

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE PSYLLIUM Y PECTINA DE ALTO METOXILO SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y FÍSICO QUÍMICAS DE SNACKS TIPO EXPANDIDOS A PARTIR DE HARINA HIPERPROTEICA DE QUINUA Y HARINA DE ARROZ



Universidad
del Cauca

LICED PILLIMUE IDROBO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2023

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE PSYLLIUM Y PECTINA DE ALTO METOXILO SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y FÍSICO QUÍMICAS DE SNACKS TIPO EXPANDIDOS A PARTIR DE HARINA HIPERPROTEICA DE QUINUA Y HARINA DE ARROZ

LICED PILLIMUE IDROBO

Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para obtener el título de Ingeniera Agroindustrial

Directores

Ph. D. JHON EDINSON NIETO CALVACHE

Mg. JESÚS EDUARDO BRAVO GÓMEZ

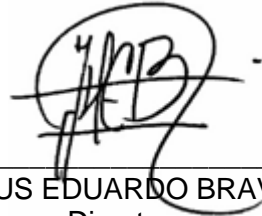
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2023

Nota de aceptación

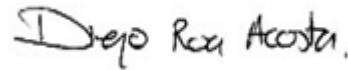
Los directores y los jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autora y lo encuentran satisfactorio.



JHON EDINSON NIETO
Director



JESUS EDUARDO BRAVO
Director



DIEGO FERNANDO ROA
Presidente del Jurado



JAIME DANIEL BUSTOS
Jurado

Popayán, 4 de abril de 2023

RESUMEN

La fibra dietaria es considerada como un factor relevante al hablar de una nutrición saludable, dados los efectos positivos como reductor del colesterol y glucosa en la sangre, además de su capacidad laxante reduciendo los problemas digestivos. a pesar de que la información nutricional referente a la fibra es amplia, el suministro de este tipo de productos es deficiente en los países en proceso de desarrollo. La empresa Seguridad Alimentaria de Occidente, ha venido desarrollando productos ricos en proteína vegetal de alta calidad, para satisfacer la demanda de un amplio sector del mercado que es consciente de la importancia de una buena nutrición y demanda este tipo de productos, desarrollando una harina híper proteica a base de quinua con un porcentaje de proteína cercano al 30%, con la cual se espera producir una amplia gama de productos como snacks y otros. El presente trabajo analiza el efecto de la incorporación de dos tipos de fibra dietaria, psyllium y pectina de alto metoxilo sobre las propiedades texturales, funcionales y sensoriales de los snacks basados en harina híper proteica, con el fin de determinar los porcentajes adecuados de inclusión de las fibras, que permitan obtener un producto de buena calidad sensorial y nutricional, incluyendo fases como el procesamiento de los snacks, el diseño experimental, la preparación de extractos para la determinación de la capacidad antioxidante, el método FRAP, ABTS, DPPH, los compuestos fenólicos, la determinación de las propiedades físicas en donde se incluye el porcentaje de expansión, dureza y crocancia, densidad aparente, análisis de la actividad del agua, humedad y el análisis estadístico. Entre los resultados fue posible obtener los análisis individuales para cada parámetro y en simultáneo la explicación de las correlaciones entre estos como en el caso de la humedad, el índice IAA e ISA en relación con la dureza y la crocancia de los snacks. A su vez se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los métodos de capacidad antioxidante entre el control (snack de harina de quinua y harina de arroz) y aquellos con suministro de pectina y psyllium por separado, haciendo interesante el posible comportamiento de los parámetros en un snack con ambos aditivos en simultáneo. Finalmente, es posible concluir que la creación de snack de tipo expandidos por medio de harina hiperproteica de quinua y harina de arroz son una alternativa saludable y eficaz capaz de reemplazar los snacks tradicionales. Adicionalmente, se concluyó que a pesar de que los tratamientos con pectina y psyllium son capaces de alterar los niveles de capacidad antioxidante, está comprobado que a nivel de consumo estos aditivos son capaces de mejorar la digestibilidad en el organismo posterior al consumo y factores físicos como la actividad del agua y los índices de absorción y solubilidad del agua.

Palabras clave: *Psyllium*, Pectina, Antioxidante, Reología, Textura, Vida útil.

ABSTRACT

Dietary fiber is considered a relevant factor when talking about healthy nutrition, given its positive effects as a cholesterol and blood glucose reducer, as well as its laxative capacity, reducing digestive problems. Despite the fact that nutritional information regarding fiber is extensive, the supply of this type of product is deficient in developing countries. The company Seguridad Alimentaria de Occidente has been developing products rich in high-quality vegetable protein, to satisfy the demand of a broad sector of the market that is aware of the importance of good nutrition and demands this type of product, developing a hyper quinoa-based protein with a protein percentage close to 30%, with which it is expected to produce a wide range of products such as snacks and others. The present work analyzes the effect of the incorporation of two types of dietary fiber, psyllium and high methoxyl pectin, on the textural, functional and sensory properties of snacks based on high protein flour, in order to determine the appropriate percentages of inclusion of fibers, which allow obtaining a product of good sensory and nutritional quality, including phases such as snack processing, experimental design, preparation of extracts for determining antioxidant capacity, the FRAP method, ABTS, DPPH, the compounds phenolics, the determination of the physical properties which includes the percentage of expansion, hardness and crispness, apparent density, analysis of water activity, humidity and statistical analysis. Among the results it was possible to obtain the individual analyzes for each parameter and simultaneously the explanation of the correlations between these as in the case of humidity, the IAA and ISA index in relation to the hardness and crispness of the snacks. In turn, significant differences were found in most of the antioxidant capacity methods between the control (quinoa flour and rice flour snack) and those with separate pectin and psyllium supply, making the possible behavior of the parameters interesting in a snack with both additives simultaneously. Finally, it is possible to conclude that the creation of expanded type snacks by means of hyperproteic quinoa flour and rice flour are a healthy and effective alternative capable of replacing traditional snacks. Additionally, it was concluded that despite the fact that treatments with pectin and psyllium are capable of altering the levels of antioxidant capacity, it has been proven that at the consumption level these additives are capable of improving digestibility in the body after consumption and physical factors such as water activity and water absorption and solubility rates.

Keywords: Plantago, Pectin, Antioxidant Capacity, Rheology, Organoleptic characteristics.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO REFERENCIAL	14
1.1 LOCALIZACIÓN	14
1.2 MARCO TEÓRICO	14
1.2.1 Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd)	14
1.2.2 Harina hiperproteica de quinoa o quinoa	14
1.2.3 Harina de arroz	14
1.2.4 Psyllium	14
1.2.5 Pectina	15
1.2.6 Snack	15
1.2.7 Extrusión	15
1.2.8 Fibra dietaria	16
1.2.9 Capacidad antioxidante	16
1.2.10 Poder reductor FRAP	16
1.2.11 Método DPPH y ABTS•+	16
1.2.12 Compuestos fenólicos	17
1.2.13 Polifenoles	17
1.2.14 Densidad aparente	17
1.2.15 Índice de Absorción en Agua (IAA)	17
1.2.16 Índice de Solubilidad en Agua (ISA)	17
1.2.17 Humedad	18

	pág.
1.3 MARCO HISTÓRICO	18
2. METODOLOGÍA	22
2.1 MATERIAS PRIMAS Y PROCESAMIENTO DE SNACKS	22
2.1.1. Snacks a partir de mezcla de harina hiperproteica de quinua, harina de arroz, psyllium y pectina	22
2.2 DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	22
2.2.1 Preparación de extractos	23
2.2.2 Poder reductor método FRAP	23
2.2.3 Método ABTS•+	23
2.2.4 Método de DPPH	23
2.2.5 Compuestos fenólicos	24
2.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS	24
2.3.1 Expansión	24
2.3.2 Dureza y crocancia	24
2.3.3 Densidad aparente	24
2.3.4 Análisis de actividad del agua	25
2.3.5 Índice de Absorción del Agua (IAA) e Índice de Solubilidad del agua (ISA)	25
2.3.6 Humedad	25
2.3.7 Análisis estadístico	25
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1 MATERIAS PRIMAS Y PROCESAMIENTO DE SNACKS	26
3.2 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	26
3.2.1 Poder reductor método FRAP	26

	pág.
3.2.2 Método ABTS•+	28
3.2.3 Método del DPPH	28
3.2.4 Compuestos fenólicos	28
3.3 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS	29
3.3.1 Diámetro de expansión	29
3.3.2 Análisis textural de los snacks con fibra en el almacenamiento	30
3.3.3 Rupturas del snack	31
3.3.4 Fuerza de compresión	32
3.3.5 Trabajo de trituración	33
3.3.6 Densidad aparente	34
3.3.7 Actividad del agua	35
3.3.8 Índice de Absorción de agua (IAA) e Índice de Solubilidad en agua (ISA)	36
3.3.9 Humedad	37
4. CONCLUSIONES	38
5. RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Separación de materias primas según los tratamientos empleados	26

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición de cada una de las pruebas planteadas en el diseño experimental	22
Tabla 2. Poder reductor método FRAP	26
Tabla 3. Método ABTS•+	27
Tabla 4. Método del DPPH	28
Tabla 5. Compuestos fenólicos	29
Tabla 6. Diámetro de expansión	29
Tabla 7. Análisis de textura de los snacks bajo tratamiento de psyllium y pectina durante 36 días	30
Tabla 8. Frecuencia espacial de las rupturas de los snacks durante 36 días	32
Tabla 9. Fuerza de compresión promedio de snacks durante 36 días	33
Tabla 10. Trabajo de trituración de snacks durante 36 días	34
Tabla 11. Densidad aparente de los snacks ante muestra de psyllium y pectina	35
Tabla 12. Actividad de agua	36
Tabla 13. Índice de solubilidad y absorción en los snacks ante muestra de psyllium y pectina	36
Tabla 14. Humedad de los snacks ante muestra de psyllium y pectina	37

GLOSARIO

ANTIOXIDANTE: Sustancia o producto que es capaz de evitar la oxidación.

DUCTILIDAD: Material maleable que permite deformaciones sin llegar a la ruptura. También puede referirse a los materiales capaces de extenderse en alambres.

DUREZA: Resistencia de un material a ser comprimido, desfigurado o labrado siendo complejo que adquiera una forma diferente a la inicial posterior al intento de deformación.

EXTRUSIÓN: Dar forma a una masa de un material alimentario o plástico por medio de un cizallamiento de un sistema de tornillo sin fin y temperatura.

FIBRA: Componente de los alimentos que los proporciona de características saludables que favorecen el tránsito intestinal y previene enfermedades.

COMPUESTOS FENÓLICOS: Compuestos asociados con propiedades bioactivas como antioxidantes o antirradicalarias.

METOXILO: Grupo radical o funcional de un grupo metilo en conjunto con un oxígeno.

PECTINA: Polisacárido presente en las paredes celulares de las frutas y verduras empleado en la industria comúnmente como espesante.

PSYLLIUM: Género *Plantago*. Planta tipo hierba empleada para la generación de remedios naturales relacionados con el sistema digestivo por su capacidad laxante y de absorción de líquidos.

RADICALES LIBRES: Molécula inestable resultante del metabolismo de las células por medio de los cambios físicos de estas. La acumulación puede provocar afectaciones en la salud por daño a otras moléculas o células.

INTRODUCCIÓN

Es importante tener en cuenta que la fibra dietaria es considerada como un factor relevante al hablar de una nutrición saludable, dados los efectos positivos como reductor del colesterol y glucosa en la sangre, además de su capacidad laxante reduciendo los problemas digestivos (García, 2018). No obstante, a pesar de que la información nutricional referente a la fibra es amplia, el suministro de este tipo de productos es deficiente en los países en proceso de desarrollo, puesto que menos del 25% de la población sigue una dieta adecuada con contenido de fibra elevado (Pinto *et al.*, 2017).

Es por esta razón, que el mercado de los snacks o también llamados aperitivos ha crecido exponencialmente, dada su fácil adquisición, rápido consumo y precios estables. Sin embargo, la calidad nutricional de este tipo de alimentos no es la mejor de todas, siendo carente ante los nutrientes requeridos para poder balancear la dieta (Salazar, 2019), destacando que el escenario debería ser inverso, para que estos snacks sean capaces de contribuir a la reducción de problemas como la obesidad, diabetes, problemas digestivos y cardiovasculares, consecuencia de dietas desbalanceadas (Cabezas, Hernández y Vargas, 2016).

En los últimos años se ha incrementado el interés por el consumo de productos con un contenido nutricional mayor al habitual y con aportes positivos al bienestar y a la salud; es por esto que la industria de alimentos busca día a día nuevos productos que satisfagan las necesidades de sus consumidores (Murillo y Rodríguez, 2018). Por otro lado, es importante tener en cuenta que no únicamente los snacks saludables hacen parte de las fuentes importantes de fibra dietaria; los científicos y nutricionistas han destacado los beneficios de las frutas, vegetales, legumbres y algunos cereales, en especial en el equilibrio de aquellas alteraciones metabólicas generadas por el síndrome metabólico, en la regulación del peso corporal, la prevención a la hipertensión arterial y la sensibilidad a la insulina (Souki *et al.*, 2018).

La empresa Seguridad Alimentaria de Occidente, ubicada en la Avenida Panamericana 25 Jamundí en Valle del Cauca, dentro de sus políticas de producción de alimentos saludables, ha venido desarrollando productos ricos en proteína vegetal de alta calidad, para satisfacer la demanda de un amplio sector del mercado que es consciente de la importancia de una buena nutrición y demanda este tipo de productos. En este sentido, la empresa en su trayectoria de investigación ha desarrollado una harina a base de quinoa con un porcentaje de proteína cercano al 30%, con la cual se espera producir una amplia gama de productos como snacks y otros.

Siguiendo esta línea y teniendo en cuenta las directrices de las organizaciones nacionales e internacionales en cuanto al consumo de fibra dietaria y/o alimentos que aporten proteína vegetal de calidad, en la empresa, surge la necesidad de analizar el efecto de la incorporación de dos tipos de fibra dietaria, psyllium y pectina de alto metoxilo sobre las propiedades texturales, funcionales y sensoriales de los snacks basados en harina de

quinua hiperproteica, con el fin de determinar los porcentajes adecuados de inclusión de las fibras, que permitan obtener un producto de buena calidad sensorial y nutricional (Ferreira, 2007).

El presente documento expone la información previamente destacada, encontrándose inicialmente una revisión teórico-conceptual referente a todos los términos necesarios para el entendimiento del desarrollo investigativo. Posteriormente se encuentra la metodología para el procesamiento de los snacks, el diseño experimental, la preparación de extractos para la determinación de la capacidad antioxidante, el método FRAP, ABTS, DPPH, los compuestos fenólicos, la determinación de las propiedades físicas en donde se incluye el diámetro de expansión, dureza y crocancia, densidad aparente, análisis de la actividad del agua, humedad y el análisis estadístico. Seguido a esto, se encuentra el capítulo de resultados y discusión en donde se explican todos los valores proporcionados por la realización de la metodología planteada, para de esta manera proseguir a las conclusiones del documento que permiten resumir los resultados obtenidos, permitiendo así, el planteamiento de las recomendaciones para trabajos futuros y finalizar con las referencias bibliográficas que sustentan todo el documento.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en el laboratorio de Reología y Biotecnología adscrito a la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). La quinoa es un cereal originario de América del sur y distribuido en los países que pertenecían al antiguo Imperio Inca. Es fácil de cultivar por su gran capacidad de adaptación en ambientes hostiles (Laise, 2018). En suma, es reconocido como un pseudocereal por el alto contenido de proteínas (14%), y en especial por su excelente digestibilidad (92%), además, es el único alimento vegetal que contiene todos los aminoácidos esenciales, vitaminas y oligoelementos, teniendo una fracción lipídica importante debido a la presencia de los ácidos grasos esenciales. Adicionalmente, no contiene gluten, siendo una alternativa de interés para gran parte de la población (FAO, 2011).

1.2.2 Harina hiperproteica de quinoa o quinoa. Hace referencia a la harina con un contenido de proteína elevado. La obtención de harinas se realiza principalmente utilizando métodos de molienda seca, en donde se pretende separar las partes estructurales del grano: endospermo, germen y salvado. La obtención de estos tipos de harina hiperproteica se realiza con ayuda de procesos de molienda abrasiva en donde se logra reducir el área aparente (de quinoa) en un 54,34%, logrando el desprendimiento del germen en el 47,18% (Castillo y González, 2018). A nivel general, esta alternativa posee tablas nutricionales llamativas al hablar de seguridad alimentaria, teniendo porcentajes de humedad menores, pero a su vez un mayor contenido proteico y una cantidad de lípidos mayor en comparación con las harinas de maíz, trigo, arroz y avena (Pajarito, 2005).

1.2.3 Harina de arroz. La harina de arroz hace referencia a la harina que puede obtenerse del arroz blanco o integral. Para hacer la harina es necesario retirar la cascarilla con el propósito de obtener el arroz crudo el cual es molido para obtener arroz en polvo o harina de arroz (Calán, 2013). El arroz es el cereal más utilizado en la actividad de panificación y en la sustitución del trigo debido a que su bajo contenido en nueve prolaminas, carácter hipoalergénico, sabor insípido, bajo contenido de sodio y su alto contenido de carbohidratos facilita su digestión y lo hace apto para personas celiacas (Ramírez, 2020).

1.2.4 Psyllium. Es una fibra soluble derivada de las semillas de *Plantago ovata* conocida también como zaragatona, una hierba con procedencia de la India. La cáscara de psyllium se destaca por su excelente solubilidad en agua, teniendo facultades de absorción de líquido el cual puede transformarse en compuestos espesos y viscosos capaces de resistir

a la digestión en el intestino delgado, facilitando de esta manera la estabilización de los niveles de azúcar en la sangre, triglicéridos y colesterol (Sánchez, 2015). El polisacárido bioactivo de las cáscaras de semillas de psyllium es un tipo de arabinoxilano (polisacárido no celulósico inmunomodulador y complemento alimenticio), que posee una composición de: 75% de xilosa, 23% de arabinosa y fragmentos de glucosa, manosa y galactosa (Sánchez, 2019).

1.2.5 Pectina. La pectina es una sustancia natural formada principalmente en la pared primaria y en los tejidos mesenquimáticos y parenquimáticos de algunos frutos y vegetales. Tiene la función de cemento intercelular, siendo formadora de coloides y posee la capacidad de absorber una gran cantidad de agua (Chasquibol, Arroyo y Morales, 2008). Estas sustancias son polisacáridos complejos de las plantas superiores, las cuales provocan en algunos frutos el ablandamiento por las enzimas pectinolíticas, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa. Las principales fuentes de pectina comercial (distintos niveles de polimerización y metoxilación) provienen de la corteza de los cítricos y del residuo de materia posterior a la obtención del zumo de manzana (Yuste y Garza, 2003).

Las pectinas son capaces de proporcionar geles termorreversibles cuando se presenta la sacarosa con un pH bajo o con iones calcio, posicionándose como uno de los garantes de la textura de los vegetales y de la viscosidad de los zumos y tiene un gran interés tecnológico para el sector de la alimentación. Es empleado como espesante, conductor de sangre a los riñones y estabilizante en la fabricación de productos como las mermeladas, compotas, frutas en almíbar entre otros, empleándose a su vez como sustituto de grasas y azúcares (Yuste y Garza, 2003).

1.2.6 Snack. Los snacks hacen referencia a los alimentos consumidos entre las comidas o empleados como acompañamiento o aperitivo. Son productos elaborados a partir de cereales o tubérculos o en casos más nutritivos de productos específicos como la quinua o el maíz donde la quinua utilizada presenta un alto contenido de proteínas y fibra dietaria, así como compuestos fenólicos y una alta capacidad antioxidante (Repo, Pilco y Encina, 2011).

1.2.7 Extrusión. Actualmente, es posible encontrar muchas técnicas relacionadas al desarrollo de productos en búsqueda de características y texturas de calidad, en donde la extrusión térmica cobra importancia dada su empleabilidad en los productos aperitivos como los snacks, permitiendo la elaboración de maneras diferenciales de presentación de estos productos con el propósito de que resulten atractivos para el cliente o consumidor sin alterar los productos (Arias, Pérez y Durán, 2007).

Los resultados de la extrusión conservan propiedades químicas importantes de los productos iniciales, invirtiendo menos energía en los procesos, por lo que además de ser eficaz, es considerado como un método rápido para obtener productos de buena calidad y a bajos costos (Repo, Pilco y Encina, 2011).

1.2.8 Fibra dietaria. El término fibra dietaria es definido como el conjunto de polímeros y oligómeros de carbohidratos encargados de migrar a la digestión en el intestino delgado y al paso por el intestino grueso en donde se producen procesos de fermentación total o parcial por la microflora intestinal con resultados positivos en la salud (Vilcanqui y Vilchez, 2017). Estas fibras pueden clasificarse en fibras solubles y fibras insolubles, siendo las fibras solubles aquellas de mejores propiedades de hidratación favoreciendo la fermentación, viscosidad y generación de ácidos grasos promotores de la producción del péptido 1 similar al glucagón (GLP1) y péptida tirosina (PYY), hormonas reguladoras del apetito y por consiguiente del sobrepeso (Escudero y González, 2006). Por otro lado, al hablar de fibras insolubles es posible identificar que estas se relacionan de manera directa con el aumento de la masa y el volumen fecal afectando de manera directa el tiempo del proceso digestivo controlando la posibilidad del estreñimiento y el cáncer en el colon (Vilcanqui y Vilchez, 2017).

1.2.9 Capacidad antioxidante. Se entiende como capacidad antioxidante a la actividad antioxidante de los compuestos presentes en un alimento, definiéndose como esta última a la facultad de una sustancia para impedir las consecuencias provocadas por los radicales libres de oxígeno (Valenzuela, 2015). La capacidad antioxidante se puede determinar con ayuda de metodologías medidoras del poder reductor de los antioxidantes captadores de radicales libres, destacándose a los compuestos fenólicos como aquellos compuestos más estudiados por su capacidad antioxidante (Naspud, 2018).

1.2.10 Poder reductor FRAP. El poder reductor es un método comúnmente conocido como el método FRAP por sus siglas en inglés (Ferric Reducing/Antioxidant Power), en donde por medio de los compuestos fenólicos se reduce el complejo de la tripiridiltriazina férrica (Fe (III)-TPTZ) diferenciada por las tonalidades amarillas, al complejo ferroso (Fe (II)-TPTZ), diferenciado por el color azul por medio de la donación de electrones (Benzie y Strain, 1996). La medición del color es realizada con ayuda de espectrofotometría en donde se reconocen longitudes de onda de 593 nm posterior a cuatro minutos del inicio de la reacción permitiendo la obtención de relaciones lineales expresadas en equivalentes de ácido ascórbico o Trolox (Shi *et al.*, 2019).

1.2.11 Método DPPH y ABTS•+. Al hablar del método DPPH, es posible identificar un proceso de evaluación de la capacidad antioxidantes de los alimentos y compuestos artificiales encargados de la neutralización de los radicales libres 2,2- difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), el cual es capaz de reaccionar Este radical libre es susceptible de reaccionar con compuestos antioxidantes a través de un proceso caracterizado por la cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente antioxidante, los estudios cinéticos muestran que esta reacción ocurre a través de una reacción de pseudo primer orden la que puede seguirse midiendo la disminución de la absorbancia en función del tiempo (Guija, 2015).

Esta reacción se puede describir mediante la siguiente fórmula:



El segundo método conocido como ABTS•+ se fundamenta en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS•+, como consecuencia de la interacción de componentes donantes de electrones o hidrógeno. Para la cuantificación de este método se emplea un cromatóforo de radical catiónico ABTS•+ por medio de una λ de 734 nm generada gracias a la reacción del ABTS (2,2'-azinobis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) en conjunto con el persulfato de potasio (Rioja, 2018).

1.2.12 Compuestos fenólicos. Se entienden como compuestos fenólicos a todas aquellas moléculas que en su anillo aromático poseen uniones con grupos hidroxilos (una unión o más de una) (Peñarrieta *et al.*, 2014). La determinación de estos compuestos relacionados con la capacidad antioxidante se realiza con ayuda del reactivo de Folin-Ciocalteu que produce viraje de color a un pH básico. El reactivo nombrado anteriormente contiene ácidos fosfomolibdicos y fosfomolibdicos que permiten la identificación de dichos compuestos (Karadag, Ozcelik y Saner, 2009). La medición de estos compuestos es realizada por medio de espectrofotometría a longitudes de onda de 750-765 nm (Magalhaes, 2008).

1.2.13 Polifenoles. Hacen referencia a los principales antioxidantes presentes en la dieta, llegando a superar de manera significativa a la vitamina C y vitamina E en conjunto con algunos carotenoides. Se destacan por tener la capacidad de neutralizar a las ROS (Especies reactivas de oxígeno), razón por la cual son altamente estudiados en conjunto con los requerimientos como frente de defensa antioxidante en el cuerpo humano (Quiñones, Miguel y Aleixandre, 2012).

1.2.14 Densidad aparente. El término de densidad aparente puede variar dependiendo del contexto y el área de estudio. Al hablar de la industria alimentaria y la agricultura, se entiende como densidad aparente a la medida del volumen aparente del alimento, grano o snack, es decir el volumen total, en conjunto con la división de una cantidad de arroz entre el volumen nombrado anteriormente, por lo que para este cálculo se solicita el grado máximo de compresión o compactación entre los granos para evitar sesgos numéricos (Atarés, 2022).

1.2.15 Índice de Absorción en Agua (IAA). El Índice de Absorción de agua conocido como IAA en la industria alimenticia de granos, cereales y harinas hace referencia al potencial de hidratación de dichos productos por medio del cálculo de la capacidad de absorción de agua hasta la formación de una masa viscosa (Sacón *et al.*, 2016). Este índice puede variar entre harinas y depende también de la cantidad de agua suministrada en el estudio. En este parámetro, se evalúan los cambios producidos en la solubilidad como consecuencia de variaciones en la temperatura y en la intensidad de fuerza (Salas, 2007).

1.2.16 Índice de Solubilidad en Agua (ISA). El Índice de Solubilidad en Agua también conocido como ISA o WSI es un índice de degradación o deterioro de los componentes moleculares por medio de la medición de los componentes liberados por el almidón posterior al proceso de cocción (Huamani, Ponce y Málaga, 2020). En otras palabras, se puede definir el ISA como la medición de la cantidad de amilosa que se libera de las harinas,

granos o cereales posterior a la pérdida estructural por acción del IAA (Meaño, Ciarfella y Dorta, 2014).

1.2.17 Humedad. A nivel alimenticio, la humedad juega un papel fundamental en la conservación de las propiedades organolépticas y reológicas de los productos. Aunque todos los alimentos contienen agua sin importar el método de procesamiento aplicado en la industria, la cantidad de agua en cada uno de los productos debe encontrarse equilibrada para evitar deterioros en la materia prima final o desarrollo de microorganismos patógenos para el cuerpo humano. En suma, la industria se encarga de mantener la humedad de los alimentos equilibrada, puesto que de este factor depende la compra en masa de los productos, en especial destacando que los compradores de las materias primas no esperan recibir más agua en los productos de lo normal (Valdez, 2014).

1.3 MARCO HISTÓRICO

Con el propósito de sentar las bases referentes a las investigaciones enfocadas al objeto de estudio de este documento, se hallaron investigaciones relacionadas a las propiedades funcionales y fisicoquímicas de los snacks.

Es importante iniciar esta revisión con la investigación realizada por Rodríguez, Lascano y Sandoval (2012) en donde se estudiaron las propiedades físicas y termodinámicas presentes en la elaboración de pan de harina de quinua y trigo y papa y trigo. Los resultados indicaron los valores relacionados a la absorción del agua, la solubilidad y el hinchamiento evidenciándose que estas variables son mayores en los panes de harina de papa; al tener la harina de quinua valores de asentamiento y estabilidad de la cocción menores se proporciona un índice bueno de conservación del pan.

En el año 2015, Aguirre y Calderón caracterizaron y realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos de tres tratamientos referentes a mezclas de harina de quinua, arroz y frijol gandul, concluyendo que la mezcla de 60:25:15 proporciona valores proteínicos cercanos al 7% y cerca de 370 Kcal por ración de 100 g, arrojando reseñas positivas con respecto a la apariencia, olor, sabor, color y textura.

Años después, Lázaro y Sotelo (2017) se encargaron de la optimización de mezclas de grits de maíz, harina de quinua y harina de garbanzo con el propósito de obtener un extruido que fuese capaz de generar valores importantes a nivel físico, sensorial y nutricional, para lo que se formularon nueve muestras con proporciones diferentes, siendo la formulación 4 con proporción de 63:32:5 de grits de maíz, quinua y garbanzo respectivamente la mayor puntuada a nivel sensorial y en composición.

Este mismo año, Canaviri (2017) se enfocó en la realización de un producto generado a base de quinua y arroz y libre de gluten en conjunto con análisis fisicoquímicos y del grado

de expansión en relación con la proporción de almidón de las tres combinaciones creadas, siendo la proporción 32,33%:63,33% de quinua y quinua en el extruido respectivamente la más efectiva.

Al año siguiente, Laise (2018) desarrolló un snack de harina de quinua con el propósito de combatir la ausencia de snack destinados a la población no consumidora de gluten, empleando calorías, proteínas, grasas, fibra y otros componentes importantes en el consumo dietario, categorizando a la quinua como una estrategia de reemplazo eficaz y saludable.

En el mismo año, Valderrama (2018) evaluó las características fisicoquímicas y de aceptación sensorial de diferentes combinaciones en la proporción de maíz morado, kiwicha y quinua para lo que se crearon 10 tratamientos para medir variables de color, propiedades acústicas, porcentaje de humedad, entre otros, Fue posible concluir que ningún modelo se ajustó en relación con la densidad aparente, la expansión o las propiedades relacionadas a la acústica, sin embargo, un tratamiento fue destacado entre el resto obteniendo datos de composición proximal bastante positivos.

En 2019, Mostacilla y Ordoñez (2019) elaboraron un snack a partir de Sacha Inchi, Chía, Quinua y Arroz en plástico con protección UV y resistencia a cambios de humedad, posible oxidación y a los aromas, proporcionando un aumento en la calidad de los productos, resultado de la comparación de la exposición a temperaturas de 25°C por días del snack empacado y sin empacar, obteniendo una duración de 37 días para los productos sin empaque y de 54 días con el empaque propuesto.

Este mismo año, Becerra y Monzón (2019) evaluaron el proceso de optimización de los compuestos fenólicos por medio de ultrasonidos en residuos de una palta, proceso importante a pesar de la desviación focal parcial del objeto de estudio, sin embargo, siendo importante destacar la inclusión de los compuestos fenólicos. En el estudio, los autores involucran análisis de condiciones óptimas, concentraciones, temperatura y tiempos, permitiendo encontrar los parámetros más eficaces para la extracción asistida de los compuestos.

Así mismo, Manosalvas, Villacrés y Taimal (2019) evaluaron los parámetros de extrusión de un snack creado por medio de papa, chocho y maíz a una humedad del 15% y extruida a 110°C, obteniendo porcentajes importantes de fibra, proteína y carbohidratos siendo estos resultados significativos en el snack a comparación con otros. A su vez, se evaluó la adición de tubérculos o leguminosas, concluyendo que puede ser una alternativa eficaz al hablar del aumento del contenido nutricional del resultado dietario.

Un año después, Ramírez (2020) desarrolló un snack de galletas a base de harina de quinua y harina de arroz en pro a la suplantación de la harina de trigo de la dieta tradicional. Fue posible obtener resultados positivos en relación con las propiedades químicas, físicas,

sensoriales y nutricionales del producto, siendo una estrategia importante para la inclusión en la dieta de personas con enfermedades como la hipertensión.

Este mismo año, Riveros (2020) evaluó las consecuencias de la variación en la proporción de harina de yuca, arracacha y tarwi de manera conjunta en referencia a las variables fisicoquímicas y sensoriales de los snacks. Se calcularon los porcentajes de humedad, grasa, fibra, proteína y ceniza junto con el color y la textura, permitiendo concluir que el tratamiento número uno con porcentaje de 10%:60%:30% de harina de tarwi, yuca y arracacha respectivamente demostró poseer un contenido mayor de las variables y una calificación superior en relación con los otros tratamientos.

En simultáneo, Holguín y Vélez (2020) evaluaron las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de un pan preparado por medio de harina de quinua y harina de arroz integral precocido. Se realizaron 11 tratamientos en los cuales se compararon los porcentajes de retención de agua, volumen y proteínas, empleando softwares estadísticos para la obtención de análisis de varianza y la significancia de cada uno de los tratamientos, arrojando similitud entre las variables de porcentaje nombradas anteriormente.

Al tiempo, Herrera (2020) realizó un trabajo de investigación relacionado con la creación de una barra energética adicionando harina de maca a una mezcla de harina de amaranto, pulpas de tomate de árbol y mortiño, procediendo a la creación de 6 muestras en donde la variación correspondía a la proporción de cada uno de los componentes. Fue posible identificar parámetros de acidez, humedad y pH en conjunto con las variaciones de dureza y color. En el estudio se concluyó que el consumo de barras energéticas a base de harina de maca es una estrategia importante para la suplementación de nutrientes en la población y en especial al tratarse junto con otros componentes con altos contenidos nutricionales.

Un año después, Catucuamba (2021), en donde se elaboraron cupcakes a base de harina de quinua con el propósito de reemplazar la harina de trigo en las tablas nutricionales del producto, haciendo necesaria la evaluación de parámetros como la aceptación, variables fisicoquímicas y la calidad microbiológica. Fue posible concluir que el reemplazo de la harina de trigo por harina de quinua en un 25% fue categorizado como el mejor tratamiento luego de ser valorado y aceptado por 50 evaluadores, obteniendo valores elevados en el análisis sensorial respecto al olor, sabor, textura y color.

En el año 2022, Jurado y Marulanda (2022) propusieron la creación de un snack tipo galleta con composición de quinua con el objetivo de comparar el producto creado con un snack galleta tradicional creado a base de avena en hojuelas y harina de trigo. Se realizaron mezclas con modificación en la composición y se estudiaron parámetros como fractura, humedad, dureza y actividad acuosa, permitiendo evaluar por medio de las pruebas sensoriales que la mezcla más aceptada correspondió a 70% harina de trigo, 20% avena en hojuelas y 10% harina de quinua, indicando no sólo resultados positivos a nivel fisicoquímico y de textura, sino que también en los análisis sensoriales como consecuencia de la dureza en el producto.

Este mismo año, Aponte y Franco (2022) se enfocó en los cultivos andinos en la creación de snacks energéticos, destacando el amaranto, la quinua y la avena como los componentes a evaluar. Se identificaron parámetros como la humedad, ceniza, proteína, fibra, carbohidratos, grasa y la energía proporcionada por kilocalorías, permitiendo concluir que el producto creado cumplía con los estándares esperados en todos los parámetros, a excepción de las grasas, en donde se presentaron valores más elevados de lo esperado, situación atribuida a la adición de mantequilla y frutos secos en la proporción. A diferencia de los estudios anteriores, el estudio de Aponte y Franco proporciona un cálculo de factibilidad económica, en donde se estableció el valor neto por gramo de barra, obteniendo una factibilidad positiva.

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIAS PRIMAS Y PROCESAMIENTO DE SNACKS

2.1.1. Snacks a partir de mezcla de harina hiperproteica de quinua, harina de arroz, psyllium y pectina. Las materias primas fueron proporcionadas por la empresa Seguridad Alimentaria de Occidente SEGALCO S.A.S ubicada en la Avenida Panamericana 25 Jamundí en Valle del Cauca. El procesamiento de estos snacks fue realizado por la misma empresa con ayuda del equipamiento de producción a escala industrial. Es importante tener en cuenta que de acuerdo a los requerimientos de la empresa SEGALCO S.A.S, se analizó por separado el efecto de la adición de cada fibra (psyllium y pectina) a las mezclas para extrusión. Para esto, se realizó un diseño experimental completamente al azar de un solo factor (% de inclusión de fibra) en un extrusor industrial de doble husillo CY65-II TWN SCREW EXTRUDER en donde la cocción por extrusión se realizó a partir de tres niveles a temperaturas de 75°C, 105°C y 135°C, destacando una velocidad de rotación de tornillo de 251 a 253 rpm y un diámetro de boquillas de 3 mm. Posteriormente, los snacks se secaron a temperaturas oscilantes entre 170°C y 180°C en un secador con velocidad de 60 a 65 rpm y se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas de polietileno.

El ensayo de vida útil se realizó durante 36 días realizando los análisis en los días 1, 3, 8, 10, 16, 23 y 36 en la cámara climática a condiciones de 30°C y humedad relativa de 60 Pa. Las mezclas de extrusión constan de harina de arroz 50% y de harina de quinua hiperproteica 50%. Para analizar el efecto de la pectina y el psyllium para cada prueba se tuvieron en cuenta porcentajes de 3%, 5% y 7% respectivamente (Tabla 1). Los gramos utilizados para cada prueba fueron 3000 g.

Durante el ensayo de vida útil se midieron las condiciones de dureza, ruptura del snack, fuerza de comprensión, trabajo de trituración y actividad de agua. Posterior a este análisis se realizaron las pruebas de actividad antioxidante (DDPH, ABTS, FRAP, compuestos fenólicos), densidad aparente, IAA, ISA, humedad y diámetro de expansión.

Tabla 1. Composición de cada una de las pruebas planteadas en el diseño experimental

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Quinua	48,5%	47,5%	46,5%
Arroz	48,5%	47,5%	46,5%
Pectina o psyllium	3%	5%	7%

2.2 DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La capacidad antioxidante de los snacks, se determinó mediante diferentes metodologías. En primera instancia se midió el poder reductor por el método FRAP (Poder Antioxidante

Reductor Férrico) y posteriormente por métodos anti radicalarios (ABTS y DPPH). Así mismo, se procedió a la cuantificación del contenido de compuestos fenólicos.

2.2.1 Preparación de extractos. Se pesaron 0,4 gramos de muestra en un tubo Falcon de 50 ml. Con el propósito de iniciar el proceso de extracción de antioxidantes. Se adicionaron 10 ml de etanol y se agitó la mezcla por medio de un agitador Vortex durante 15 segundos, dejándose en extracción sólido-líquido en un agitador durante 30 minutos a 37°C. Finalizado el tiempo, se centrifugaron las muestras durante 15 minutos a 5000 rpm a una temperatura de 4°C (15 minutos, 5.000 RPM, 4°C), el resultado se filtró al vacío con papel de celulosa Whatman ® N°1 de retención y velocidad de filtración media.

2.2.2 Poder reductor método FRAP. Para la determinación del poder antioxidante se tomaron 60 µL de extracto a los cuales se adicionaron 180 µL de agua desionizada para posteriormente agitar en un agitador Vortex durante 15 segundos hasta obtener una mezcla homogénea. A continuación, se adicionó a la mezcla 1800 µL de reactivo de FRAP el cual estaba compuesto de 10 mmol/L de TPTZ (2,4,6-tripiridil-5-triazina), 20 mmol/L de FeCl₃.6H₂O y 0,3 M de buffer acetato (pH 3,6). Las mezclas se colocaron en baño termostático a 37°C por 30 min en oscuridad. Se monitoreó el cambio en la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm.

Por último, se realizó el blanco de reactivos y de muestras propuesto por Basanta *et al.* (2014) con el propósito de tener el control comparativo de la información. Los resultados se expresaron como ug de capacidad antioxidante equivalente a la del ácido ascórbico (AA) por 100g de snacks en base seca (ug AA/100g snacks). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.3 Método ABTS•+. Para la obtención de resultados por el método ABTS•+, se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Kuskoski *et al.* (2005). El catión radical ABTS•+ fue resultante de la reacción de 38,2 mg de ABTS con 7,2 mg de persulfato potásico disueltos en 10 ml de agua desionizada incubados a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) y en la oscuridad durante 24h. Posterior a la formación del radical ABTS•+ se procedió a la dilución con etanol hasta obtener un valor de absorbancia entre 0,70 ($\pm 0,1$) a 754 nm. Las muestras filtradas fueron diluidas con etanol hasta la inhibición del 20 al 80% del radical, posterior a la adición de 20 µL de la muestra a la solución radical, generando de esta manera la absorbancia a 754 nm a 30°C. Se añadieron 20 µL de la muestra y se midió de nuevo la absorbancia posterior a 1 minuto, sin embargo, esta fue medida de manera continua durante 7 minutos. El antioxidante sintético de referencia, ácido ascórbico, se ensayó a una concentración de (20 mg/100 mL). Los resultados se expresaron como mg de capacidad antioxidante equivalente a la del ácido ascórbico (AEAC) por 100 g de snacks en base seca (mg AEAC/100 g snacks). Las determinaciones se realizaron al menos, por triplicado.

2.2.4 Método de DPPH. Es importante tener en cuenta que el método del DPPH es empleado para la verificación de la reducción de la absorbancia de una solución del radical

DPPH 6×10^{-5} M en etanol, a una longitud de onda de 517 nm. La cuantificación de la capacidad antirradicalaria se realizó mediante una curva de calibración con una solución de ácido ascórbico con 2000 μ M en etanol. Para la determinación de la actividad antioxidante, se empleó la metodología de Nieto-Calvache, de Escalada Pla y Gerschenson (Nieto, de Escalada y Gerschenson, 2018), con algunas modificaciones. Se mezclaron 100 μ l del extracto con 3.9 ml de la solución DPPH, posterior a la homogeneización, se llevó la mezcla a baño termostático durante 30 minutos a 37°C sin luz para el registro de la absorbancia. Los resultados se expresaron como mg de capacidad antioxidante equivalente a la del ácido ascórbico (AEAC) por 100 g de snacks en base seca (mg AEAC/100 g snacks). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.5 Compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos totales de los snacks extruidos se determinaron con el uso del reactivo de Folin-Ciocalteu. Se prepararon las soluciones de Folin- Ciocalteu (1:10), NaHCO_3 7,5 g/100ml y la solución patrón de ácido gálico 0,1 g/50 ml. Para la reacción, se mezclaron 40 μ L de la solución de ácido gálico con 1800 μ L de la solución de Folin-Ciocalteu; pasados cinco minutos se adicionó a la mezcla 1200 μ L de la solución de NaHCO_3 . Transcurridos 60 minutos en la oscuridad, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados se reportaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de snacks extruidos en base seca (mg AGE/100g).

2.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

2.3.1 Expansión. Para calcular la expansión se tomó una muestra de 10 snacks y se midió su diámetro y longitud con un calibrador digital.

2.3.2 Dureza y crocancia. En la determinación de crocancia se tomaron snacks de longitud uniforme y diámetro de aproximado de 180 mm cada muestra. Esta muestra se colocó en una celda de carga para proceder a la compresión mediante la máquina universal de ensayos Shimadzu EZ-L, con ayuda de una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro. Los valores resultantes fueron adquiridos con una resolución de 500 Hz (resolución espacial de 2 mm). Las muestras fueron perforadas a una distancia longitudinal de 4 mm. Es importante destacar que se realizaron 10 mediciones para cada muestra y que se desarrollaron ensayos previos por medio de velocidades de avance de 8, 10, 12 y 14 mm/min. El método empleado para la determinación de dureza y crocancia fue basado en los procedimientos de Mostacilla y Ordoñez (2019).

2.3.3 Densidad aparente. La densidad aparente de los snacks fue medida según Koocheki *et al.* (2007), en donde con ayuda de un caso pesado (P1), el snack pesado (P2) y el volumen (V1) fue posible emplear la ecuación presente a continuación (2):

$$Densidad = \frac{P2 - P1}{V1} \quad (\text{Ec. 2})$$

2.3.4 Análisis de actividad del agua. La actividad del agua (a_w) fue determinada con un higrómetro de punto de rocío AquaLab (Decagon Devices, Inc., model 4TE, Pullman, Washington, USA) con una precisión de $\pm 0,003$. Para medir este parámetro se desmenuzaron dos snacks de cada formulación, y se introdujeron en la cápsula portamuestras. Posteriormente, se realizó la medida de la actividad de agua un total de tres veces para cada una de las formulaciones.

2.3.5 Índice de Absorción del Agua (IAA) e Índice de Solubilidad del agua (ISA). Para obtener el índice de absorción del agua (IAA) y el índice de solubilidad del agua (ISA), se destinaron 10 mL de agua destilada a un tubo Falcon con capacidad de 15 ml. Los extruidos fueron molidos y tamizados para posteriormente agrega 5mg del extruido al tubo Falcon nombrado anteriormente. Se procedió a la agitación del tubo durante 60 minutos y seguidamente se centrifugaron a 3000 rpm a 25°C durante 10 minutos.

El sobrenadante resultante del centrifugado fue transferido a una placa para realizar el secado en horno de aire a 90°C para su seguido enfriamiento durante 30 minutos a temperatura ambiente y pesado. Las ecuaciones 3 y 4 empleadas para obtener cada índice se encuentran a continuación:

$$IAA = \frac{\text{Peso de sólidos secos en el sobrenadante}}{\text{Peso seco de la muestra}} * 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

$$ISA = \frac{\text{Peso del gel}}{\text{peso seco de muestra}} \quad (\text{Ec. 4})$$

2.3.6 Humedad. Para el análisis de la humedad en los snacks fue necesario pasar las muestras a Cajas Petri a 110°C durante 30 minutos. Posteriormente fueron colocadas en un desecador para conseguir el enfriamiento y proceder al pesado de la caja y de la muestra. Seguido a esto, las muestras fueron llevadas a un horno a 120°C durante dos horas para repetir el proceso inicial y llevar al desecador para enfriamiento y conseguir el pesaje de las muestras.

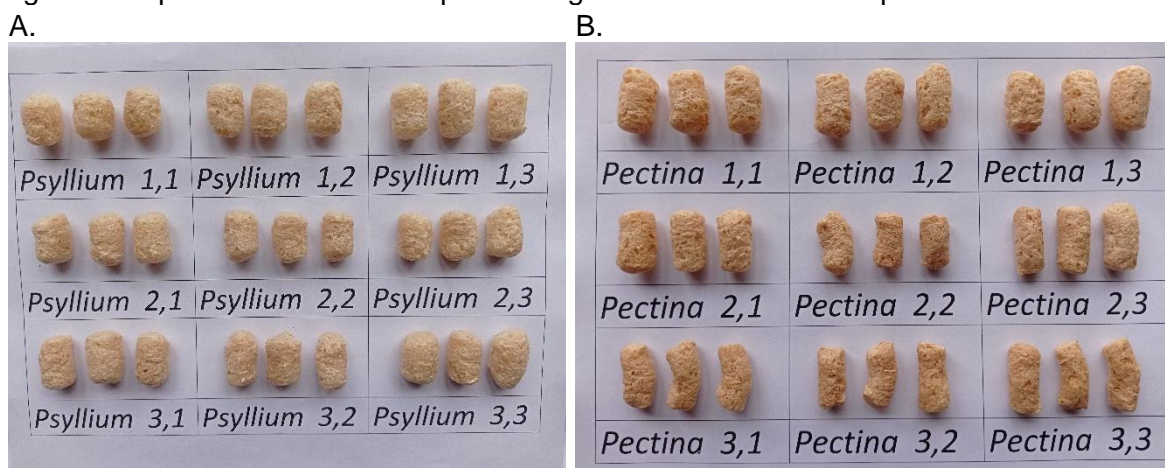
2.3.7 Análisis estadístico. El análisis de los tratamientos fue expresado en todos los casos como media \pm desviación estándar. Las diferencias estadísticas se determinaron mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA) con una prueba post hoc ($p < 0,05$) de diferencias significativas de rangos múltiples (Prueba de Tukey) usando GraphPad Prism 7.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MATERIAS PRIMAS Y PROCESAMIENTO DE SNACKS

Cada porcentaje de adición de fibra (3%, 5% y 7% de) en cada formulación de la mezcla de harinas, fue realizado por triplicado para el proceso de extrusión. En la figura 1, se muestran ejemplos de imágenes de los productos obtenidos de cada sistema.

Figura 1. Separación de materias primas según los tratamientos empleados



Nota: La figura 1A, presenta ejemplos de muestras de snacks obtenidas mediante el diseño experimental con psyllium, la primera fila corresponde al 3%, la segunda al 5% y la última al 7%. En la figura 1B se muestran con pectina.

3.2 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

3.2.1 Poder reductor método FRAP. La tabla 2 presenta los resultados de cada uno de los tratamientos de los snacks en relación con el poder reductor del método FRAP.

Tabla 2. Poder reductor método FRAP

Muestra	FRAP (ug AA/100 g de snack)
Control	1030,9 ± 31,8 b
Psyllium 3%	949,5 ± 48,5 b
Psyllium 5%	935,7 ± 20,9 b
Psyllium 7%	997,2 ± 153,7 b
Pectina 3%	2316,4 ± 158,8 a
Pectina 5%	2150,1 ± 207,0 a
Pectina 7%	2276,4 ± 228,7 a

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

Es posible visualizar como la capacidad antioxidante determinada por este método presenta una actividad mayor ($p < 0.05$) en las muestras que contienen pectina, sin embargo, es posible visualizar que entre los tres tratamientos de pectina, a nivel estadístico no se presentan diferencias significativas. Por otra parte, los tratamientos con psyllium no son significativamente diferentes al control ($p < 0.05$), a pesar de que a nivel numérico la muestra control sea mayor ($1030,9 \pm 31,8$) y se evidencie una reducción en los valores referentes al poder reductor por el método FRAP.

Esto podría explicarse con lo encontrado en el estudio de Sivam *et al.* (2012), en donde se afirmó que la pectina y su adición a los productos de alimentación tipo snack provocan alteraciones en sus propiedades, pues facilitan la formación y la estabilidad de los enlaces disulfuro, los cuales están relacionados con las reacciones de polimerización o agregación. Adicionalmente, estos enlaces se corresponden de manera directa con los potenciales de reducción, premisa que puede modificar la capacidad antioxidante y el poder reductor del objeto de estudio. Además, Košťálová *et al.* (2013) en relación a las propiedades antioxidantes, que este heteropolisacárido posee una capacidad reductora considerable.

Por otro lado, Betrouche *et al.* (2022) expresaron que en caso del psyllium, la capacidad antioxidante puede verse aumentada dependiendo de la proporción suministrada y de la naturaleza de la aplicación. Por ejemplo, la aplicación de las cáscaras de psyllium en un porcentaje del 50% puede aumentar no solo la capacidad antioxidante, sino que además puede aumentar el contenido de fenoles y de minerales sin afectar la naturaleza de las propiedades mecánicas del producto, lo cual puede explicar la razón por la que en el presente estudio no se evidencian estadísticamente las diferencias al comparar los valores con el control. Adicionalmente, según Freitas (2019), el psyllium está encargado de enriquecer el proceso digestivo pero no se encuentra encargado directamente de afectar el proceso antioxidante, razón por la cual los valores pueden no verse afectados ante la capacidad antioxidante, pero tal vez si en otros factores relacionados a la digestibilidad.

3.2.2 Método ABTS•+. En relación con el método ABTS•+, es posible observar en la tabla 3 que los tratamientos con psyllium mostraron los mayores valores ($p < 0.05$) de capacidad antirradical, siendo estadísticamente mayores que el resto de los tratamientos. Por otra parte, en referencia a los tratamientos de pectina, los tratamientos con 3% y 5%, presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) con el tratamiento de pectina al 7%.

Tabla 3. Método ABTS•+

Muestra	ABTS•+ (mg AEAC/100 g snack)
Control	2089,2 ± 54,9 b,c
Psyllium 3%	2933,8 ± 27,3 a
Psyllium 5%	2923,1 ± 39,6 a
Psyllium 7%	2861,9 ± 37,4 a
Pectina 3%	1958,5 ± 40,4 c
Pectina 5%	1967,7 ± 29,9 c
Pectina 7%	2183,7 ± 120,9 b

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

Según Repo, Pilco y Encina (2011), el método ABTS es una opción diferencial ante el método DPPH, siendo el método ABTS una alternativa de flexibilidad elevado y que permite actuar a diferentes valores de pH sin afectar los valores, a diferencia del DPPH, el cual es sensible a variaciones de pH, en especial aquellos que son ácidos, provocando posibles sesgos estadísticos.

3.2.3 Método del DPPH. En cuanto al método DPPH, es posible visualizar en la tabla 4 como a pesar de que los valores se encuentran muy cercanos entre sí, los resultados de los tratamientos con psyllium en todas sus concentraciones fueron mayores ($p < 0.05$) en comparación con los tratamientos de pectina y la muestra control. Por otro lado, en relación con los tratamientos de pectina, es posible visualizar que únicamente las muestras con pectina al 3% presentan diferencias estadísticas, puesto que los tratamientos con pectina al 5% y 7% mantienen los valores dentro de la similitud estadística al realizar la comparación con el control.

Tabla 4. Método del DPPH

Muestra	DPPH (mg AEAC/100 g snack)
Control	50,5 ± 0,6 c
Psyllium 3%	58,2 ± 0,6 a
Psyllium 5%	54,5 ± 1,7 a
Psyllium 7%	50,1 ± 0,8 a
Pectina 3%	50,0 ± 1,2 b
Pectina 5%	58,2 ± 1,5 c
Pectina 7%	59,3 ± 1,2 c

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

En trabajos como el de Gálvez (2004) se ha reportado el efecto del plantago o del psyllium, sobre el DPPH, haciendo que las muestras tratadas presenten actividad antirradical; situación que explicaría los valores elevados y las diferencias significativas del psyllium con el resto de los tratamientos y con el control.

3.2.4 Compuestos fenólicos. Al hablar de los compuestos fenólicos, en la tabla 5 es posible visualizar como el tratamiento con pectina al 7% presenta los valores más elevados ($p < 0.05$) a comparación del control y el resto de los tratamientos. Por otra parte, los tratamientos con psyllium y con pectina al 3% y 5% no presentan diferencias significativas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que todos los valores tienden a ser mayores al control, por lo que es importante tener en cuenta que este comportamiento es explicado por Repo, Pilco y Encina (2011), en donde se expresa que los antioxidantes son compuestos capaces de retrasar o evitar los procesos de oxidación de las moléculas con las que actúan, destacando relaciones directas con el contenido de los polifenoles totales. Adicionalmente, los polifenoles provenientes de fuentes vegetales poseen características multifuncionales, actuando como antioxidantes, reductores de oxígeno singlete y como agentes reductores (Márquez y Pretell, 2018).

Tabla 5. Compuestos fenólicos

Muestra	Compuestos fenólicos (mg AGE/100g)
Control	409,3 ± 56,2 b
Psyllium 3%	459,6 ± 10,5 a,b
Psyllium 5%	466,3 ± 7,3 a,b
Psyllium 7%	479,4 ± 31,6 a,b
Pectina 3%	476,8 ± 59,4 a,b
Pectina 5%	462,1 ± 69,7 a,b
Pectina 7%	575,9 ± 56,3 a

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

Se ha demostrado que la pectina en altas concentraciones es capaz de formar complejos con los compuestos fenólicos proporcionando mejoras en la características y estabilidad de los polifenoles como consecuencia de las interacciones y a la capacidad de protección de la pectina hacia los estos generando estabilidad y facilidad en la incorporación a la cadena alimenticia. Adicionalmente, las moléculas de pectina se entrelazan por los compuestos fenólicos con una alta influencia sobre las propiedades de la pared celular (Martínez, 2018).

Es de destacar que, en cuanto a las propiedades antioxidantes, el contenido de compuestos fenólicos en las muestras no es suficiente para explicar las diferencias encontradas en la capacidad reductora o antirradical, por lo cual, se deberían realizar estudios adicionales, para determinar otras moléculas que también aportan estas propiedades, como por ejemplo, carotenoides, o vitaminas, péptidos y otros.

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

3.3.1 Diámetro de expansión. En referencia al diámetro de expansión y largo ante la aplicación de psyllium y pectina a diferentes concentraciones, la tabla 6 muestra que el tratamiento con pectina al 7% puede provocar variaciones inversas en la relación entre el diámetro y el largo, siendo capaz de aumentar los valores de largo, pero disminuyendo los de diámetro. Se resalta la postura de Rajo (2010) quien plantea que en este parámetro es importante tener en cuenta que la pectina posee una influencia relevante en la textura de los productos, puesto que afecta la expansión y las dimensiones de los snacks.

Tabla 6. Diámetro de expansión

Muestra	Porcentaje de expansión	Largo (mm)
Control	400,21 ± 3 a	18,79 ± 0,2 c
Psyllium 3%	414,23 ± 5 a	18,76 ± 0,7 c
Psyllium 5%	410,88 ± 9 a	18,89 ± 0,3 c
Psyllium 7%	383,14 ± 1 a,b	18,91 ± 0,6 b,c
Pectina 3%	370,13 ± 5 a,b	18,96 ± 1,2 b,c
Pectina 5%	334,37 ± 7 b,c	19,02 ± 0,9 a
Pectina 7%	304,09 ± 6 c	19,13 ± 0,8 a

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

Es importante resaltar adicionalmente, que las adiciones de psyllium al 3% y 5% no presentan diferencias significativas con el control ni en las dimensiones de diámetro, ni de largo, lo cual es altamente interesante, ya que en general la adición de fibras ocasiona reducción en la expansión de los snacks. Es necesario visualizar que los aumentos en las concentraciones de los tratamientos se traducen en comportamientos específicos en cada una de las dimensiones presentadas, es decir, en el caso del diámetro, tanto en el psyllium como en la pectina, un aumento en las concentraciones provoca disminuciones en las medidas, situación opuesta al hablar del largo, en donde a medida que la concentración aumenta, el largo se comporta directamente proporcional.

La premisa anterior puede explicarse en el caso de la pectina según el estudio de Yanniotis, Petraki y Soumpasi (2007) en donde se resalta que a pesar de que dicho compuesto tiene la capacidad de hidratarse y aumentar de tamaño, también puede aumentar la viscosidad de la masa, dificultando de esta manera la expansión radial, lo que en los resultados de la tabla 6 se traduciría en el diámetro, reduciendo de esta manera esta expansión y así mismo la disponibilidad de agua.

3.3.2 Análisis textural de los snacks con fibra en el almacenamiento. En la tabla 7 se muestran los resultados del análisis textural durante los 36 días de análisis en condiciones ambientales controladas. Es relevante destacar cómo en una etapa inicial (D1) los valores son similares entre tratamientos, sin embargo el tratamiento con 7% de pectina fue el que presentó mayor dureza. Se ha encontrado que la pectina es capaz de aumentar la porosidad en los cereales y adyacentes, disminuyendo la dureza, probabilidad de ruptura prematura y la fractura de las paredes celulares (Yanniotis, Petraki y Soumpasi, 2007). Sin embargo, en altas concentraciones puede tener un efecto contrario, como se evidenció en este trabajo.

Tabla 7. Análisis de textura de los snacks bajo tratamiento de psyllium y pectina durante 36 días

	DUREZA (N)						
	D1	D3	D8	D10	D16	D23	D36
C	^B 6,07±3,04 ^a _b	^A 4,1±1,8 ^b	^{A,B} 5,7±2,9 ^{a,b}	^A 6,03±3,02 ^{a,b}	^{A,B} 6,5±3,4 ^a	^A 5,3±2,7 ^{a,b}	^A 4,7±2,0 ^{a,b}
S3	^B 3,33±0,06 ^a	^A 3,6±0,1 ^a	^B 4,1±0,2 ^a	^A 4,5±0,7 ^a	^{A,B} 5,0±0,3 ^a	^A 5,0±0,2 ^a	^A 4,4±0,2 ^a
S5	^B 3,6±0,3 ^b	^A 3,31±0,08 _b	^{A,B} 4,25±0,06 ^a _b	^A 4,755±0,004 ^a _b	^B 4,71±0,07 ^a _b	^A 5,7±0,5 ^a	^A 5,7±0,2 ^a
S7	^B 5,1±0,9 ^{a,b}	^A 4,0±0,2 ^b	^{A,B} 5,1±0,5 ^{a,b}	^A 6,1±0,5 ^a	^{A,B} 6,5±0,4 ^a	^A 6,1±0,2 ^a	^A 5,0±0,3 ^{a,b}
P3	^B 4,5±0,5 ^{a,b}	^A 3,3±0,1 ^b	^{A,B} 5,0±0,3 ^{a,b}	^A 5,5±0,3 ^a	^{A,B} 5,4±0,3 ^a	^A 4,8±0,5 ^{a,b}	^A 4,75±0,10 ^a _b
P5	^B 5,7±0,3 ^{a,b}	^A 4,10±0,03 _b	^{A,B} 5,8±0,4 ^{a,b}	^A 6,4±0,5 ^a	^{A,B} 6,7±0,3 ^a	^A 5,64±0,05 ^a _b	^A 5,5±0,2 ^{a,b}
P7	^A 6,6±0,2 ^a	^A 5,2±0,1 ^a	^A 6,19±0,05 ^a	^A 6,4±0,3 ^a	^A 6,8±0,2 ^a	^A 6,7±0,3 ^a	^A 5,9±0,1 ^a

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas.

Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

C: Control; S3: Psyllium 3%; S5: Psyllium 5%; S7: Psyllium 7%; P3: Pectina 3%; P5: Pectina 5%; P7: Pectina 7%.

Las iniciales de la letra D hacen referencia a los días transcurridos.

Las letras mayúsculas hacen referencia a la comparación de las muestras en el día

Las letras en minúscula significan la comparación de la misma muestra en el transcurso del tiempo.

Además, se pudo evidenciar que en los días D3, D10, D23 y D36, no había diferencias significativas entre los tratamientos y el control. Comparando cada uno de los tratamientos, en el transcurso de los días de almacenamiento, se presentan diferencias significativas para la dureza en todos los tratamientos, a excepción de las muestras con psyllium al 3% y pectina al 7%.

En el caso del control, en general no se presentan diferencias significativas, entre los tratamientos, sin embargo en el día 16 se presenta un mayor valor en la dureza, posiblemente debido a la absorción de agua en el equilibrio con la humedad relativa de la cámara de vida útil. En el caso de psyllium al 5% es posible visualizar variaciones estadísticamente significativas proporcionadas por el aumento de la dureza al final del almacenamiento, lo cual podría estar asociado a la influencia del agua y el oxígeno que puede provocar aumentos en la dureza, disminuyendo las posibles rupturas en la compresión (Cabeza, Gonzáles y Paredes, 2013).

Por otro lado, es posible visualizar que el comportamiento de las muestras con pectina al 3% y 5% es el mismo con el pasar de los días, presentando fluctuaciones constantes en el aumento o disminución de la dureza, variaciones que empiezan a ser evidentes desde el día 3 de evaluación. Estas fluctuaciones, son explicables debido a la irregularidad de los snacks en su estructura, y por ende no es posible evidenciar entre los D1 y D36 diferencias significativas con este parámetro.

Sin embargo, según Nawaz *et al.* (2021), los tratamientos con pectina en los diferentes snacks y alimentos suelen provocar aumentos significativos del parámetro, generando fluctuaciones entre la flexibilidad y la rigidez dependiente de los usos y los métodos de procesamiento empleados. En suma, es importante tener en cuenta, que según los autores, la dureza presenta relaciones inversamente proporcionales con la expansión, puesto que un aumento en la dureza genera la aparición de menos espacios intersticiales y por consiguiente, una menor expansión.

3.3.3 Rupturas del snack. Con respecto a las rupturas y la frecuencia espacial de los snacks ante las muestras y 36 días de monitoreo, es posible visualizar que en el D1, la inclusión de psyllium y pectina en los snacks produjo diferencias significativas en relación al control, generando un aumento en la frecuencia de ruptura de los snacks, en especial al hablar del tratamiento con psyllium al 3%.

Por otro lado, es posible visualizar que la muestra con psyllium al 5% y el tratamiento con pectina al 3% no presentan diferencias significativas, al igual que al comparar las muestras con psyllium y pectina al 7%, evidenciándose un aumento en referencia al control, pero sin obtener el valor más elevado en relación con los otros tratamientos, lo cual puede deberse a la concentración empleada, la cual si favorece dicha frecuencia espacial, pero también desencadena un aumento en la saturación del aditivo, lo que desencadena una saturación del mismo, generando de manera simultánea un frenado del incremento exponencial de la frecuencia espacial de las rupturas de los snacks (Martínez, 2018).

Tabla 8. Frecuencia espacial de las rupturas de los snacks durante 36 días

	Nsr (mm ⁻¹)						
	D1	D3	D8	D10	D16	D23	D36
C	C5,6±2,9 ^{b,c}	A8,9±4,6 ^a	A7,1±3,6 ^{a,b}	B5,1±2,3 ^{b,c}	A3,7±1,4 ^c	A2,8±1,0 ^d	A1,7±0,6 ^d
S3	A9,3±0,7 ^a	A9,6±0,6 ^a	A8,5±0,4 ^{a,b}	A,B7,0±0,4 ^b	A4,2±0,5 ^c	A4,1±0,2 ^c	A2,8±0,3 ^c
S5	A,B8,1±0,6 ^b	A10,7±0,2 ^a	A8,6±0,5 ^b	A8,2±0,3 ^b	A5,7±0,4 ^c	A4,7±0,7 ^c	A2,5±0,2 ^d
S7	A,B,C7,3±0,4 ^b	A10,4±0,3 ^a	A7,9±0,1 ^b	A,B6,3±0,1 ^{b,c}	A4,5±0,5 ^{c,d}	A3,57±0,05 ^{d,e}	A2,2±0,1 ^e
P3	A,B8,1±0,4 ^b	A10,52±0,09 ^a	A7,3±0,3 ^b	A,B6,4±0,3 ^{b,c}	A4,8±0,2 ^{c,d}	A4,1±0,3 ^d	A2,9±0,4 ^d
P5	B,C7,0±0,3 ^{b,c}	A10,0±0,4 ^a	A8,0±0,3 ^{a,b}	A,B6,6±0,5 ^{b,c}	A5,3±1,1 ^{c,d}	A3,9±0,2 ^{d,e}	A2,5±0,1 ^e
P7	A,B,C7,5±0,1 ^b	A9,6±0,3 ^a	A7,8±0,4 ^{a,b}	A,B6,8±0,6 ^{b,c}	A5,1±0,5 ^{c,d}	A3,7±0,4 ^{d,e}	A2,8±0,3 ^e

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media ± desviación estándar. C: Control; S3: Psyllium 3%; S5: Psyllium 5%; S7: Psyllium 7%; P3: Pectina 3%; P5: Pectina 5%; P7: Pectina 7%.

Las iniciales de la letra D hacen referencia a los días transcurridos.

Las letras mayúsculas hacen referencia a la comparación de las muestras en el día y las letras en minúscula significan la comparación de la misma muestra en el transcurso del tiempo.

Ahora bien, es importante destacar que con respecto al resto de los días, solamente el D10 presenta variaciones, presentándose diferencias significativas entre el control y los tratamientos. No obstante al observar el comportamiento de los tratamientos de manera independiente con el paso de los días, es posible evidenciar que todos los tratamientos, incluido el control, presenta variaciones en relación a la frecuencia de rupturas las cuales se evidencian con la disminución de estos valores al comparar el D1 con el D36, lo cual puede generarse según Cabeza, González y Paredes (2013) como consecuencia de la exposición del snack al oxígeno constante provocando la variación de textura de crocante a porosa induciendo ablandamientos con el paso del tiempo y no por la aplicación de las muestras de psyllium y pectina, puesto que el control también presenta disminución en dicho parámetro. Adicionalmente, es posible observar que los resultados obtenidos poseen relación con el estudio realizado por Muñoz-Pabón *et al.* (2022) en donde la frecuencia de rupturas oscila entre 5 mm⁻¹ y 12 mm⁻¹, encontrando concordancias numéricas con el tratamiento control, lo cual evidencia también la variación posterior a la aplicación de los tratamientos.

3.3.4 Fuerza de compresión. En relación con la fuerza de compresión aplicada en los snacks, se visualiza que en el D1 existen diferencias significativas entre los tratamientos de psyllium en todas sus concentraciones y de pectina al 3% en relación con el control, siendo los valores de dichos tratamientos, menores, lo que indica que la fuerza necesaria de compresión suministrada por cada snack también es menor.

Posterior al D1, es posible identificar que los días restantes no presentan diferencias significativas entre los controles y los tratamientos. Sin embargo, al visualizar el comportamiento de los snacks por tratamiento es posible visualizar que todas las muestras presentan fluctuaciones o variaciones a lo largo de los días a excepción de la muestra control, la cual permanece en el mismo rango numérico.

Es posible visualizar que en el caso de las muestras con psyllium al 5% y de pectina al 3 y 5% al comparar el día 1 con el día 36 se evidencian aumentos en la fuerza de compresión

necesaria de los snacks, teniendo en cuenta de que a pesar que en todos los casos por tratamiento la fuerza de compresión aumenta, en la situación previamente nombrada, el aumento es mayor. Ahora bien, al hablar de la pectina en general, es posible visualizar que los tres tratamientos inician con una estadística igual, sin embargo, las fluctuaciones a lo largo de los días, en especial en la pectina al 7% en donde a partir del día 8 presenta disparidades en comparación con los otros tratamientos. Lo cual al igual que en el ítem anterior podría explicarse debido a la exposición del snack a las condiciones naturales, lo que puede generar variaciones en las características físicas del snack provocando endurecimientos los cuales se traducirían en un aumento en las fuerzas de compresión necesarias para generar el aplastamiento del snack (Cabeza, González y Paredes, 2013).

Tabla 9. Fuerza de compresión promedio de snacks durante 36 días

	Fcr (N)						
	D1	D3	D8	D10	D16	D23	D36
C	$3,7 \pm 1,8^a$	$3,2 \pm 1,4^a$	$3,6 \pm 1,8^a$	$3,7 \pm 1,7^a$	$4,3 \pm 2,3^a$	$3,7 \pm 1,8^a$	$3,4 \pm 1,6^a$
S3	$1,9 \pm 0,3^b$	$1,9 \pm 0,1^b$	$2,5 \pm 0,2^{a,b}$	$2,9 \pm 0,4^{a,b}$	$3,4 \pm 0,3^a$	$3,3 \pm 0,3^a$	$3,1 \pm 0,2^{a,b}$
S5	$2,1 \pm 0,1^{b,c}$	$1,9 \pm 0,2^c$	$2,6 \pm 0,1^{b,c}$	$2,9 \pm 0,1^{a,b,c}$	$3,3 \pm 0,1^{a,b}$	$3,9 \pm 0,2^a$	$3,9 \pm 0,1^a$
S7	$3,1 \pm 0,7^{b,c}$	$2,3 \pm 0,3^c$	$3,07 \pm 0,09^b$ _c	$3,8 \pm 0,1^{a,b}$	$4,4 \pm 0,2^a$	$4,29 \pm 0,09^a$ _b	$3,4 \pm 0,2^{a,b,c}$
P3	$2,8 \pm 0,4$ _{a,b}	$1,9 \pm 0,1^b$	$3,0 \pm 0,3^{a,b}$	$3,62 \pm 0,04^a$	$3,6 \pm 0,3^a$	$3,4 \pm 0,3^a$	$3,3 \pm 0,2^a$
P5	$3,7 \pm 0,3^{a,b}$	$2,41 \pm 0,06^b$	$3,6 \pm 0,2^{a,b}$	$4,0 \pm 0,3^a$	$4,5 \pm 0,2^a$	$3,8 \pm 0,1^a$	$3,8 \pm 0,2^a$
P7	$4,1 \pm 0,2^{a,b}$	$3,13 \pm 0,09^b$	$3,7 \pm 0,4^{a,b}$	$4,0 \pm 0,3^{a,b}$	$4,5 \pm 0,2^a$ _b	$4,6 \pm 0,2^a$	$4,11 \pm 0,05$ _{a,b}

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media \pm desviación estándar. C: Control; S3: Psyllium 3%; S5: Psyllium 5%; S7: Psyllium 7%; P3: Pectina 3%; P5: Pectina 5%; P7: Pectina 7%.

Las iniciales de la letra D hacen referencia a los días transcurridos. Las letras mayúsculas hacen referencia a la comparación de las muestras en el día y las letras en minúscula significan la comparación de la misma muestra en el transcurso del tiempo.

3.3.5 Trabajo de trituración. Al hablar del trabajo de trituración de los snacks, es posible evidenciar que en el D1, el trabajo requerido para la trituración del snack es reducido debido a la crocancia de estos ante la aplicación de los tratamientos de psyllium y pectina, es decir, con menor requerimiento de trabajo en los tratamientos con psyllium siendo el tratamiento de 3% y 5% el de menor trabajo requerido reportado estadísticamente. En este mismo día, las muestras con pectina no presentan diferencias significativas entre sí pero sí en relación con el control (Tabla 10), presentando valores más bajos, por lo que es necesario destacar que la adición de la pectina a los snacks es capaz de conducir a diferencias en la porosidad de los snacks y a la reducción de la expansión, situación que puede favorecer o dificultar el proceso de trituración del snack (Ramos, 2015).

En el transcurso de los días D3, D8 y D10 no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos y el control ni entre tratamientos, a diferencia de los días posteriores en donde sí ocurre, visualizándose valores más bajos en comparación con el control pero más altos en comparación con el día 1.

Tabla 10. Trabajo de trituración de snacks durante 36 días

	Wc (N . mm)						
	D1	D3	D8	D10	D16	D23	D36
C	A0,7±0,3 ^c	A0,4±0,1 ^c	A0,5±0,2 ^c	A0,8±0,3 ^c	A1,3±0,5 ^b	A1,5±0,5 ^b	A2,2±0,8 ^a
S3	B0,21±0,04 ^b	A0,21±0,01 ^b	A0,30±0,03 ^b	A0,43±0,08 ^b	A,B0,9±0,2 ^a	B0,9±0,2 ^a	D1,19±0,07 ^a
S5	B0,27±0,03 ^c _d	A0,18±0,02 ^d	A0,30±0,02 ^c _d	A0,36±0,02 ^c _d	B0,62±0,08 ^b _c	B0,9±0,2 ^b	B1,8±0,7 ^a
S7	A,B0,5±0,1 ^d	A0,22±0,02 ^d	A0,398±0,00 _g ^d	A0,62±0,04 ^c _d	A,B1,02±0,08 _{b,c}	A,B1,23±0,0 _g ^b	A,B1,8±0,3 ^a
P3	A,B0,37±0,09 _{c,d}	A0,18±0,02 ^d	A0,43±0,05 ^c _d	A0,6±0,1 ^{b,c,d}	B0,80±0,02 ^b _c	B0,9±0,1 ^{a,b}	C,D1,3±0,3 ^a
P5	A,B0,55±0,01 _{c,d}	A0,247±0,00 ₃ ^d	A0,47±0,08 ^d	A0,63±0,06 ^b _{c,d}	A,B0,9±0,2 ^{b,c}	A,B1,0±0,2 ^b	B,C1,7±0,3 ^a
P7	A,B0,58±0,06 _{c,d}	A0,33±0,02 ^d	A0,49±0,06 ^c _d	A0,6±0,1 ^{c,d}	A,B0,90±0,05 _{b,c}	A,B1,3±0,1 ^a _b	B,C,D1,56±0,0 ₈ ^a

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media ± desviación estándar. C: Control; S3: Psyllium 3%; S5: Psyllium 5%; S7: Psyllium 7%; P3: Pectina 3%; P5: Pectina 5%; P7: Pectina 7%.

Las iniciales de la letra D hacen referencia a los días transcurridos. Las letras mayúsculas hacen referencia a la comparación de las muestras en el día y las letras en minúscula significan la comparación de la misma muestra en el transcurso del tiempo.

Por esta razón, fue necesario comparar el comportamiento de los snacks por tratamiento, siendo posible evidenciar que al contrastar los resultados del D1 y del D36 en cada uno de los tratamientos, las diferencias estadísticas son evidentes y traducidas en un aumento en el trabajo de trituración, al especial al hablar del control, lo que podría significar que los aditivos de pectina y psyllium son capaces de retrasar al menos en pequeñas proporciones el proceso de endurecimiento o ablandamiento por acción del oxígeno y la humedad y los compuestos naturales que son capaces de ocasionar variaciones en los snacks (Cabeza, González y Paredes, 2013).

Por otra parte, es posible evidenciar que el comportamiento de los tratamientos con pectinas es similar en todas las concentraciones, presentando variaciones pequeñas a nivel estadístico con el paso de los días. Sin embargo, en la comparación del día inicial con el final, a pesar de que se presentan diferencias estadísticas entre días, no se presentan entre tratamientos, por lo que la concentración no influye de manera diferencial en este caso.

Por esta razón, es importante destacar que la reducción del trabajo en las muestras puede deberse a la actividad del agua la cual afecta de manera directa la intensidad de la textura crujiente de los snacks; según Muñoz-Pabón *et al.* (2022), los procesos de horneado son capaces de eliminar la cantidad de agua presente en el snack disminuyendo la humedad y brindando crocancia, reduciendo a su vez el trabajo necesario para la trituración de estos, situación que se relaciona de manera estrecha con los resultados obtenidos.

3.3.6 Densidad aparente. En relación a la densidad aparente, es posible visualizar en la tabla 11 que los tratamientos no presentan diferencias significativas en comparación con el

control a excepción de los snacks con tratamiento de pectina al 5% y al 7% presentándose valores elevados en relación con el tratamiento control. Esto puede deberse según Pérez, Elías y Delgado (2017), al aumento de la densidad aparente en ambos casos, atribuido a la presencia de fibra soluble encargada de absorber la humedad y por consiguiente afectar la densidad por el aumento de la masa en el volumen determinado. Adicionalmente, Ravindran, Carr y Hardacre (2011), expresaron que la densidad aparente se relaciona de manera directa con los grados de expansión (Tabla 6), razón por la cual en la comparación de ambas tablas, es posible visualizar que dicha relación se cumple en el caso de la pectina en especial al hablar de las modificaciones en el promedio del largo de los snacks.

Tabla 11. Densidad aparente de los snacks ante muestra de psyllium y pectina

Muestra	Densidad aparente (g/mL)
Control	0,0598 ± 0,0008 b
Psyllium 3%	0,0611 ± 0,0005 b
Psyllium 5%	0,060 ± 0,001 b
Psyllium 7%	0,0626 ± 0,0005 b
Pectina 3%	0,061 ± 0,001 b
Pectina 5%	0,0641 ± 0,0008 a,b
Pectina 7%	0,069 ± 0,001 a

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media ± desv. est.

3.3.7 Actividad del agua. Para la actividad del agua, es posible visualizar en la tabla 12 como en el D1 los tratamientos con psyllium al 3% y al 7% y el tratamiento con pectina al 7% presentan diferencias significativas en relación con el control, siendo el último tratamiento nombrado aquel que presenta una actividad del agua mayor. Con el paso de los días, es posible seguir visualizando las diferencias significativas entre los tratamientos y el control, hasta llegar al D36, en donde todos los tratamientos muestran discrepancias estadísticas a excepción del tratamiento con psyllium al 3%, situación que se presenta de manera opuesta en el día 8, en donde dicho tratamiento es el único que presenta diferencias significativas en comparación con las otras muestras y el control.

Al comparar la actividad del agua por tratamiento en relación con los días, es posible evidenciar que todos los tratamientos presentan variaciones entre el día 1 y el día 36, visualizando aumentos progresivos en la actividad del agua casi del tipo lineal, pasando de valores cercanos al 0,1 en el día 1 a datos superiores al 0,5 en el día 36, siendo el tratamiento con psyllium al 5% el que presentó un aumento más evidente a nivel estadístico. Por esta razón, es importante tener en cuenta que la actividad del agua es un factor fundamental para que el crecimiento microbiano sea efectivo, en conjunto con la resistencia a los cambios de temperatura y para la producción de toxinas, por lo que la actividad del agua y los índices que la acompañan no sólo desempeñan labor de equilibrio químico, sino que al hablar de alimentos, son influyentes en la calidad de estos (Hurtado, 2018).

En la tabla siguiente, letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media ± desviación estándar. C: Control; S3: Psyllium 3%; S5: Psyllium

5%; S7: Psyllium 7%; P3: Pectina 3%; P5: Pectina 5%; P7: Pectina 7%. Las iniciales de la letra D hacen referencia a los días transcurridos. Las letras mayúsculas hacen referencia a la comparación de las muestras en el día y las letras en minúscula significan la comparación de la misma muestra en el transcurso del tiempo.

Tabla 12. Actividad de agua

	D1	D3	D8	D10	D16	D23	D36
C	^B 0,11±0,01 ^f	^C 0,16±0,02 ^e	^B 0,28±0,01 ^d	^{B,C} 0,33±0,01 ^c	^{B,C} 0,427±0,006 ^b	^B 0,45±0,01 ^b	^A 0,58±0,01 ^a
S 3	^{A,B} 0,12±0,03 ^f	^A 0,24±0,04 ^e	^A 0,363±0,006 ^d	^A 0,41±0,01 ^c	^A 0,50±0,01 ^b	^A 0,523±0,006 ^b	^A 0,58±0,01 ^a
S 5	^B 0,11±0,02 ^g	^{B,C} 0,18±0,02 ^f	^B 0,26±0,02 ^e	^C 0,31±0,02 ^d	^{C,D} 0,40±0,02 ^c	^B 0,46±0,03 ^b	^C 0,537±0,006 ^a
S 7	^{A,B} 0,12±0,07 ^f	^B 0,20±0,02 ^e	^B 0,29±0,04 ^d	^B 0,36±0,02 ^c	^B 0,44±0,02 ^b	^B 0,46±0,02 ^b	^{A,B} 0,577±0,006 ^a
P 3	^B 0,09±0,01 ^f	^{B,C} 0,18±0,03 ^e	^B 0,28±0,02 ^d	^B 0,36±0,01 ^c	^B 0,44±0,02 ^b	^{B,C} 0,443±0,006 ^b	^{A,B,C} 0,6±0,01 ^a
P 5	^B 0,107±0,006 ^f	^{B,C} 0,19±0,03 ^e	^B 0,267±0,006 ^d	^{B,C} 0,333±0,006 ^c	^{C,D} 0,39±0,02 ^b	^C 0,4±0,01 ^b	^{B,C} 0,543±0,006 ^a
P 7	^A 0,15±0,01 ^e	^{B,C} 0,183±0,006 ^e	^B 0,27±0,01 ^d	^C 0,317±0,006 ^c	^D 0,383±0,006 ^b	^C 0,413±0,006 ^b	^{B,C} 0,543±0,006 ^a

3.3.8 Índice de Absorción de agua (IAA) e Índice de Solubilidad en agua (ISA). Por otra parte, se tuvo en cuenta el índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA). Es posible visualizar a nivel de IAA como todos los tratamientos presentan diferencias significativas en comparación con el control a excepción del tratamiento con pectina al 7%. Los demás tratamientos demuestran un aumento en el índice de absorción de agua para los snacks, siendo la muestra con pectina al 3% la que presenta el mayor IAA. Además, este aumento en el índice de absorción del agua es capaz de afectar de manera directa en el hinchamiento del snack, lo cual puede influir de manera directa en las características físicas del producto, en especial en sus dimensiones, ampliándolas de manera significativa. Por otro lado, al hablar del ISA, es necesario destacar que todos los tratamientos presentan diferencias significativas en comparación con el control, siendo el tratamiento con pectina al 7% en snacks, el que presenta un mayor índice de solubilidad en el agua y el tratamiento con psyllium al 3% el de menor ISA.

Tabla 13. Índice de solubilidad y absorción en los snacks ante muestra de psyllium y pectina

Muestra	I.A.A	I.S.A
Control	5,7 ± 0,2 d	0,197 ± 0,005 b,c
Psyllium 3%	6,0 ± 0,3 c,d	0,14 ± 0,05 c
Psyllium 5%	6 ± 1 a,b	0,21 ± 0,02 a,b
Psyllium 7%	6,5 ± 0,1 a,b	0,208 ± 0,007 a,b
Pectina 3%	6,86 ± 0,07 a	0,21 ± 0,01 a,b
Pectina 5%	6,23 ± 0,04 b,c	0,225 ± 0,003 a,b
Pectina 7%	5,6 ± 0,1 d	0,26 ± 0,01 a

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

El aumento en la solubilidad de la pectina es explicado por Valencia y Montoya (2021) en donde se expresa que la pectina es altamente soluble al entrar en contacto con el agua y que posee azúcares neutros que se encuentran unidos a la cadena de esta destacando la xilosa, arabinosa y galactosa. Caso contrario en el tratamiento con psyllium al 3%, puesto que según Askari *et al.* (2018), el psyllium además de ser empleado para la obtención de películas biodegradables, también es caracterizado por ser termoestable y además menos permeable y soluble al agua, razón que explica el valor del ISA.

3.3.9 Humedad. Con respecto a la humedad contenida en los snacks, es posible visualizar en la tabla 14 como todos los tratamientos presentan diferencias significativas en comparación con el control a excepción del tratamiento con pectina al 7%, sin embargo, es necesario resaltar que todos los tratamientos en todas las concentraciones redujeron la humedad presente en el snack, siendo el menor valor el proporcionado por el snack con muestra de pectina al 5%, seguido por el tratamiento de psyllium a la misma concentración.

Es importante tener en cuenta que la humedad en los snacks permite entender y predecir las propiedades estructurales y de aceptación de los consumidores, ya que las fluctuaciones en la humedad pueden modificar las texturas de estos productos y promover los procesos de oxidación o deterioro (Paredes, 2009). Este parámetro se relaciona de manera inversa con el ítem de ruptura de snacks, puesto según Ordoñez-Ordoñez *et al.* (2020) valores menores de humedad pueden generar una mayor cantidad de fracturas, a diferencia de los posibles resultados ante la presencia de agua, en donde está es capaz de permitir la compresión de las muestras.

Tabla 14. Humedad de los snacks ante muestra de psyllium y pectina

Muestra	Humedad
Control	3,84 ± 0,05 a
Psyllium 3%	3,56 ± 0,01 a,b
Psyllium 5%	2,9 ± 0,2 b,c
Psyllium 7%	3,26 ± 0,03 a,b,c
Pectina 3%	3,0 ± 0,1 b,c
Pectina 5%	2,86 ± 0,09 c
Pectina 7%	3,7 ± 0,4 a

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas. Los resultados están dados como media ± desviación estándar.

4. CONCLUSIONES

En primera instancia, es posible concluir que la producción de snacks tipo expandidos con harinas de quinua hiperproteica y arroz y adicionados con fibras solubles, son una alternativa más saludable a los snacks tradicionales, por los amplios beneficios conocidos que otorga la fibra dietaria.

Los snacks producidos en este trabajo, presentan una funcionalidad en términos del poder reductor y capacidad para complejar radicales libres. Para este estudio se concluye que los snacks adicionados con psyllium presentan mayor capacidad para acomplejar radicales libres, mientras que los adicionados con pectina un mayor poder reductor. Además, deben ser estudiados otros compuestos adicionales a los compuestos fenólicos para explicar los resultados obtenidos.

Las características texturales de los snacks con psyllium son similares a las del control pero en razón del tiempo de exposición a la humedad y especialmente al oxígeno se ve reducido exponencialmente la crocancia y dureza de estos.

En relación con el diámetro de expansión los snacks tratados con pectina presentaron una menor expansión en comparación con los snacks tratados con psyllium, siendo estos muy similares al control, caso contrario en la medición de longitud en donde los snacks tratados con pectina presentan mayor longitud que los tratados con psyllium, siendo los de psyllium más similares al control.

5. RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis de diferentes tipos de fitoquímicos, como por ejemplo carotenoides, vitamina E, vitamina A, péptidos, bioactivos para relacionar mejor las propiedades antioxidantes, anti radicalarias y reductoras.
2. Realizar un estudio complementario donde se utilice solo la fibra de psyllium y donde amplíe el porcentaje de adición de psyllium para verificar hasta donde se permiten obtener características texturales similares las del control.
3. Adicionar la fibra psyllium a otros tipos de snacks para verificar los efectos en otras aplicaciones alimentarias como por ejemplo la panadería, repostería, bebidas.
4. Establecer un análisis reológico para analizar el efecto de la fibra en los porcentajes adicionales sobre las propiedades reológicas de la masa para correlacionar los resultados texturales con los resultados de sus propiedades viscoelásticas y de flujo de la masa de las harinas y la fibra

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE TAFUR, David y CALDERON MERA, Yessica. Elaboración de una mezcla alimenticia extruida a base de harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), arroz (*Oriza sativa*) y frijol gandul (*Canajuscajan*) saborizado con harina de lúcuma. Tesis Ingeniería de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque: 2015, 133 p.

APONTE MARTINEZ, Edwin y FRANCO CRESPO, Christian. Desarrollo de una barra energética a partir de cultivos andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Avena (*Avena Sativa*) y Amaranto (*Amaranthus Caudatus* L.). Tesis Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: 2022. 86 p.

ARIAS GARCÍA, Rosa; PÉREZ PALACIOS, Gregorio y DURÁN DE BAZÚA, Carmen. Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 2: Montaje, arranque y operación de una planta industrial. En: Revista Tecnología, Ciencia y Educación, 2007, vol. 22, no. 2, pág. 67-77. ISSN 0186-6036.

ASKARI, Fatemeh; SADEGHI, Ehsan; MOHAMMADI, Reza y ROUHI, Milad. The physicochemical and structural properties of psyllium gum/modified starch composite edible film. En: Journal of Food Processing and Preservation, 2018, vol. 42, no. 10, pág. 13715. ISSN 1745-4549. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13715>

ATARÉS, Lorena. Determinación de la porosidad [en línea]. Documento docente. Escuela Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España: 2022 [citado enero, 2023]. Disponible en internet en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/52102>

BASANTA, María F.; de ESCALADA PRÁ, Marina; RAFFO, María; STORTZ, Carlos y ROJAS, Ana M. Cherry fibers isolated from harvest residues as valuable dietary fiber and functional food ingredients. En: Journal of Food Engineering, 2014, vol. 126, pág. 149-155. ISSN 0260-8774. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.010>

BECERRA CAMPOS, Gabriela y MONZÓN CONTRERAS, Lisbeth. Optimización de la extracción de compuestos fenólicos asistida por ultrasonido en residuos de palta Hass (*Persea americana*). Tesis Maestría. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú: 2019. ISSN 0003-2697. Doi: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

BETROUCHE, Amel; ESTIVI, Lorenzo; COLOMBO, Davide; POASINO, Gabriella; BENATALLAH, Leila; BRANDOLINI, Andrea e HIDALGO, Alissa. Antioxidant properties of gluten-free pasta enriched with vegetable by-products. En: Molecules, 2022, vol. 27, no. 24, pág. 89-93. ISSN 1420-3049. Doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27248993>

CABEZA, Luis; GONZÁLEZ, Alexander y PAREDES, Ennys. Termodinámica en el corte de los materiales. Ministerio del Poder Popular para la Educación Superior. Caracas: 2013.

CABEZAS ZABALA, Claudia Constanza; HERNÁNDEZ TORRES, Blanca Cecilia y VARGAS ZÁRATE, Melier. Azúcares adicionados a los alimentos: efectos en la salud y regulación mundial. Revisión de la literatura. En: Revista de la Facultad de Medicina, 2016, vol. 64, no. 2, pág. 319. Doi: <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n2.52143>

CALÁN COY, Gustavo Enrique. Desarrollo de una pasta alimenticia con mezcla de harina de trigo y harina de arroz. Trabajo de grado. Universidad Galileo Guatemala. 2013. 47 p.

CANAVIRI CONDORI, Santusa. Elaboración de un producto snack libre de gluten a partir de cereales andinos quinua (*Chenopodium quinoa will*) y arroz (*Oryza sativa*) por la tecnología de extrusión en la empresa Irupana Andean Organic Food S.A. Tesis Química Industrial. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz: 2017, 139 p.

CASTILLO, Sandra y GONZÁLEZ, Maritza. Desarrollo de un proceso tecnológico para obtener una harina hiperproteica de quinua, aplicable en la empresa Segalco S.A.S. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad del Cauca. Popayán: 2018, 116 p.

CATUCUAMBA, Tania. Estudio de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willdenow*) en la elaboración de cupcake relleno de chocolate. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Estatal de Carchi. Tulcán: 2021, 87 p.

CHASQUIBOL-SILVA, Nancy; ARROYO-BENITES, Edmundo y MORALES-GOMERO, Juan Carlos. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. En: Ingeniería Industrial, 2008, no. 026, pág. 175. ISSN 1025-9929.

ESCUADERO ÁLVAREZ, Elena y GONZÁLEZ SÁNCHEZ, P. La fibra dietética. En: Nutrición Hospitalaria, 2006, vol. 21, no. 2, pág. 61-72. ISSN 1699-5198.

FAO – ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial [en línea]. FAO: 2011. 66 p. [citado enero, 2023]. Disponible en Internet en: <https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>

FERREIRA, Salomón. Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: 2007, 188 p. ISBN 978-958-701-862-2.

FREITAS, Kamila. Efeito do processamento e avaliação da estabilidade de blends de vegetais enriquecidos com espirulina e psyllium. Trabajo de grado. Universidad Federal do Ceará. Fortaleza: 2019. 72 p.

GÁLVEZ, Marina. Estudio de los componentes químicos de *Plantago* spp. como posibles agentes antitumorales. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla: 2004, 338 p.

GARCÍA-MONTALVO, Iván Antonio; MÉNDEZ DÍAZ, Sheila Yamile; SÁNCHEZ MEDINA, Marco Antonio; AGUIRRE GUZMÁN, Noyoltzin; MATÍAS PÉREZ, Diana y PÉREZ CAMPOS, Eduardo. Incremento en el consumo de fibra dietética complementario al tratamiento del síndrome metabólico. En: Nutrición Hospitalaria, 2018, vol. 35, no. 3.

HERRERA HERRERA, Evelyn. Desarrollo de una barra energética con adición de harina de maca (*Lepidium meyenii*). Trabajo de grado. Universidad UTE. Quito: 2020, 62 p.

HOLGUÍN, Boris y VÉLEZ, Nicolle. Evaluación fisicoquímicas, sensoriales y reológicas por la sustitución parcial de harina de trigo con harina de quinoa y harina arroz integral precocido en productos de panadería. Trabajo de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil: 2020, 125 p.

HUAMANI-H, Alberto; PONCE-RAMÍREZ, Juan y MÁLAGA-JUÁREZ, Jorge. Optimization of the quinoa cooking process using the 3k design and the desirability function: Degree of gelatinization, water absorption index, solubility index and cotyledon detachment. En: Scientia Agropecuaria, 2020. vol. 11, no. 3, pág. 381-390. ISSN 2306-6741. Doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>

HURTADO, Triana. Influencia de la incorporación de fibra de caqui sobre las propiedades fisicoquímicas de galletas. Trabajo de grado. Universitat Politècnica de València. España: 2018.

JURADO, Brenda y MARULANDA, Melissa. Evaluación de las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas de avena con inclusión de harina de quinua (*Chenopodium quinua* Willd) proveniente de Subchoque Cundinamarca. Tesis Ingeniería de Alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá: 2022, 138 p.

KARADAG, Ayse; OZCELIK, Beraat y SANER, Samim. Review of methods to determine antioxidant capacities. En: Food Analytical Methods, 2009, vol. 2, no. 41, pág. 60.

KOOCHEKI, A.; RAZAVI, S.M.A.; MILANI, E.; MOGHADAM, T.M.; ABEDINI, M.; ALAMATIYAN, S. e IZADKHAH, S. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. En: International Agrophysics, 2007, vol. 21, pág. 349-359.

KOŠŤÁLOVÁ, Zuzana; HROMÁDKOVÁ, Zdenka; EBRINGEROVÁ, Anna; POLOVKA, Martin; MICHAELSEN, Terje Einar y PAULSEN, Berit. Polysaccharides from the Styrian oil-pumpkin with antioxidant and complement-fixing activity. En: *Industrial Crops and Products*, 2013, vol. 41, pág. 127-133. ISSN 0926-6690. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.029>

KUSKOSKI, E Marta; ASUERO, Agustín G.; TRONCOSO; Ana M.; MANCINI-FILHO; Jorge y FETT, Roseane. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. En: *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2005, vol. 25, no. 4, pág. 726-732. ISSN 0101-2061. Doi: <https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000400016>

LAISE, Carolina. Desarrollo de snack salado con harina de quinoa [en línea]. Proyecto de prefactibilidad. Ingeniería en Alimentos. Scribd: 2018 [citado diciembre, 2022]. Disponible en Internet en: <http://200.37.61.90/bitstream/handle/UNS/3530/50091.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LÁZARO, Jeniffer y SOTELO, Génesis. Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo (*Zea mays*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) obtenido mediante extrusión. Trabajo de grado. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú: 2017.

MAGALHÃES, Luís M.; SEGUNDO, Marcela A.; REIS, Salette y LIMA, José. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. En: *Analytica Chimica Acta*, 2008, vol. 613, no. 1, pág. 1-19. ISSN 0003-2670. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.02.047>

MANOSALVAS QUIROZ, Luis Armando; VILLACRÉS, Clara Elena y TAIMAL, Richard. Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. En: *Revista Bases de la Ciencia*, 2019. vol. 4, no. 3, pág. 67. ISSN 2588-0764. Doi: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1911

MANTILLA-MANTILLA, Margarita. Caracterización de pectina extraída a partir de residuos de fruta. Trabajo de grado. Universidad de los Andes. Bogotá: 2020. 86 p.

MÁRQUEZ VILLACORTA, Luis y PRETELL VÁSQUEZ, Carla. Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína. En: *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2018, vol. 16, no. 2. Doi: <https://doi.org/10.18684/bsaa.16n2.1167>

MARTÍNEZ, José. Evaluación de pectinas cítricas de toronja (*Citrus paradisi* var. Star Ruby) y mandarina (*Citrus reticulata* blanco var. Tangerina) como agentes encapsulantes de

extractos acuosos de *Stevia rebaudiana* Bertoni. Tesis de maestría. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida: 2018, 168 p.

MEAÑO, Ninoska; CIARFELLA, Ana y DORTA, Ana. Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. En: Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 2014, vol. 26, no. 2, pág. 182-187.

MOSTACILLA, Sory y ORDOÑEZ, Aura. Evaluación de los parámetros de textura en un snack a partir de una mezcla de cereales desarrollado en la empresa Segalco S.A.S. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad del Cauca. Popayán: 2019, 99 p.

MUÑOZ-PABON, Karen Sofía; ROA ACOSTA, Diego Fernando; HOYOS CONCHA, José Luis; BRAVO GÓMEZ, Jesús Eduardo y ORTIZ GOMEZ, Vicente. Quinoa Snack Production at an industrial level: effect of extrusion and baking on digestibility, bioactive, rheological, and physical properties. En: Foods, 2022, vol. 11, no. 21, pág. 3383. ISSN 2304-8158. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods11213383>

MURILLO, Ana y RODRÍGUEZ, Daniela. Alimentación saludable, la gran tendencia del consumo actual. Tesis Ingeniería de alimentos. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali: 2018, 106 p.

NASPUD, Maritza. Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos alcohólicos del fruto de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos con tres pretratamientos térmicos. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador: 2018, 61 p.

NAWAZ, Asad; LI, Enpeg; KHALIFA, Ibrahim; WALAYAT, Noman; LIU, Jianhua; NILO, Far; AHSAN, Hafiz; IRSHAD, Sana; BARAKAT, Hassan; LORENZO, José M.; PATEIRO, Mirian; SIDDIQUI, Shahida y UR-RAHEEM, Muhammad. Effect of structurally different pectin on dough rheology, structure, pasting and water distribution properties of partially meat-based sugar snap cookies. En: Foods, 2021, vol. 10, no. 11, pág. 2692. ISSN 2304-8158. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods10112692>

NIETO-CALVACHE, Jhon Edinson; DE ESCALADA PLA, Marina y GERSCHENSON, Lía Noemi. Dietary fibre concentrates produced from papaya by-products for agroindustrial waste valorisation. En: International Journal of Food Science & Technology, 2018, vol. 54, no. 4, pág. 1074-1080. ISSN 1365-2621. Doi: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13962>

ORDOÑEZ-ORDOÑEZ, Aura; MOSTACILLA PERDOMO, Sory; SOLANILLA DUQUE, José; BRAVO GÓMEZ, Jesús. Changes on textural parameters of a snack made from a mixture of quinoa (*Chenopodium quinoa*), rice (*Oryza sativa*) and sacha inchi (*Plukenetia*

volubilis) flours: effects of storage temperature and humidity. En: Sylwan, 2020, vol. 164, no. 4.

ORTEGA, Antonio. Elaboración de alimento funcional tipo gelatina a partir de pectina extraída de cáscara de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y prebiótico extraído del ajo (*Allium sativum*). Trabajo de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil: 2018, 112 p.

PAJARITO, José. Obtención y caracterización de la harina integral de quinoa orgánica. Universidad de Chile. Santiago de Chile: 2005, 45 p.

PAREDES, Carolina. Desarrollo de bastones horneados a partir de papas de las variedades Michuñe Negra y Michuñe Roja originarias de la Provincia de Chiloé. Trabajo de grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia: 2009, 93 p.

PEÑARRIETA, Mauricio; TEJEDA, Leslie; MOLLINEDO, Patricia; VILA, José y BRAVO, José. Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. En: Revista Boliviana de Química. 2014, vol. 31, no. 2, pág. 68-81. ISSN 0250-5460.

PÉREZ, Katherine; ELÍAS, Carlos y DELGADO, Víctor. High-protein snack: an extruded from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), and sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). En: Scientia Agropecuaria, 2017, vl. 8, no. 4, pág. 377-388 ISSN 2306-6741. Doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>

PINTO DIAS, Luciana; RAIMONDI DE SOUZA, Simone; SAHADE, Viviane; CABRAL CANTANHEDE, Nayra Anielly; ALBUQUERQUE DE FIGUEIREDO, José y WEBER, Bernadete. Intake of fibers and its association with cardiometabolic risk factors in individuals on a secondary prevention for cardiovascular diseases: a multicenter study. En: Nutrición Hospitalaria, 2017, vol. 34, no. 5, pág. 1146-1154. ISSN 1699-5198. Doi: <https://doi.org/10.20960/nh.751>

QUIÑONES, M.; MIGUEL, Marta y ALEIXANDRE, A. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. En: Nutrición Hospitalaria, 2012, vol. 27, no. 1.

RAJO, Julián. Diseño y construcción de un extrusor para cereales. Trabajo de grado. Universidad Agraria de la Selva. Tingo María, Perú: 2010, 104 p.

RAMÍREZ, Angie. Desarrollo del aporte nutricional de una galleta con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y harina de arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo de grado. Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil: 2020, 115 p.

RAMOS DIAZ, José Martín; SUURONEN, Jussi; DEEGAN, Kevin; SERIMAA, Ritva; TUORILA, Hely y JOUPPILA, Kirsi. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. En: LWT - Food Science and Technology, 2015, vol. 64, no. 2, pág. 1047-1056. ISSN 0023-6438. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.011>

RAVINDRAN, Ganesharane; CARR, Alistair y HARDACRE, Allan. A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends. En: Food Chemistry, 2011, vol. 124, no. 4, pág. 1620-1626. ISSN 0308-8146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.030>

REPO-CARRASCO, Ritva; PILCO, Juan Julio y ENCINA-ZELADA, Christian René. Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.). En: Ingeniería Industrial, 2011, no. 029, pág. 207. ISSN 1025-9929. Doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.235>

RIOJA ANTEZANA, Alejandra; VIZALUQUE, Beatriz; ALIAGA ROSSEL, Enzo; TEJADA, Leslie; BOOK, Olof; MOLLINEDO, Patricia y PEÑARRIETA, J. Mauricio. Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de *Chenopodium quinoa*. En: Revista Boliviana de Química, 2018, vol. 35, no. 5, pág. 168-176.

RIVEROS, Yosemite. Efecto de la proporción de harinas de tarwi (*Lupinus mutabilis*): yuca (*Manihot esculenta*): arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de un snack. Trabajo de grado. Universidad César Vallejo. Trujillo: 2020, 74 p.

RODRÍGUEZ, Eduardo; LASCANO, Alexandra y SANDOVAL, Galo. Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. En: Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, 2012, vol. 15, no. 1, pág. 199-207.

SACÓN VERA, Ely Fernando; BERNAL BAILON, Ingrid Ibeth; DUEÑAS, Alex Alberto; COBEÑA RUIZ, Gloria y LOPEZ BELLO, Nancy. Reología de mezclas de harinas de camote y trigo para elaborar pan. En: Tecnología Química, 2016, vol. 16, no. 3, pág. 457-467.

SALAZAR, Laura. Desarrollo de un snack saludable para la población senior joven. Tesis de maestría. Universidad de Valladolid. Palencia: España: 2019, 35 p.

SÁNCHEZ, Celia. Incorporación del psyllium en productos alimentarios tipo pudding. Tesis de maestría. Universidad de Valladolid. Valladolid, España: 2019.

SÁNCHEZ ALMARAZ, Rosalía; MARTÍN FUENTES, María; PALMA MILLA, Samara; LÓPEZ PLAZA, Bricia; BERMEJO LÓPEZ, Laura M. y GÓMEZ CANDELA, Carmen. Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías. En: *Nutrición Hospitalaria*, 2015, vol. 31, no. 6. ISSN 0212-1611. Doi: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.6.9023>

SHI, Shuyun; GUO, Keke; TONG, Runna; LIU, Yuge; TONG, Chaoying; PENG, Mijun. Online extraction–HPLC–FRAP system for direct identification of antioxidants from solid Duzhong brick tea. En: *Food Chemistry*, 2019, vol. 288, pág. 215-220. ISSN 0308-8146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.013>

SIVAM, A.S.; SUN WATERHOUSE, D.; PERERA, C.O. y WATERHOUSE, G.I.N. Exploring the interactions between blackcurrant polyphenols, pectin and wheat biopolymers in model breads; a FTIR and HPLC investigation. En: *Food Chemistry*, 2012, vol. 131, no. 3, pág. 802-810. ISSN 0308-8146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.047>

SOUKI, Aida; GARCÍA, Doris; PARRA, Andrea; VALBUENA, María; ARAÚJO, Sylvia; RUIZ, Gabriel; CHÁVEZ, Mervin; VEGA, Marinela; VARGAS, María, MEDINA, Mayerlim; ARIAS, Víctor y BERMÚDEZ, Valmore. El consumo de fibra dietética está inversamente asociado con el estado nutricional antropométrico y con los componentes del Síndrome Metabólico en niños y adolescentes. En: *Rev. Latinoamericana de Hipertensión*, 2018, vol. 13, no. 2.

VALDERRAMA, Cindy. Efecto de la proporción de Maíz morado (*Zea Mays* L.), Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.), kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) en las características fisicoquímicas, y aceptabilidad general de un extruido. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo: 2018, 69 p.

VALDEZ, Krystel. Estimación de la vida útil de productos snacks procesados en la empresa procesos Velsac. SAC mediante análisis fisicoquímicos y sensoriales. Trabajo de grado. Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú: 2014, 156 p.

VALENCIA, Luisa y MONTROYA, Andrea. Harinas no convencionales con alto contenido proteico elaboradas a partir de legumbres y sus aplicaciones en la industria de alimentos: revisión bibliográfica. Trabajo de grado. Universidad del Valle, Cali: 2021, 53 p.

VALENZUELA, Paula. Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de fenoles totales y flavonoides de hojas de diferentes genotipos de *Ugni molinae* Turcz. Trabajo de grado. Universidad de Chile Santiago: 2015, 83 p.

VILCANQUI-PÉREZ, Fulgencio y VÍLCHEZ-PERALES, Carlos. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. En: *ALAN Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2017, vol. 67, no. 2.

YANNIOTIS, Stavros; PETRAKI, A. y SOUMPASI, E. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornsnack. En: Journal of Food Engineering, 2007, vol. 80, no. 2, pág. 594-599. ISSN 0260-8774. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.018>

YUSTE, Josep y GARZA, Salvador. Los geles de pectina y su aplicación en la industria alimentaria. En: Revista de tecnología e higiene de los alimentos, 2003, no. 342, pág. 93-98. ISSN 0300-5755.