente condicionados por su interacción con la estructura del cereal (Blicharz Kania, y otros, 2023).

De esta forma, el perfil mineral del cereal enriquecido no debe interpretarse únicamente como resultado de la adición del extracto de cáscara de piña, sino como el efecto combinado entre el aporte intrínseco de la conclusión avena y el aporte adicional del extracto concentrado. Esta interacción explica las diferencias observadas entre el tratamiento control (0 %) y el de máxima incorporación (100 %), y pone de manifiesto que la formulación propuesta permite potenciar el contenido de minerales esenciales sin recurrir a fortificación química. En conjunto, estos resultados respaldan el desarrollo de un cereal funcional basado en ingredientes naturales y en el aprovechamiento sostenible de subproductos agroindustriales.

#### 6.4 Propiedades texturales del cereal.



**Figura 3** Propiedades texturales del cereal de avena elaborado con diferentes tratamientos (T1, T2, T3 y T4). Se presentan los valores de fuerza, tenacidad y rigidez/flexibilidad, obtenidos mediante análisis instrumental de textura para las formulaciones con distintos niveles de extracto concentrado de cáscara de piña.

En la Figura 3a se evidencia que la fuerza máxima de fractura (dureza) fue el parámetro textural más sensible a la incorporación del extracto concentrado de cáscara de piña. El tratamiento control (T1, 0 % de extracto) presentó el valor más elevado de fuerza ( $\approx 5141$  N), diferenciándose estadísticamente del resto de tratamientos (letra “a”). A medida que se

incrementó el nivel de extracto, la fuerza requerida para fracturar el cereal disminuyó progresivamente, alcanzando el valor más bajo en el tratamiento con 100 % de extracto (T4,  $\approx 3481$  N), el cual difirió significativamente de los demás tratamientos (letra “d”). Los tratamientos intermedios (T2 y T3) mostraron valores de dureza también significativamente diferentes entre sí (letras “b” y “c”), lo que indica un efecto dosis-dependiente del extracto sobre la resistencia mecánica del cereal.

Esta reducción gradual de la dureza puede explicarse por el efecto estructural del extracto de cáscara de piña, el cual aporta fibra dietaria, pectinas y sólidos solubles que interfieren con la formación de una red continua y compacta de almidón y proteínas de la avena durante el horneado. La presencia de estas fracciones no amiláceas genera una matriz más heterogénea y porosa, con menor cohesión interna, lo que reduce la fuerza necesaria para iniciar y propagar la fractura. Comportamientos similares han sido reportados en productos de panificación y galletas enriquecidas con subproductos frutales ricos en fibra, donde la incorporación de estos ingredientes produce una disminución significativa de la dureza asociada a modificaciones en la microestructura del producto final (Urgancı & Isik, 2021).

En cuanto a la tenacidad (Figura 3b), definida como la energía total requerida para romper la muestra, se observó una tendencia concordante con la de la dureza. El tratamiento control presentó la mayor tenacidad ( $\approx 4416$  N·mm, letra “a”), mientras que los tratamientos con extracto mostraron valores significativamente menores, agrupándose en rangos inferiores ( $\approx 2572$ – $2802$  N·mm), aunque con diferencias estadísticas entre ellos (letras “b”, “c” y “d”). Estos resultados indican que la adición del extracto no solo reduce la fuerza máxima de fractura, sino también la energía global necesaria para deformar y romper la estructura del cereal, reflejando una matriz menos cohesiva y con menor resistencia mecánica total. La disminución de la tenacidad sugiere que la red estructural del cereal enriquecido ofrece menor oposición al avance de la fractura, lo cual es coherente con una matriz interrumpida por fibras y compuestos solubles que actúan como puntos de discontinuidad. Estudios previos en cereales y snacks enriquecidos con ingredientes fibrosos han demostrado que la incorporación de fibra reduce la energía requerida durante la masticación, lo que se traduce en productos más fáciles de morder y con una textura percibida como menos dura, sin

necesariamente comprometer la aceptabilidad sensorial (Srebernick, Silva Gonçalves, Ormenese, & Gomes RUFFI, 2016).

Por su parte, el parámetro rigidez/flexibilidad (Figura 3c) presentó variaciones más moderadas entre tratamientos, con valores comprendidos aproximadamente entre 1,2 y 1,64, aunque con diferencias estadísticas (letras distintas) que indican cambios sutiles en el modo de fractura. El tratamiento T3 mostró el valor más alto (letra “a”), mientras que el control presentó el valor más bajo (letra “d”), lo que sugiere que niveles intermedios de extracto pueden favorecer una estructura ligeramente más rígida antes de la fractura. No obstante, estos cambios no alteran de forma drástica el comportamiento fractural del cereal, indicando que el producto conserva un patrón de fractura típico de cereales crujientes.

Este comportamiento puede interpretarse como el resultado de una compensación entre dos efectos opuestos: por un lado, la incorporación de fibra y partículas de la cáscara de piña tiende a debilitar la matriz, promoviendo una fractura más fácil; por otro, el aumento de azúcares y sólidos solubles del extracto favorece la formación de una fase vítrea durante el horneado, la cual contribuye a mantener la rigidez superficial y la sensación de crujencia característica de los cereales listos para consumo (Altan, McCarthy, & Maskan, 2008) escriben este fenómeno en productos extruidos y horneados, donde la presencia de sólidos solubles y una baja humedad final estabilizan la estructura vítrea responsable del sonido y la percepción de crocancia.

En conjunto, los resultados indican que el extracto de cáscara de piña actúa como un modificador estructural eficaz de la matriz del cereal, reduciendo de manera significativa la dureza y la tenacidad, y modulando la rigidez sin eliminar el carácter crujiente del producto. Este efecto resulta tecnológicamente favorable, ya que permite obtener un cereal con textura más suave y menor resistencia mecánica, pero que mantiene propiedades fracturales compatibles con la aceptación del consumidor. Este patrón coincide con lo reportado en otros cereales y snacks enriquecidos con subproductos frutales, donde la adición de ingredientes ricos en fibra y compuestos solubles mejora el perfil funcional y textural sin comprometer la calidad sensorial (Blicharz Kania, y otros, 2023).

## VII. CONCLUSIONES

La incorporación de extracto concentrado de cáscara de piña con la harina de avena permitió desarrollar un cereal funcional con mejoras en sólidos solubles, perfil mineral y suavidad de textura, manteniendo pH y humedad dentro de parámetros adecuados, evidenciando un efecto significativo del extracto sobre las propiedades fisicoquímicas, de color, minerales y texturales del producto final.

Se logró elaborar satisfactoriamente el cereal en los cuatro niveles de sustitución, estandarizando adecuadamente la obtención del extracto, la porción de harina de avena, el mezclado y el horneado, sin presentar problemas de formación ni estabilidad del producto durante el proceso.

La incorporación del extracto junto con la harina de avena, incrementó los sólidos solubles (hasta 2,5 °Brix), mantuvo un pH alcalino estable (8,3–8,6) y una humedad baja típica de cereales (4,7–6,4 %). En color, el nivel intermedio (25 %) aumentó notablemente la luminosidad, mientras que mayores concentraciones generaron oscurecimiento y un aumento en los parámetros a\* y b\*, indicando tonalidades más cálidas.

La combinación de harina de avena y extracto de cáscara de piña mejoró el perfil mineral y textural del cereal, donde la avena aportó una base mineral (especialmente fósforo) y el extracto incrementó potasio y magnesio; texturalmente, la matriz de avena dio estructura y el extracto redujo dureza y tenacidad sin afectar la fracturabilidad.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Realizar evaluaciones sensoriales completas (color, textura, sabor, aroma y aceptabilidad global) del cereal elaborado con los distintos niveles de extracto, haciendo énfasis en las formulaciones al 25 y 50 %. Esto permitirá relacionar los resultados instrumentales con la percepción real del consumidor y seleccionar el nivel de extracto de cascara de piña que logre el mejor equilibrio entre calidad tecnológica y aceptación sensorial.

Estudiar la estabilidad durante el almacenamiento, evaluando periódicamente humedad, textura (dureza, tenacidad y fragilidad), color CIELAB y calidad microbiológica bajo diferentes tipos de empaque y condiciones ambientales. Con ello se podrá estimar la vida útil del producto y definir recomendaciones claras de conservación (tipo de envase, tiempo y condiciones de almacenamiento).

Profundizar en la caracterización funcional del producto, incluyendo la determinación de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y, en la medida de lo posible, la bioaccesibilidad in vitro de minerales clave. Esta información fortalecerá el respaldo científico para posicionar el cereal como alimento funcional y diferenciarlo frente a cereales convencionales del mercado.

## IX. BIBLIOGRAFÍAS

- Amores Monge, V., Goyanes , S., Ribba, L., Lopretti , M., Sandoval Barrantes, M., Camacho, M., . . . Vega Baudrit, J. R. (2022). Biomasa agroindustrial de piña para producir aplicaciones biomédicas en un contexto de economía circular en Costa Rica. doi:10.3390/polym14224864
- Andrejko, D., Blicharz-Kania, A., Krajewska, M., Sagan, A., Pastusiak, M., & Ociesa, M. (2024). Influencia del uso de pulpa de zanahoria y manzana en los cambios en las características físicas y la calidad nutricional de las galletas de avena. doi:10.3390/pr12102063
- Boukid, F., Klerks, M., Pellegrini, N., Fogliano, V., Sánchez-Siles, L., Román, S., & Vittadini, E. (2022). Tendencias actuales y emergentes en barritas de cereales: implicaciones para el desarrollo de nuevos productos. 73(5). doi:10.1080/09637486.2022.2042211
- Ezegbe, C. C., Nkhata , S., Ukpong, E. S., Ezeh, M. C., Okocha , K. S., & Pedro , B. F. (2025). Calidad fisicoquímica y sensorial de cereales para el desayuno producidos a partir de mezclas de harina de maíz y guandú. doi:10.1016/j.heliyon.2025.e42612
- Kaushal, R., Kaur, B., Panesar, P., Anal, A., & Chu Ky, S. (2023). Valorización de la cáscara de piña para la extracción de bromelina mediante técnica asistida por microondas: optimización, purificación y caracterización estructural. doi:10.1007/s13197-023-05863-4



- Kocakaplan, Z. B., Ozkan, G., Kamiloglu, S., & Capanoglu, E. (2024). Valorización de subproductos de piña (*Ananas comosus*) en bebidas de café con leche: influencia en la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos. doi:10.1007/s11130-024-01183-w
- Polanía, A., Londoño, L., Ramírez, C., Bolívar, G., & Aguilar, C. (2023). Valorización de los residuos de piña como nueva fuente de nutraceuticos y compuestos biofuncionales. *13*. doi:10.1007/s13399-022-02811-8
- Singh, A., Kumari, A., & Chauhan, A. K. (2022). Formulación y evaluación de una nueva barra de snack funcional con amaranto, avena arrollada y polvo de cáscara de plátano verde. *59*. doi:10.1007/s13197-021-05344-6
- Abbasi-Parizad, P., Scarafoni, A., Pilu, R., Scaglia, B., De Nisi, P., & Adani, F. (2022). La recuperación de residuos agroindustriales proporciona diferentes perfiles de polifenoles antiinflamatorios para aplicaciones específicas. *6*. doi:10.3389/fsufs.2022.996562
- Alemayehu, G. F., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Amare, E. (2023). Composición nutricional y fitoquímica y beneficios para la salud asociados de los granos de avena (*Avena sativa*) y productos alimenticios fermentados a base de avena. doi:doi.org/10.1155/2023/2730175
- Alemayehu, G. F., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Amare, E. (2023). Composición nutricional y fitoquímica y beneficios para la salud asociados de los granos de avena (*Avena sativa*) y los productos alimenticios fermentados a base de avena. doi:10.1155/2023/2730175
- Altan, A., McCarthy, K., & Maskan, M. (2008). Evaluación de snacks elaborados a partir de mezclas de pulpa de cebada y tomate mediante procesamiento de extrusión. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.05.014

AOAC. (2019). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Obtenido de [https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/?utm\\_source](https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/?utm_source)

Aussanasuwannakul, A., Teangpook, C., Treesuwan, W., Puntaburt, K., & Butsuwan, P. (2022). Efecto de la adición de residuos de soja (okara) en las propiedades fisicoquímicas, tribológicas, instrumentales y de textura sensorial de los bocadillos extruidos. doi:10.3390/foods11192967

Aviles-Rivera, Y. A., Valdez-Torres, J. B., Campos-Sauceda, J. P., Heredia, J. B., Hinojosa-Gómez, J., & Muy-Rangel, M. D. (2024). Diseño de un bocadillo moldeado de avena y mango con propiedades nutricionales y nutraceuticas viables. doi:10.3390/foods13213402

Blicharz Kania, A., Vasiukov, K., Sagan, A., Andrejko, D., Fifowska, W., & Domin, M. (2023). Valor nutricional, propiedades físicas y calidad sensorial de barras de cereales sin azúcar fortificadas con pulpa de uva y manzana. doi:10.3390/app131810531

Borrelli, M. G., & Donatella Bianca, M. F. (2025). Cereales y alimentos a base de cereales: caracterización nutricional y fitoquímica y tecnologías de procesamiento. doi:10.3390/foods14071234

Brouns, F. (2021). Controversia sobre el ácido fítico y los cereales integrales para la salud. (B. H. Arjmandi, Ed.) doi:10.3390/nu14010025

Cassani, L., & Gomez Zavaglia, A. (2022). Sistemas alimentarios sostenibles en las cadenas de suministro de frutas y verduras. 9. doi:10.3389/fnut.2022.829061

Crivaro, N. O., Callon , S., Lawrence , E., Viñedos, L., & Gualdieri, P. (2006). Reconocimiento de alimentos vegetales: caracterización micro-gráfica del grano de avena.

doi:10.1590/S0101-20612006000200011

Duarte-Silva, L., Sambra-Vásquez, V., Bustamante-Pezoa, A., Osses-Clavería, D., Valenzuela-Baez, R., & Ortiz-Manrique, M. (2024). Aspectos nutricionales y alimentarios en la producción de cereales para el desayuno y su efecto en la salud. *51*(3). doi:10.4067/s0717-75182024000300247

Electra, A., & Vassilios, R. (2025). El contenido nutricional de los cereales de desayuno listos para consumir en el mercado griego: un análisis transversal de productos dirigidos a niños y adultos. *15*(17). doi:doi.org/10.3390/app15179538

Fredes, C., Moya, J. L., Jara , M., & Reyes Jara, A. (Junio de 2023). Reducción, reutilización y reciclaje: Una revisión crítica del conocimiento científico sobre las pérdidas y desperdicios de alimentos en Chile. doi:10.4067/s0717-75182023000300332

Garutti, M., Nevola, G., Mazzeo, R., Cucciniello, L., Totaro , F., Bertuzzi , C. A., . . . Puglisi, F. (2022). El impacto de la composición de los cereales en la salud y las enfermedades. doi:10.3389/fnut.2022.888974

Has, I. M., Vodnar, D.-C., Bungau, A. F., Tarce, A. G., Tit, D. M., & Teleky, B.-E. (2023). Barras de snacks de saúco mejoradas: una evaluación sensorial, nutricional y reológica. doi:10.3390/foods12193544

Hasan, M. M., Islam, M. R., Haque, A. R., Kabir, M. R., Khushe, K. J., & Hasan, S. K. (2024). Tendencias y desafíos de la utilización de subproductos de frutas: perspectivas sobre la

seguridad, las características sensoriales y los beneficios de su uso para el desarrollo de alimentos saludables e innovadores: una revisión. doi:10.1186/s40643-023-00722-8

Janić Hajnal, E., Babič, J., Pezo, L., Banjac, V., Filipčev, B., Miljanić, J., . . . Jakovac-Strajn, B. (2024). Reducción de toxinas de *Alternaria* mediante el procesamiento por extrusión de harina de sorgo rojo integral. doi:10.3390/foods13020255

Kosicka-Gębska, M., Sajdakowska, M., Jeżewska-Zychowicz, M., Gębski, J., & Gutkowska, K. (2024). Percepción del consumidor sobre las innovadoras barras de frutas y cereales: perspectivas actuales y futuras. doi:10.3390/nu16111606

Krajewska, A., & Dzik, D. (2023). Enriquecimiento de galletas con frutas y sus subproductos: Composición química, propiedades antioxidantes y cambios sensoriales. doi:10.3390/molecules28104005

Lau, K., Sabran, M. R., & Shafie, S. R. (2021). Utilización de subproductos de frutas y verduras como ingredientes funcionales y alimentos. doi:10.3389/fnut.2021.661693

Liu, S., Roopesh, S., Tang, J., Wu, Q., & Wenqin. (2022). Últimos avances en alimentos con bajo contenido de humedad: seguridad microbiológica y procesamiento térmico. doi:10.1016/j.foodres.2022.111072

Lourenço, S., Campos, D., Gómez-García, R., Pintado, M., Oliveira, M., Santos, D., . . . Alves, V. (2021). Optimización de la extracción de antioxidantes naturales de la cáscara de piña y su estabilización mediante secado por aspersión. doi:10.3390/foods10061255

- Mala, T., Piayura, S., & Itthivadhanapong, P. (2024). Caracterización del polvo de cáscara de piña deshidratada ( *Ananas comosus* L.) y su aplicación como ingrediente alimentario funcional novedoso en productos de galletas. doi:10.1016/j.fufo.2024.100322
- Melini, V., Vescovo, D., Raffo, A., & Melini, F. (2024). Enriquecimiento de productos de panadería con compuestos fenólicos como estrategia inexplorada para el control de la reacción de Maillard. doi:10.3390/app14062647
- Ménabréaz , T., Dorsaz , M., Bocquel , D., Udrisard , I., Kosinska-Cagnazzo , A., & Andlauer, W. (2021). Extrudados de arroz enriquecidos con concentrado de proteína de suero y bayas de goji: propiedades físicas y accesibilidad de bioactivos. *71*. doi:10.31883/pjfns/131269
- Minolta, K. (s.f.). Chroma Meter CR-400/410: Manual de instrucciones. Obtenido de [https://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction\\_manual/color/pdf/cr-400-410\\_instruction\\_spa.pdf?utm\\_source](https://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/color/pdf/cr-400-410_instruction_spa.pdf?utm_source)
- Miri, J. C., Egea, M. B., Souza, T., & Lima, M. C. (2025). Evaluación de subproductos de la piña y harina de plátano verde y su aplicación como ingredientes para la formulación de pasteles. *45*. doi:10.5327/fst.533
- Morales Apaza, N. D., Condori Choque, A., & Torrez Torrez, D. A. (2021). Aplicación de la Economía Circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (*Ananas comosus*). *10*(1). Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892021000100004](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892021000100004)

- Pacheco, N. I., Mendes, L., Carneiro, G., Lopes, D. C., Loiola Coutinho, I. V., Pinto da Silva, A. A., . . . Leal de Sousa, T. Y. (2022). Caracterización de la piña y su cáscara como alimento funcional: revisión narrativa. doi:10.33448/rsd-v11i3.26840
- Parra-Murillo , M., Carpentier , F. D., Mora-Plazas, M., Lowery, C., Taillie , L., & Gómez, L. F. (2021). Declaraciones en cereales listos para comer: ¿Son más saludables aquellos con declaraciones? 8. doi:10.3389/fnut.2021.770489
- Patel, U., Kumar, N., & Kaur, S. (2025). Características de secado del secado con aire caliente en capa fina para la preparación de un bocadillo esponjoso enriquecido con proteínas listo para reconstituir ( khaman ). doi:10.1007/s44371-025-00145-8
- Paudel , D., Dhungana , B., Caffè , M., & Krishnan, P. (2021). doi:10.3390/foods10112591
- Paz, S., Cadena Chamorro, E., Gómez García, R., Serna, L., Aguilar, C. N., & Torres León, C. (2024). Desentrañando el potencial de valorización de los residuos de piña para obtener productos de valor añadido hacia una bioeconomía circular sostenible. doi:10.3390/su16167236
- Pizarro , S., Ronco , A. M., & Gotteland , M. (2014).  $\beta$ -glucanos: ¿qué tipos existen y cuáles son sus beneficios en la salud? 14(4). doi:10.4067/S0717-75182014000400014
- Preciado Saldaña, A., Ruiz Canizales, J., Villegas Ochoa, M. A., Domínguez Ávila, J. A., & González Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/813/81373798002/81373798002.pdf>

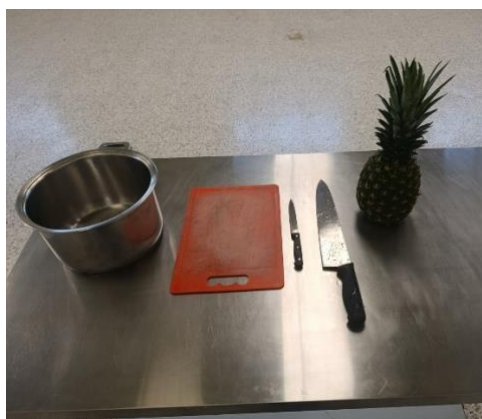
- Ruja, A., Cozma, A., Cozma, B., Horablaga, N. M., Dinulescu, C., Alexa, E., . . . Imbrea, I. M. (2024). Perfiles nutricionales, fitoquímicos y reológicos de diferentes variedades de avena y su potencial en la industria harinera. doi:10.3390/agronomy14071438
- Saini, R. K., Khan, M. I., Kumar, V., Shang, X., Lee, J.-H., & Ko, E.-Y. (2025). Compuestos bioactivos de subproductos agroindustriales: tendencias actuales, recuperación y posible utilización. doi:10.3390/antiox14060650
- Santos, D., Lopes da Silva, J., & Pintado, M. (2022). Harinas de subproductos de frutas y verduras como ingredientes: Una revisión del proceso de producción, los beneficios para la salud y las funcionalidades tecnológicas. doi:10.1016/j.lwt.2021.112707
- Santos, D., Martins, C. F., Amaral, R. A., Brito, L., Saraiva, J. A., Vicente, A. A., & Martins, M. M. (2021). Valorización de subproductos de la piña ( *Ananas comosus* L.): nuevos bioingredientes para alimentos funcionales. doi:10.3390/molecules26113216
- Santos, D., Martins, C., Amaral Amaral, R., Brito, L., Saraiva, J., Vicente, A., & Moldão Martins, M. (2021). Pineapple (*Ananas comosus* L.) By-Products Valorization: Novel Bio Ingredients for Functional Foods. doi:10.3390/molecules26113216
- Shamsudin, R., Che Man, H., Ariffin, S., Azmi, N. S., & Mohd Ghani, S. A. (2023). Cinética de los cambios de color durante el pretratamiento de escaldado de la variedad de piña (*Ananas comosus*) 'MD2'. doi:10.47836/pjtas.46.4.13
- Soja, J., Combrzyński, M., Oniszczyk, T., Gancarz, M., & Oniszczyk, A. (2024). Aspectos de extrusión-cocción y características físicas de pellets de snacks con adición de orujo vegetal seleccionado. doi:10.3390/app14198754

- Srebernich, S. M., Silva Gonçalves, G. M., Ormenese, R., & Gomes RUFFI, C. R. (2016). Características físico-químicas, sensoriales y nutricionales de barras de cereales con adición de goma arábica, inulina y sorbitol. doi:10.1590/1678-457X.05416
- Tobolková, B., & Durec, J. (2023). Descriptores de color para la discriminación de alternativas de leche de origen vegetal. doi:10.1007/s13197-023-05773-5
- Tsykhanovska, I., Lazarieva, T., Stabnikova, O., Kupriyanov, O., Litvin, O., & Yevlash, V. (2023). Beneficios potenciales de las barras energéticas antianémicas funcionales. *12*(4). doi:10.24263/2304-974X-2023-12-4-7
- Urgancı, U., & Isik, F. (2021). Características de calidad de las galletas fortificadas con cáscara de granada. doi:10.24323/académico-gida.927462
- Zurbau, A., Noronha, J. C., Khan, T. A., Sievenpiper, J. L., & Wolever, T. M. (2021). El efecto del  $\beta$ -glucano de avena en las respuestas posprandiales de glucosa e insulina en sangre: una revisión sistemática y un metaanálisis. doi:10.1038/s41430-021-00875-9



## X. ANEXOS

### 10.1. Anexo 1 Preparación del extracto de cascara de piña.



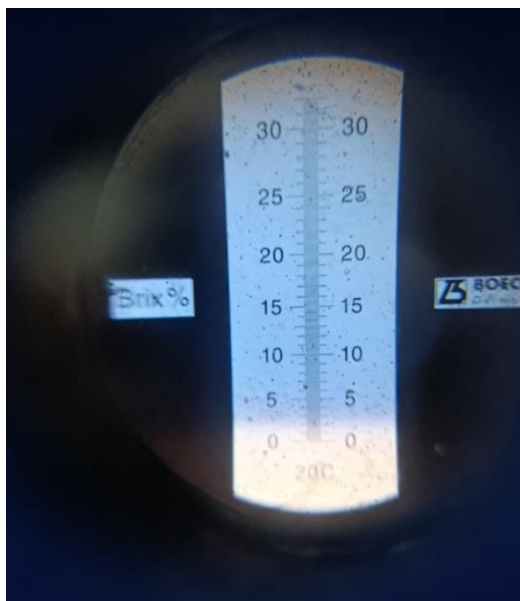


## 10.2 Anexo 2 Elaboración del cereal de avena con extracto de cascaras de piña.

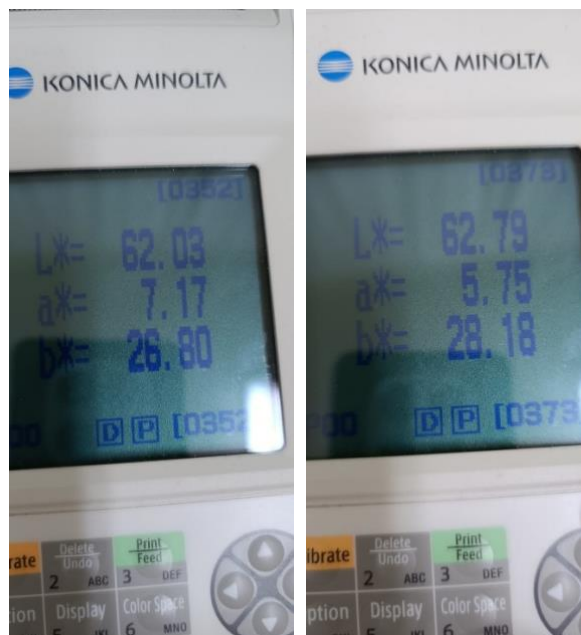


### 10.3 Anexo 3 Análisis realizados al cereal terminado.

#### Fisicoquímicos.



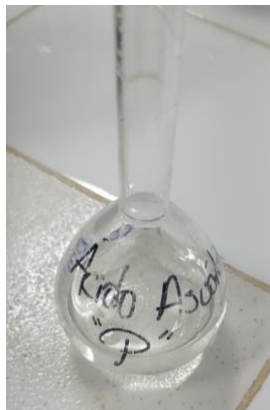
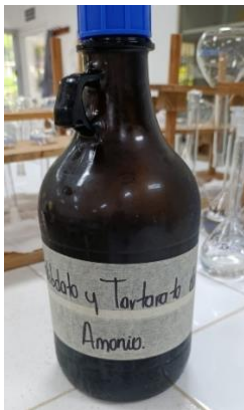
## Color.

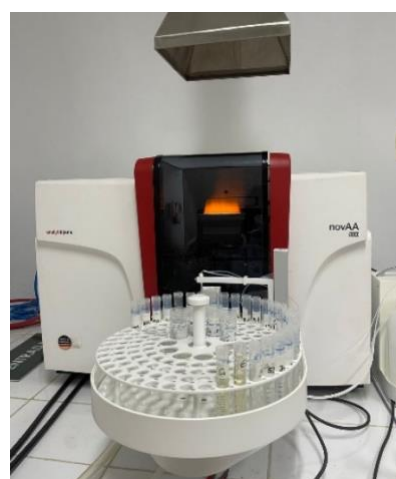
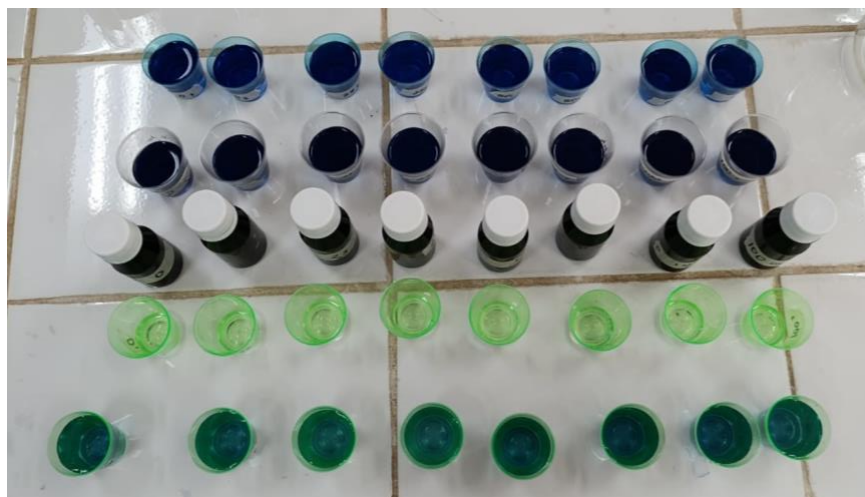


## Minerales.









## Textura.

