

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA QUINUA, EL SORGO Y EL MIJO COMO
ALTERNATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN**

LUISA MARÍA LONDOÑO RODRIGUEZ – 202060065

VALENTINA TRUJILLO BEDOYA – 202060285

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería de Alimentos

Tuluá, Valle del Cauca

2025

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA QUINUA, EL SORGO Y EL MIJO COMO
ALTERNATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN**

Estudiantes

Luisa María Londoño Rodríguez

Valentina Trujillo Bedoya

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera de Alimentos

Modalidad: trabajo de revisión crítica

Directora

Vanessa González Torres. Magíster en Ingeniería de Alimentos

Co-director

Libardo Castañeda Flórez. Ingeniero Químico. Magíster en Administración

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería de Alimentos

Tuluá Valle

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. OBJETIVOS	12
4.1. OBJETIVO GENERAL	12
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO I	13
5. VIGILANCIA TECNOLÓGICA.....	13
5.1. ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA	13
5.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	13
5.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	14
6. MARCO TEÓRICO.....	18
6.1. DEFINICIÓN PASTAS ALIMENTICIAS	18
6.2. PRODUCCIÓN GENERAL DE PASTA SECA	18
6.3. MATERIAS PRIMAS.....	20
6.4. MIJO.....	20
6.5. SORGO	20
6.6. QUINUA	21
6.7. GLUTEN	21
6.8. GLUTENINAS.....	22
6.9. GLIADINAS	23
6.10. ENFERMEDAD CELIACA	23
6.11. PRODUCTOS DE PASTA SIN GLUTEN	24
CAPÍTULO II	25
7. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL DE LAS PASTAS ELABORADAS A PARTIR DE QUINUA, SORGO Y MIJO.....	25
CAPÍTULO III	35
8. COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LAS PASTAS ELABORADAS CON HARINA DE QUINUA, SORGO Y MIJO, TENIENDO EN CUENTA LA CALIDAD DE COCCIÓN.	35
9. RECONOCIMIENTO DE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES DE COLOR, ACEPTABILIDAD Y TEXTURA DE LAS PASTAS ELABORADAS A PARTIR DE QUINUA, SORGO Y MIJO.	47
10. CONCLUSIONES	69
11. RECOMENDACIONES	71
12. BIBLIOGRAFÍA	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PUBLICACIONES POR AÑO RELACIONADAS CON MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN. FUENTE: SCOPUS, 2024.	15
FIGURA 2. PAÍSES CON MAYOR NÚMERO DE PUBLICACIONES RELACIONADAS CON MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN. FUENTE: SCOPUS, 2024...	16
FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE LA PASTA ALIMENTICIA EN LA INDUSTRIA.	19

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL (EN 100G DE MUESTRA) DE PASTAS ELABORADAS CON QUINUA Y OTROS INGREDIENTES.	26
TABLA 2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL (EN 100G DE MUESTRA) DE PASTAS ELABORADAS CON SORGO Y OTROS INGREDIENTES.	29
TABLA 3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL (EN 100G DE MUESTRA) DE PASTAS ELABORADAS A BASE DE MIJO Y OTROS INGREDIENTES.	32
TABLA 4. CALIDAD DE COCCIÓN DE LAS PASTAS ELABORADAS CON HARINAS DE QUINUA, SORGO Y MIJO.	36
TABLA 5. PARÁMETROS DE COLOR Y SABOR GENERAL / ACEPTABILIDAD PARA PASTAS ELABORADAS A BASE DE QUINUA.	48
TABLA 6. PARÁMETROS DE COLOR Y SABOR GENERAL / ACEPTABILIDAD PARA PASTAS ELABORADAS A BASE DE SORGO.	52
TABLA 7. PARÁMETROS DE COLOR Y SABOR GENERAL / ACEPTABILIDAD PARA PASTAS ELABORADAS A BASE DE MIJO.	55
TABLA 8. ATRIBUTOS DE TEXTURA PARA PASTA ELABORADA A BASE DE QUINUA Y A BASE DE SORGO.	61
TABLA 9. ATRIBUTOS DE TEXTURA PARA PASTA ELABORADA A BASE DE MIJO.	63

Resumen

La pasta es un alimento ampliamente consumido, elaborado principalmente con sémola de trigo duro, su valor nutricional y versatilidad la convierten en un básico de muchas culturas; sin embargo, su contenido de gluten restringe su consumo en personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten. Como respuesta, se han desarrollado pastas sin gluten a partir de materias primas como quinua, sorgo y mijo, las cuales presentan perfiles nutricionales favorables. Este trabajo consistió en una revisión bibliográfica basada en la composición nutricional, el tiempo de cocción, la absorción de agua y los atributos sensoriales (color, textura y aceptabilidad) de estas pastas. Los resultados mostraron mejoras notables al incorporar ingredientes específicos. En la pasta de sorgo, la adición de frijol y clara de huevo aumentó el contenido proteico, al igual que la harina de arroz. En la pasta de mijo, el almidón de papa incrementó los carbohidratos. En la de quinua, la inclusión de chía mejoró el contenido de fibra, mientras que en la de sorgo, el aceite y el huevo elevaron los lípidos. En cuanto a elasticidad y firmeza, el almidón pregelatinizado mejoró la pasta de sorgo, y la goma xantana junto con hidrocoloides lo hicieron en la de mijo. Respecto al color, la harina de maíz y el huevo en polvo aportaron tonalidad amarilla a la pasta de sorgo. La luminosidad se incrementó con almidón de yuca en la de quinua, y con albúmina de huevo y almidón pregelatinizado en la de sorgo. Finalmente, el caseinato de sodio y el concentrado de proteína de suero mejoraron tanto la luminosidad como la aceptabilidad en la pasta de mijo.

Palabras clave: Pastas, gluten, semillas, trigo, enfermedad celíaca, textura, color, atributos, cocción.

1. Introducción

La pasta es un alimento popular, fácil de cocinar y es ampliamente consumida en todo el mundo, debido a su versatilidad, perfil sensorial agradable, costos asequibles, larga vida útil y simplicidad en la preparación. La calidad y el rendimiento de cocción de la pasta se relacionan directamente con sus principales componentes como el almidón y las proteínas (Romano et al., 2021).

Tradicionalmente, la sémola de trigo duro es la materia prima electiva para la elaboración de pastas, debido a su color y el contenido alto en proteínas. A pesar de los buenos atributos y de sus beneficios, el trigo contiene gluten, una proteína compuesta por dos componentes principales, la gliadina y glutenina, estos son responsables de las propiedades tecnológicas de la masa las cuales se refieren a la cohesión y elasticidad, capacidad para absorber agua, la consistencia y sus atributos de textura (Itusaca et al., 2024). Sin embargo, las proteínas del gluten son insolubles en agua, están enriquecidas en glutamina y prolina, las cuales dificultan la digestión completa en el sistema gastrointestinal, impidiendo la absorción por parte de las células del intestino delgado. También, algunas proteínas que no se descomponen por completo pueden ser transformadas por las bacterias intestinales en sustancias llamadas aminas, que, al ser absorbidas, pueden causar problemas en el colon y aumentar el riesgo de cáncer de colon. Esto ha llevado a una restricción en el uso del gluten en la producción de alimentos a gran escala (Kuang et al., 2023)

La enfermedad celíaca es una enteropatía autoinmune desencadenada por el consumo de gluten y típicamente se manifiesta en personas genéticamente predispuestas. A menudo conduce a un síndrome de malabsorción caracterizado por diarrea crónica, deficiencia de hierro, úlceras aftosas orales recurrentes, amenorrea y manifestaciones osteoarticulares, esta afecta a millones de

personas en todo el mundo, con una prevalencia en constante aumento. De este modo, la elección de alimentos libres de gluten se ha convertido en un desafío diario ya que el tratamiento principal consiste en seguir una dieta libre de gluten de por vida (Cherif et al., 2024).

Por lo tanto, este creciente interés de los consumidores por los alimentos libres de gluten y con condiciones nutricionales mejoradas, ha estimulado a la industria a buscar distintos tipos de materias primas para el desarrollo de nuevos alimentos. Entre las distintas alternativas es importante destacar el mijo, quinua y sorgo como posibles materias primas para la elaboración de pastas libres de gluten.

El mijo es una de las semillas más antiguas y es caracterizado por tener un alto valor nutricional; es rico en fibra, minerales, antioxidantes y almidón resistente (Camara, 2020). Además de eso contiene hidratos de carbono complejos, su absorción es más lenta y no produce aumento de glucosa en sangre; debido a que no contiene gluten, es apto para personas celíacas y permite tener una mejor digestión (Díaz et al., 2016).

Por otro lado, la quinua es uno de los productos orgánicos originarios de la región andina, donde su consumo es una tradición ancestral y cultural. La quinua es rica en proteínas de alta calidad que contienen todos los aminoácidos esenciales, convirtiéndola en una excelente fuente de proteínas completa para dietas vegetarianas y veganas. Además, es una buena fuente de fibra dietética, que es crucial para la salud digestiva y el control del azúcar en la sangre. Contiene una variedad de vitaminas y minerales importantes, incluyendo hierro, magnesio, fósforo y zinc, que son esenciales para las funciones corporales óptimas (Flores et al., 2022).

Así mismo, el sorgo contiene propiedades similares a las de maíz, pero con menos proteínas y propiedades calóricas, por lo que no se puede considerar un sustituto del trigo, sino que debe

usarse como mezcla con otras harinas. Una de las ventajas más destacadas del sorgo es que es naturalmente libre de gluten. Esto lo hace ideal para personas con sensibilidad al gluten o enfermedad celíaca, quienes necesitan evitar el trigo, la cebada, el centeno y la avena en sus dietas (Hachim, 2024).

En consecuencia, se han observado avances significativos en el uso de materias primas alternativas para la elaboración de pastas sin gluten. Por ejemplo, en Colombia, la empresa Pastas Doria desarrolló una pasta libre de gluten a base de arroz con quinua y chía. En España, Bio El Granero formuló una pasta con trigo duro y un 15 % de mijo; aunque no es libre de gluten por la presencia de trigo, demuestra la incorporación de ingredientes no convencionales. Asimismo, Pasta Natura elaboró Fusilli a partir de harina de sorgo, obteniendo un producto 100 % libre de gluten. Es por esto que, este trabajo tiene como objetivo analizar a través de una revisión bibliográfica el perfil nutricional teniendo en cuenta el contenido de proteínas, fibra, carbohidratos, lípidos y humedad, las variables de cocción como tiempo y absorción de agua y los atributos sensoriales (color, aceptabilidad, textura) de las pastas libres de gluten elaboradas a base de quinua, sorgo y mijo.

2. Planteamiento Del Problema

El gluten es un conjunto de proteínas que se encuentra principalmente en el trigo, centeno y cebada, siendo el trigo uno de los cereales más cultivados a nivel mundial y, por ende, el ingrediente principal de muchos de los alimentos que consumimos hoy en día como las pastas o panes (Calle et al., 2020). Sin embargo, aproximadamente al 1% de la población mundial ha sido diagnosticada con la enfermedad celíaca (Daley et al., 2025), que se define como una enfermedad inflamatoria de origen autoinmune afectando la mucosa del intestino delgado en pacientes genéticamente susceptibles y cuyo desencadenante es la ingesta del gluten (Moscoso et al., 2015), debido a esto, se ha generado un desafío en la elaboración de productos alimenticios libres de gluten, ya que la sustitución de esta importante proteína requiere la adición de otros ingredientes para poder lograr una textura similar, implicando que estos productos tengan un valor económico mayor.

La base de una dieta libre de gluten es la ingesta de alimentos naturales que proporcionan nutrientes necesarios para la salud general y la curación intestinal. Sin embargo, el grupo de alimentos saludables representan la parte más costosa de la canasta familiar para personas que siguen una dieta regular. En Italia, se encontró que la pasta libre de gluten estaba disponible en el 44,3% de 212 tiendas muestreadas y representaba el 24% de pasta vendida; y, aunque el 52% de esta pasta se elabora con granos libres de gluten tales como el maíz o el arroz, el precio de esta es 2,5 veces mayor que la de la pasta a base de trigo (Bozorg et al., 2024).

Por otro lado, para obtener productos tipo pasta libres de gluten de alta calidad es necesario realizar diferentes tipos de harinas y formulaciones balanceadas que permitan simular las propiedades reológicas que brinda comúnmente el gluten. Se ha demostrado que los productos elaborados con diferentes cereales libres de gluten tienen un volumen más bajo y una textura física

inferior, así como también, un sabor característico a las materias primas utilizadas en la elaboración de estas (Montoya, 2019).

Por último, existen desequilibrios nutricionales asociados con una dieta sin gluten, ya que se caracteriza por una menor ingesta de fibra en comparación con una dieta sin restricciones esto se debe a que muchos de los productos sin gluten disponibles en el mercado están hechos con harinas refinadas (como harina de arroz o almidón de maíz), que contienen menos fibra en comparación con los cereales integrales que contienen gluten, como el trigo, la cebada y el centeno (GIG, 2021). En el trabajo realizado por Caeiro et al. (2022) se hace una revisión literaria en la que se demuestra que una dieta sin gluten puede causar otras deficiencias nutricionales debido a la baja calidad de alimentos sin gluten y la ingesta insuficiente de folato (Vitamina B), lo que resulta en un desequilibrio entre la ingesta de macronutrientes y el suministro de energía.

Esta situación no solo afecta la calidad de vida de quienes viven con estas condiciones, sino que también puede tener repercusiones en su salud a largo plazo si no se aborda adecuadamente. Aunque en el mercado existen diversos productos libres de gluten, como galletas, panes y harinas, aún hay poca variedad en cuanto a productos tipo pasta sin gluten. Esto se debe a que la disponibilidad de materias primas con cualidades similares a las de la pasta tradicional es limitada, lo que frena el crecimiento del mercado. Según un estudio de la revista Future Market Insights (2025) sobre el mercado de pastas sin gluten, además de esta escasez de materias primas, su alto costo incrementa el precio de venta al público. A esta situación se suma el hecho de que muy pocos granos libres de gluten están enriquecidos o fortificados con las vitaminas y minerales que sí poseen varios productos a base de granos con gluten, lo que genera una desventaja nutricional (Estévez et al., 2024). Hasta ahora, no se han introducido en el mercado soluciones que realmente resuelvan este desafío. Ante este panorama, resulta pertinente explorar ¿qué otras alternativas podrían

utilizarse en la elaboración de pastas comerciales sin gluten, que ofrezcan un perfil nutricional más completo?

3. Justificación

Desde hace miles de años los cereales han sido un pilar en la alimentación humana, muchos de los cuales tienen como componente en común el gluten. Este está compuesto por 80% de proteínas, 5 a 10% de lípidos, almidón residual, carbohidratos y proteínas insolubles en agua. Entre las proteínas principales que contiene se encuentran la gliadina y glutenina, las cuales tienen elevado contenido de ácido glutámico y prolina lo que impide la desintegración completa de las proteínas a través de las enzimas digestivas haciendo que en el intestino delgado haya durante un largo periodo de tiempo oligopéptidos tóxicos (proteínas con hasta diez aminoácidos) (Dr. Schär Institute, 2018).

El consumo promedio de gluten es de 5 a 20 g al día, y forma parte de muchos de los alimentos fundamentales de la dieta, como el pan y la pasta. Debido a la composición aminoacídica y a su resistente estructura, el gluten resulta difícil de digerir para el organismo humano. Este aspecto, junto a factores como la genética y la microbiota hacen que esta molécula pueda ser causa de patologías como: la celiaquía, la sensibilidad al gluten no celíaca, la dermatitis herpetiforme, la ataxia al gluten, etc. En conjunto, estas enfermedades mencionadas anteriormente, afectan a más del 10% de la población general mundial, siendo el tratamiento de elección la eliminación del gluten en la dieta, por lo tanto, se excluye el consumo de cereales como el trigo, centeno, cebada y alimentos que contengan estos cereales (Brugos, 2019).

El aumento en el consumo de alimentos sin trigo, cebada y centeno es una de las principales tendencias que están transformando la industria alimentaria en los últimos años. Esta creciente demanda se debe a la necesidad de satisfacer la alimentación de personas con enfermedad celíaca e intolerancia al gluten, así como a aquellos que adoptan dietas sin gluten para controlar el peso y aumentar la energía. Como resultado, no solo los pacientes celíacos siguen estas dietas, sino

también consumidores preocupados por su salud. Según Vega, G. (2021), esta tendencia ha llevado a las marcas a mejorar la calidad de sus productos sin gluten y a vender en tiendas especializadas para personas con intolerancias alimentarias. El mercado "libre de gluten" incluye productos como galletas, cereales para el desayuno, pastas, productos horneados, comida para bebé y comida preparada.

Según Mordor Intelligence Research & Advisory (2023), se anticipa que el mercado de pasta sin gluten experimentará una tasa compuesta anual del 9,78% entre 2019 y 2029, debido a un cambio significativo en los hábitos alimentarios. Con más personas adoptando dietas sin gluten, se espera un aumento en la demanda de pasta sin gluten, lo que ha llevado a los fabricantes a usar ingredientes saludables y económicos. Aunque la enfermedad celíaca entre los consumidores es común, la mayoría de los casos se deben a la alergia al gluten la cual es una reacción de hipersensibilidad a las proteínas del trigo mediada por un mecanismo inmune (Aliaga et al., 2023). La eliminación del gluten mejora ambas condiciones, aumentando la demanda de pasta saludable, como la pasta vegana y sin gluten.

También, de acuerdo con Mordor Intelligence Research & Advisory (2023), Estados Unidos es uno de los mercados más avanzados para productos sin gluten, incluida la pasta, pero presenta oportunidades de expansión en mercados emergentes como Asia-Pacífico, América del Sur y África, debido a los cambios en los estilos de vida de los consumidores. Adicionalmente menciona que, en 2021, las ventas minoristas de alimentos y bebidas sin gluten alcanzaron aproximadamente 14 mil millones de dólares en Estados Unidos y reporta que el mercado de la pasta sin gluten es altamente competitivo debido a la presencia de actores nacionales e internacionales como Barilla G. e R. Fratelli SpA, Jovial Foods, Inc., Ebro Foods, SA, The Hain Celestial Group, Inc., The Kraft Heinz Company, Urbano Agroindustrial Ltda, Wakas, Alimentos

El Dorado SAS, Pastificio Selmi S.A, y otros. Estas marcas tienen una fuerte presencia en el mercado y compiten entre sí para ofrecer nuevos e innovadores productos sin gluten a los consumidores.

Conforme a lo mencionado en Informes de Expertos (2023), el mercado de pasta sin gluten en América Latina alcanzó un valor de 81,08 millones de USD en 2023. Se proyecta que este mercado crecerá a una tasa anual compuesta del 5,3% entre 2024 y 2032, alcanzando un valor de 129,05 millones de USD para 2032. La creciente preocupación por la salud ha llevado a los consumidores a buscar opciones alimenticias más saludables. Por ello, la disponibilidad de harinas alternativas como las de arroz, maíz, quinua, mijo y garbanzos ha permitido a los fabricantes producir pastas sin gluten con una textura y sabor similares a las tradicionales de trigo.

Existen varios trabajos donde se estudia el potencial que tienen diversas materias primas para ser empleadas en la elaboración de pastas libres de gluten, uno de ellos es el realizado por Khatri et al. (2023) donde desarrollan una pasta sin gluten utilizando diferentes combinaciones de harina de quinua y harina de semillas de chía a diferentes proporciones (7,5%, 10%, 12,5%, 15% y 17,5%) además de comparar las propiedades nutricionales, de color y de textura del producto con las de la pasta comercial. Obteniendo como resultado que la combinación más óptima fue la de harina de semillas de chía al 15% con harina de quinua ya que la pasta obtenida fue la que tuvo mejor cocción y aceptación sensorial, además de presentar niveles más altos de proteína y otros nutrientes que la muestra control.

Otro de los documentos que estudian el tema es el elaborado por Paiva et al. (2019) en el cual preparan pasta seca con harinas de maíz y sorgo con el objetivo de analizar ciertas propiedades químicas y de cocción, así como la aceptación sensorial por parte de un panel conformado por

personas celíacas y no celíacas. Se prepararon tres muestras, una compuesta exclusivamente por harina de sorgo, otra con una mezcla (50/50) de harina de maíz y sorgo, y una tercera elaborada solo con harina de maíz. La muestra elaborada con harina de sorgo al 100% presentó niveles notablemente superiores de proteína total, grasas, fibra, cenizas y compuestos fenólicos, en comparación con las otras dos mezclas. Observando que las personas no celíacas tuvieron cierta preferencia por la pasta de maíz, mientras que los celíacos optaron por la pasta elaborada únicamente con harina de sorgo, lo que evidencia el valor de este ingrediente en la producción de pastas dirigidas a dicha población.

También la investigación realizada por Schmid et al. (2023) donde evalúan la idoneidad del mijo para la producción de espaguetis, ya sea utilizando mijo puro o mezclado con harinas de maíz y arroz, también la calidad nutricional, color, textura y aceptación sensorial. Los resultados mostraron que tanto el mijo puro como las mezclas lograron una firmeza comparable a la de los espaguetis tradicionales de trigo duro, asimismo, el aspecto marrón y el sabor a nuez de este fueron bien aceptados por los consumidores aparte de exhibir un alto contenido en hierro, zinc y fibra dietética.

En Colombia la cuota de mercado de pasta se está incrementando notablemente debido al aumento de la demanda de pasta sin gluten. Asimismo, según lo reportado por Informes de Expertos (2023) en febrero de 2022, Tresmontes Lucchetti, filial del Grupo Nutresa, lanzó su nueva gama de pastas sin gluten en Colombia y otras regiones del mundo. La pasta está elaborada con harina de arroz y maíz, y es segura para el consumo de personas alérgicas al gluten. Otra de las empresas que se encuentran en el país y manejan esta línea de productos es Doria, con pasta hecha a base de arroz.

De acuerdo con todas las estadísticas presentadas anteriormente, el mercado de las pastas sin gluten va en crecimiento ya que cada vez más personas prefieren este tipo de productos, es por esto que, el presente estudio propone el uso de quinua, sorgo y mijo como ingredientes alternativos con alto potencial para la elaboración de pastas sin gluten ofreciendo una variedad más amplia a la hora de elegir este tipo de productos.

4. Objetivos

4.1.Objetivo General

Analizar a través de una revisión bibliográfica el perfil nutricional, procesos de producción y atributos sensoriales de las pastas libres de gluten elaboradas a base de quinua, sorgo y mijo, en comparación con las pastas convencionales de trigo, con el propósito de evaluar su calidad, y aceptación por parte de los consumidores.

4.2.Objetivos Específicos

- Identificar y describir el perfil nutricional de las pastas libres de gluten a base de quinua, sorgo y mijo, incluyendo el contenido de proteínas, fibra, carbohidratos, lípidos y humedad, comparado con las pastas convencionales de trigo.
- Comparar los procesos de producción de las pastas libres de gluten a base de quinua, sorgo y mijo con los de la pasta de trigo, resaltando la calidad del producto.
- Reconocer los atributos sensoriales más valorados en las pastas convencionales, como sabor, textura, color, y compararlos con los atributos de las pastas libres de gluten a base de quinua, sorgo y mijo, a fin de proponerlas como alternativas para la industria colombiana.

CAPÍTULO I

5. Vigilancia Tecnológica

Para el desarrollo de este trabajo, relacionado con el análisis del potencial de la quinua, el sorgo y el mijo como alternativas para la elaboración de pastas libres de gluten, se utilizará como metodología, la realización de una vigilancia tecnológica para poder seleccionar y sistematizar la información científica disponible sobre el tema elegido que permitirá su desarrollo y conclusión.

5.1.Estrategias de búsqueda

En este trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica de las principales fuentes y bases de datos como *ScienceDirect*, *Redalyc*, *SpringerLink*, *Taylor & Francis* y *Scopus*. Para la recopilación de la información han utilizado artículos que van desde el año 2014 hasta el año 2024 relacionados con el tema de estudio. Se tendrán en cuenta principalmente en artículos que hablan sobre el uso de quinua, sorgo y mijo como alternativa para elaborar pastas libres de gluten y publicaciones en idioma inglés. Las palabras claves utilizadas para la elaboración de la revisión bibliográfica han sido: *gluten-free*, *pasta*, *harinas*, *enfermedad celiaca*, *cereales*, *semillas*.

5.2.Recopilación de información

Como primera medida, se identifican aquellas semillas y cereales con las cuales se elaboran harinas para la posterior preparación de pastas que aún no se encuentran disponibles en el mercado o no son tan comunes y se revisaron estudios previos que hayan comparado las pastas sin gluten elaboradas con semillas con las pastas convencionales para obtener información relevante y establecer una base para la comparación con pasta a base de trigo.

Posteriormente, se seleccionan como materias primas alternativas la quinua, el sorgo y el mijo presentadas en forma de harina para la posterior elaboración de pastas, tomando como

criterios de comparación el contenido nutricional y la aceptabilidad sensorial, además de la viabilidad comercial que estas pastas pueden tener en el mercado.

Para realizar la comparación del contenido nutricional se tuvo en cuenta el contenido de grasas, humedad, proteínas, minerales, carbohidratos y cenizas. Por otra parte, para comparar los procesos de producción de la pasta se tuvieron en cuenta las variables de tiempo de cocción, proporción de los ingredientes y la absorción de agua, las cuales influyen en la calidad del producto. Finalmente, en cuanto a la aceptabilidad sensorial se consideraron los parámetros de color, sabor y textura, además de parámetros de proceso como temperatura, tiempo de cocción, y de elaboración como cantidad de agua/harina los cuales también influyen en la calidad nutricional y sensorial.

5.3. Análisis de la información

Se hizo una actualización de la información obtenida mediante la búsqueda bibliográfica realizada en meses anteriores por datos más recientes, utilizando SCOPUS como la principal base de datos, y considerando los criterios de búsqueda definidos previamente, se presenta en la figura 1 la cantidad de publicaciones por año relacionadas con materias primas alternativas para la elaboración de pastas libres de gluten.

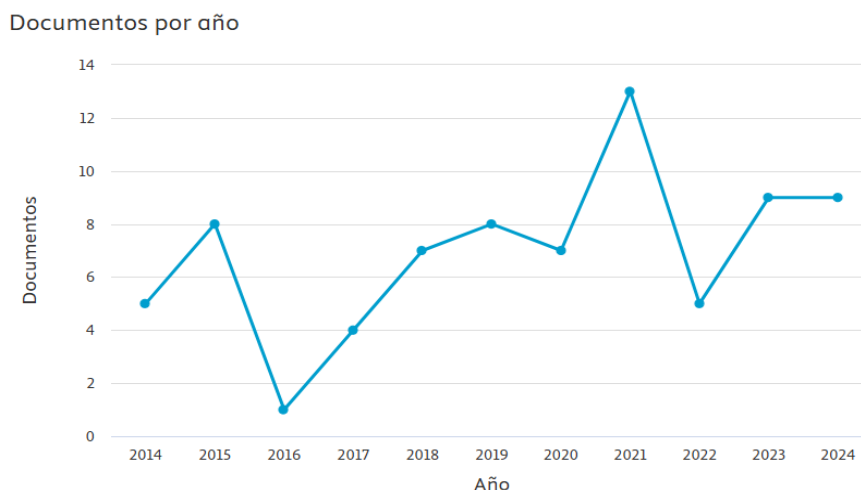


FIGURA 1. *PUBLICACIONES POR AÑO RELACIONADAS CON MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN.*

FUENTE: SCOPUS, 2024.

La Figura 1 muestra el crecimiento en la cantidad de información publicada en los últimos 10 años. Se observa que las publicaciones sobre este tema alcanzaron varios picos en los años 2015 y 2019, pero el año con mayor cantidad de investigaciones fue 2021. Esto indica que la industria alimentaria ha mostrado un creciente interés en investigar y desarrollar productos basados en materias primas no convencionales, como las semillas y cereales, para elaborar pastas sin gluten ya que ofrecen propiedades nutricionales beneficiosas para el ser humano.

En la Figura 2 se muestran los 10 países con el mayor número de documentos publicados, destacando a India como uno de los principales contribuyentes en investigaciones sobre este tema. Esto se debe a que según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) los cultivos de sorgo y mijo se desarrollan en las regiones tropicales semiáridas de Asia y África, donde constituyen una fuente vital de sustento para la población de las áreas más

empobrecidas, apoyando la seguridad alimentaria de los hogares y mejorando la nutrición de los habitantes

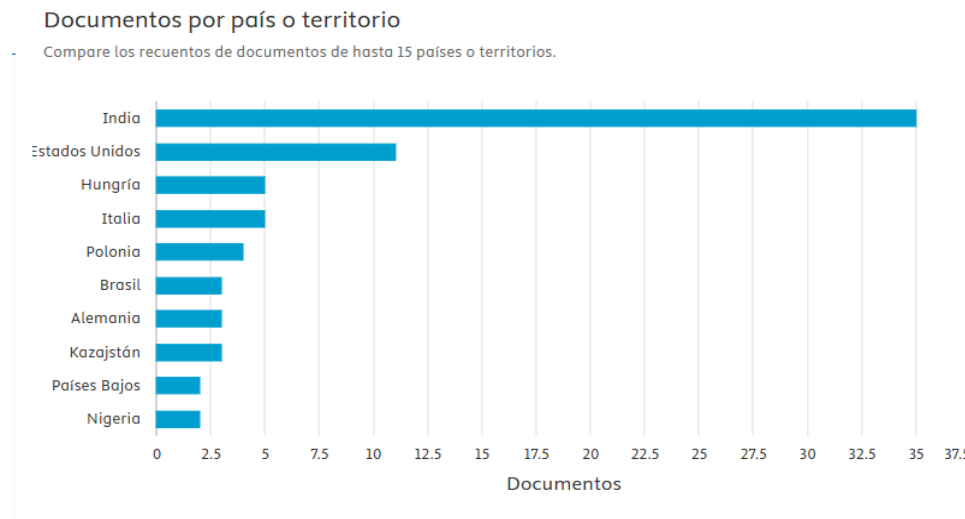


FIGURA 2. PAÍSES CON MAYOR NÚMERO DE PUBLICACIONES RELACIONADAS CON MATERIAS PRIMAS

ALTERNATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN.

FUENTE: SCOPUS, 2024.

En esta Figura 2 también se puede evidenciar que en América Latina solo se han realizado actualmente publicaciones acerca del tema de interés en Brasil. Por su parte, se observa que en Colombia no se registran investigaciones publicadas en revistas reconocidas a nivel internacional, de ahí la necesidad de realizar este tipo de estudios en el país ya que el sorgo se cultiva a gran escala principalmente en las regiones de Meta Altillanura, Tolima, La Guajira, Cesar Norte y Córdoba donde para el año 2024 se produjeron 10.275 toneladas, de acuerdo con lo reportado por Fenalce (2024) en su reporte Histórico de área, producción y rendimiento. Asimismo, el cultivo de quinua se lleva a cabo en distintos departamentos como el Cauca, Nariño, Boyacá y Cundinamarca produciendo para el año 2020 aproximadamente 20.000 toneladas (MADR, 2020). Por su parte, según la Encuesta Nacional Agropecuaria 2019, el cultivo de mijo se desarrolla principalmente en

el departamento del Atlántico con 5.311.977 hectáreas sembradas, sin embargo, se desconoce la cantidad de toneladas producidas (Rodríguez, 2023). Es por esto que el uso de estas materias primas puede ofrecer soluciones innovadoras y nutritivas, contribuyendo no solo a la salud pública sino también al desarrollo económico mediante la creación de productos de alto valor añadido que podrían posicionarse en mercados nacionales e internacionales, fortaleciendo así la industria alimentaria del país.

6. Marco Teórico

6.1. Definición Pastas Alimenticias

De acuerdo con la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1055 2014-06-18 PRODUCTOS DE MOLINERÍA. PASTAS ALIMENTICIAS se designa a las pastas alimenticias compuestas como productos preparados de diferentes figuras a partir de una masa sin fermentar elaborada con derivados del trigo (*Triticum aestivum* L, y *Triticum durum* Desf.), otros cereales o sus mezclas y agua, con o sin proceso de secado, a los que se les ha incorporado en el proceso de elaboración algunos ingredientes tales como: gluten, huevos, lácteos, vegetales, jugos, extractos, especias o cualquier otro ingrediente, y aditivos permitidos por la legislación nacional vigente o en su defecto por el Codex Alimentarius.

6.2. Producción General De Pasta Seca

El proceso de elaboración de la pasta comienza con la transformación de la harina en una masa con forma definida, lo cual se logra mediante una adecuada humectación, seguido de mezclado o amasado y posterior extrusión. La pasta resultante desarrolla una red proteica que encapsula los gránulos de almidón, formando una estructura compacta con mínimas grietas e imperfecciones. Luego, esta pasta se transporta a la etapa de secado, la cual resulta clave para determinar tanto la calidad final del producto como su tiempo de conservación (Aguilar, 2017). En el siguiente diagrama de flujo se ilustran las distintas etapas del proceso.

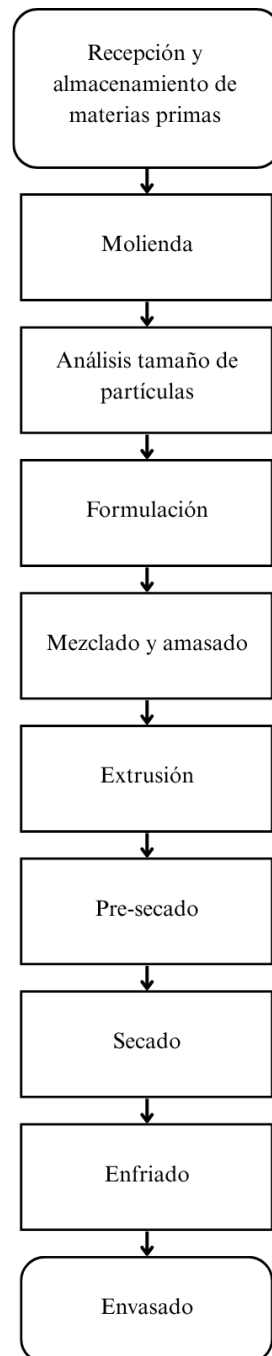


FIGURA 3. *DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE LA PASTA ALIMENTICIA EN LA INDUSTRIA.*

ELABORACIÓN PROPIA.

6.3.Materias Primas

Las materias primas comúnmente utilizadas en la elaboración de pastas secas son la harina o sémola de trigo y el agua, aunque en la actualidad existen harinas libres de gluten que pueden ser empleadas exitosamente para este fin.

6.4.Mijo

El mijo blanco (*Panicum miliaceum* L.) también se conoce como proso, mijo de puerco, millo, mijo ruso y maíz pardo. Es un cereal muy resistente a la sequía y a las altas temperaturas, lo que favorece la difusión del cultivo en las zonas tropicales, semiáridas y áridas de Asia, África y Europa. También tiene la ventaja de que puede ser almacenado durante varios años en condiciones adecuadas. (López et al., 2008). Desde una perspectiva nutricional, el mijo ofrece un contenido de proteínas (11,5 – 13,5%) comparable al del trigo y el maíz, pero sin gluten. El contenido de fibra dietética (14,2%) es mayor que el del trigo (12,9%) y mucho mayor que el del arroz blanco (5,2%), lo que permite producir pasta sin gluten con un alto contenido de fibra. El mijo también es rico en micronutrientes y minerales, además de niacina, vitamina B6 y ácido fólico, es especialmente rico en potasio, hierro y manganeso y contiene cantidades significativas de magnesio y ácido silícico (Schmid et al., 2023).

6.5.Sorgo

El sorgo es un grano originario de las regiones áridas de África. Los orígenes sugieren una marcada adaptabilidad a condiciones extremas, de hecho, necesita pequeñas cantidades de agua, resistiendo muy bien a la sequía y a los suelos pobres. El sorgo se cultiva en las regiones áridas de África, Asia, América e incluso Australia, proporcionando una fuente nutricional adecuada para las poblaciones locales. En consideración a su resistencia a los parásitos, generalmente se cultiva en condiciones biológicas similares sin el uso de pesticidas, lo que resulta en un mayor valor

nutricional y para la salud. (Gasbarrini et al., 2021). El valor nutricional del sorgo es similar al maíz y el trigo, es una fuente rica de nutrientes constituida, principalmente, por polisacáridos (60 – 70%), seguidos de proteínas (8 – 12%), lípidos (2,8 – 3,6%), fibra (8%), minerales, vitaminas del complejo B y fitoquímicos (antioxidantes) (Salazar et al., 2018).

6.6.Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal originario de los Andes, cuyos orígenes se remontan a la época de los Incas. Los pueblos andinos precolombinos la utilizaban como un alimento básico, e incluso en ocasiones sustituían la proteína animal en su dieta con esta semilla. Se trata de un cultivo ancestral con un alto valor nutricional y la presencia de compuestos metabólicos secundarios con potencial uso en la industria. Su notable capacidad de adaptación a condiciones agroclimáticas extremas la convierte en una especie prometedora para enfrentar los efectos del cambio climático a nivel mundial. (Morillo et al., 2021). Los granos de quinua tienen establecida una excelente calidad nutricional ya que es un alimento de alto nivel calórico, posee un gran contenido de carbohidratos (64,2%), fibra (7%), el contenido de proteína varía entre 13,78 – 14,28%, encontrándose estrechamente cercano entre los valores del trigo y la avena, mientras que los de arroz, maíz y cebada son menores. El contenido de lípidos en quinua (4,0 – 7,6%) es mayor que algunos cereales, como el maíz (4,7%) y menor que la soya (18%) (Campos et al., 2022).

6.7.Gluten

El gluten es ampliamente utilizado por la industria de alimentos debido a sus características fisicoquímicas, que inducen mejoras sustanciales en los productos que lo contienen. Su viscoelasticidad es fundamental para la producción de panes y productos horneados, mejorando la textura y la forma, la retención de agua y grasas y la extensibilidad de las masas, formando emulsiones, espumas y geles, y sirviendo de vehículo para aromatizantes y colorantes. (Estévez et

al., 2016). El gluten es una mezcla de proteínas compuesta por cientos de monómeros, oligómeros y polímeros, entre los que se incluyen principalmente prolaminas y glutelinas. (Wu et al., 2021). En el trigo las prolaminas y las glutelinas se denominan gliadinas y gluteninas, respectivamente; estas fracciones son las que conforman el gluten y constituyen alrededor de 75 – 80% del total de proteínas. (Sciarini, 2016). Estas proteínas desempeñan roles fundamentales en la textura, la elasticidad y la calidad de los alimentos que contienen gluten (Carvajal, 2021).

Las prolaminas son las causantes de la mayoría de los problemas en las personas que padecen alguna enfermedad relacionada con el consumo de gluten, porque estas personas van a presentar una difícil digestión. En el caso del trigo se ha demostrado que la gliadina puede presentar zonas sin digerir después de haber pasado por el proceso de digestión, formándose el péptido alfa-gliadina que es resistente a todo tipo de enzimas presentes en el aparato digestivo. Por tanto, las prolaminas, se pueden llegar a almacenar durante mucho tiempo en el organismo lo que da lugar a que actúe como antígeno y tengan que empezar a funcionar las células T del organismo, provocando la toxicidad y con ello alteraciones como el aumento de la permeabilidad del intestino lo que conlleva a una leve inflamación por el consumo de gluten en la dieta de pacientes con sensibilidad a este (Moreno, 2019).

6.8. Gluteninas

Las gluteninas son proteínas insolubles en agua, no son tóxicas por sí mismas, sin embargo, pueden causar inflamación en personas con sensibilidad al gluten ya que los péptidos presentes en ellas tienen efectos inmunoestimulantes (Howdle, 2006). Son responsables de la elasticidad y cohesión de la masa que permite que los productos retengan su forma y estructura durante los procesos de cocción, contribuyen principalmente a la fuerza del gluten al formar redes

tridimensionales en la masa, dando resistencia mecánica y ayudando a retener el gas producido por las levaduras durante la fermentación. (Villanueva, 2014)

6.9.Gliadinas

Las gliadinas son la fracción soluble en alcohol del gluten y contienen la mayor parte de los componentes tóxicos para los celíacos; son ricas en aminoácidos como la glutamina y prolina, los cuales hacen que su digestión en el tracto gastrointestinal sea más difícil (Parada et al., 2010). Estas contribuyen a la extensibilidad y viscosidad del gluten, responsables de la capacidad de estiramiento de la masa antes de romperse, también, desempeñan un papel importante en la retención de agua durante la preparación de la masa ya que proporcionan jugosidad y frescura a los productos finales (Villanueva, 2014)

6.10. Enfermedad Celiaca

La enfermedad celíaca (EC), esprúe celíaco o enteropatía sensible al gluten, es una enfermedad autoinmune generalizada que se caracteriza por inflamación crónica y atrofia de la mucosa del intestino delgado, causadas por la exposición al gluten de la dieta que afecta a individuos genéticamente predispuestos. El consumo de alimentos que contienen gluten ha sido y es de suma importancia para la alimentación de la humanidad (Remes et al., 2018). La prevalencia de la enfermedad a nivel mundial se estima entre 1,1% y 1,7%, según datos de seroprevalencia, es decir, confirmación diagnóstica por la presencia de anticuerpos anti-transglutaminasa tisular. En cambio, si la estimación se realiza con base en resultados de biopsias positivas para EC, la prevalencia global es un poco menor, calculada en un 0,7% (Solano et al., 2020)

6.11. Productos De Pasta Sin Gluten

Los alimentos sin gluten o gluten-free (GF) son requeridos por personas con problemas de salud (alergias e intolerancias al trigo, celiacía) o por tendencia. Las proteínas del gluten son responsables de la elasticidad y extensibilidad de la masa; su ausencia en la pasta GF provoca problemas tecnológicos y de calidad: mayor pérdida por cocción (pérdida de macro y micronutrientes), cambios de textura y baja calidad nutricional (Monzón et al., 2022)

La creación de alimentos sin gluten es un gran desafío para la industria por su afección en las propiedades sensoriales esperadas. Por tal motivo, es necesario buscar sustitutos que generen estas mismas características sin afectar las cualidades sensoriales, como la textura y sabor. Se ha demostrado que los productos elaborados con diferentes cereales libres de gluten tienen un volumen más bajo y una textura física inferior, pero una tasa de envejecimiento más lenta que las muestras que contienen trigo. Los cereales generalmente utilizados por la mayoría de los productores industriales de pasta sin gluten son el arroz y el maíz. Siendo la harina de arroz la más adecuada, sin embargo, este tipo de harina carece de proteínas y otros nutrientes importantes, como la fibra dietética (Blandón, 2019). Además, cuando el arroz es la principal fuente utilizada en la producción de pasta, pueden presentarse problemas de consistencia y estabilidad en el producto. A fin de mejorar las propiedades funcionales de la pasta de arroz se ha recurrido entre otras a la gelatinización del almidón y a la extrusión (Carvajal, 2021)

CAPÍTULO II

7. Identificación y descripción del perfil nutricional de las pastas elaboradas a partir de quinua, sorgo y mijo.

Considerando las materias primas y algunos de sus nutrientes, es relevante mencionar que su uso se ha expandido a diversos productos dentro de la industria alimentaria, siendo la pasta como uno de sus productos más destacados. En particular, la quinua, el sorgo y el mijo se presentan como ingredientes destacados para la producción de pastas sin gluten, debido a su perfil nutricional favorable y su capacidad de ofrecer opciones saludables y adaptables para personas con intolerancia al gluten.

La Tabla 1 muestra la composición nutricional de las pastas elaboradas con quinua y otros ingrediente

TABLA 1. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL (EN 100G DE MUESTRA) DE PASTAS ELABORADAS CON QUINUA Y OTROS INGREDIENTES.

Estudio / Investigación	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Humedad	Autores
Elaboración de un producto tipo pasta alimenticia a partir de harinas no convencionales (Sagú, Quinua, Lenteja)	10,26 ± 1,045	0,60 ± 0,17	–	1,32 ± 0,08	12,23 ± 0,13	Aparicio et al. (2018)
Efecto del uso de harina de quinua sobre las características fisicoquímicas de una pasta extruida	25,563 ± 1,34	1,96 ± 0,50	67,63 ± 0,54	–	3,90 ± 0,01	Torres et al. (2021).
Optimización y evaluación de una formulación de pasta sin gluten a base de quinua y chía	12,27 ± 0,63	8,30 ± 0,55	67,31 ± 1,09	18,00 ± 0,50	8,37 ± 0,92	Khatrri et al. (2023).
Propiedades tecnológicas y texturales de la pasta sin gluten a base de quinua (Chenopodium quinua Wild)	12,22 ± 0,33	0,62 ± 0,05	70,77 ± 0,57	4,32 ± 0,2	12,12 ± 0,35	Itusaca et al. (2024).
Análisis de la calidad de cocción, el color y el perfil de textura de una pasta de quinua y lentejas	15,02 ± 0,77	1,67 ± 0,47	73,25 ± 0,79	1 ± 0,21	6,61 ± 0,77	Huamán et al. (2024)

En la Tabla 1 se observa que las pastas a base de quinua y chía elaboradas en el estudio de Itusaca et al. (2024) tiene un contenido de proteínas similar al reportado por Khatri et al. (2023), debido a que estos tienen los mismos ingredientes en igual proporción (85% quinua y 15% chía), además, ambos autores mencionan que este contenido es superior al de las pastas de trigo usadas como muestra control. A su vez, Huamán et al. (2024) reporta un contenido de proteína medianamente superior al obtenido por los autores mencionados anteriormente, para la pasta preparada con sémola de quinua y harina de lenteja debido a que la quinua es un ingrediente de alta calidad en términos de aporte proteico y la lenteja es reconocida por tener una cantidad significativa de proteínas de origen vegetal.

Por otro lado, el contenido de proteína obtenido por Torres et al. (2021) fue mayor, ya que el 63,22% de la fórmula corresponde a harina de quinua (60%) y clara de huevo (3,22%), los cuales contribuyeron a su incremento. Sin embargo, en la pasta elaborada por Aparicio et al. (2018) el contenido de proteínas fue menor puesto que la harina de quinua se encuentra en menor proporción (21%) en comparación con las formulaciones de los otros autores. Con respecto al contenido de fibra, las pastas elaboradas por Khatri et al. (2023) e Itusaca et al. (2024) presentaron niveles superiores a los reportados por Aparicio y Huamán, lo cual se atribuye a la naturaleza rica en nutrientes de la chía como su alto contenido de fibra dietética el cual es del 34% (USDA, 2018).

Adicionalmente, se presenta la comparación realizada por cada autor con respecto a la muestra control iniciando con Aparicio et al. (2018), donde menciona que, para la pasta elaborada con harinas de sagú, quinua y albúmina de huevo, obtuvo un mayor contenido de fibra, y un contenido menor de lípidos en comparación con la pasta de trigo convencional para la cual estos valores fueron de 0,86% y 1,96% respectivamente. Por su parte, Torres et al. (2021), señala que obtuvo un aumento en el contenido proteico de la pasta hecha con harina de quinua, almidón de

yuca y clara de huevo en comparación con la pasta comercial (10,51%), este aumento se ve influenciado por la clara de huevo y la relación directa con la cantidad de harina de quinua utilizada. Seguidamente Khatri et al. (2023) e Itusaca et al. (2024) observaron un incremento en el contenido de proteínas para las pastas elaboradas con harinas de quinua y chía en relación con la pasta de trigo duro la cual presentó valores de proteína entre 10,93 – 11,5%, y la cantidad de fibra de ambas pastas se duplicó con respecto a la pasta control, lo cual es esperable, teniendo en cuenta el mayor contenido en fibra de las semillas de quinua que el trigo duro. Finalmente, en las pastas preparadas por Huamán et al. (2024) reportan altos contenidos de proteína y lípidos con una menor cantidad de hidratos de carbono en comparación con la muestra control (pasta de trigo) la cual reportó valores de 12,26%, 0,12% y 78,04% respectivamente, resaltando que al combinar la sémola de quinua con harina de lenteja es posible aumentar el contenido de proteínas en el producto final.

La Tabla 2 muestra la composición nutricional de las pastas elaboradas con sorgo y otros ingredientes.

TABLA 2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL (EN 100G DE MUESTRA) DE PASTAS ELABORADAS CON SORGO Y OTROS INGREDIENTES.

Estudio / Investigación	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Humedad	Autores
Desarrollo y estandarización de pasta de sorgo mediante tecnología de extrusión	9,6	0,84	74,7	–	10,02	Benhur et al. (2015)
Utilización de harinas de sorgo, arroz, maíz con almidón de papa para la elaboración de pastas sin gluten	7,86	4,41	75,90	–	11,8	Ferreira et al. (2016)
Características tecnológicas, sensoriales y químicas de la pasta seca sin gluten a base de harinas de sorgo y maíz	12,34 ± 0,14	1,10 ± 0,01	66,86 ± 0,30	8,20 ± 0,12	–	Paiva et al. (2019)
Pasta de sorgo sin gluten: composición y evaluación sensorial con diferentes híbridos de sorgo	2,04	0,23	21,70	3,42	14,9 ± 0,3	De Oliveira, et al. (2022)
Desarrollo y propiedades sensoriales de pasta sin Gluten a base de Sorgo extruida	14,44 ± 0,07	9,46 ± 0,08	66,00 ± 0,02	5,44 ± 0,06	6,71 ± 0,01	Gwekwe et al. (2024)

En la Tabla 2 se observan variaciones en el contenido nutricional de las pastas a base de sorgo. Estas diferencias se deben a la adición de otros ingredientes en diferentes proporciones y con composiciones nutricionales variadas, por ejemplo, en el estudio realizado por Gwekwe et al. (2024) elaboraron pastas con un 50% de harina de sorgo y el 50% restante compuesto por una mezcla de goma guar, harina de papa y harina de frijol, mientras que las pastas preparadas por Ferreira et al. (2016) contienen un 40% de sorgo y un 60% de harina de arroz y almidón de papa. Como resultado, las pastas elaboradas por el primer autor muestran un mayor contenido proteico, atribuible a la elevada concentración de proteínas en el frijol. Por otro lado, en las pastas del segundo autor, la proteína proviene únicamente del sorgo, mientras que el contenido de carbohidratos es superior debido al aporte de la harina de arroz y el almidón de papa. Con respecto a los lípidos se presentan mayores niveles en el estudio realizado por Ferreira en comparación con los niveles mencionados por Paiva et al. (2019) posiblemente porque en su formulación, Ferreira cuenta con una adición de aceite y huevos

También se evidencia que el contenido de proteína en las pastas preparadas por Benhur et al. (2015) fue mayor al de las pastas elaboradas por De Oliveira et al. (2022) a pesar de que ambas están compuestas en su totalidad por harinas de sorgo, se diferencian en el tipo de sorgo empleado ya que este último utilizó una variedad de sorgo rojo (híbrido) el cual no aporta grandes cantidades de proteína. Sin embargo, la pasta elaborada con este presentó un mayor porcentaje de humedad.

Posteriormente, se presenta la comparación realizada por cada uno de los autores dentro de su propio estudio frente a pastas elaboradas con distintas formulaciones, iniciando con el estudio realizado por Ferreira et al. (2016), donde reportan que el contenido de proteínas de la pasta preparada con harinas de sorgo, arroz, maíz y almidón de papa fue bastante cercano al registrado para la pasta elaborada con harina de arroz blanco y frijol sin cáscara (8,06%), y por debajo del

11,0% observado en pastas hechas con harina de arroz y quinua, así mismo los carbohidratos totales fueron similares a los obtenidos en este mismo estudio los cuales fueron de 85,35%. Por el contrario, el contenido de proteínas encontrado por Gwekwe et al. (2024) fue superior a la mayoría de las pastas de trigo, en las cuales el contenido de proteínas es del 11%. Con respecto a la fibra, presentaron un contenido mayoritario del 0,4% a diferencia de las pastas comerciales. Por su parte, Paiva et al. (2019) obtuvo un contenido de proteína y de fibra para la pasta elaborada con harinas de sorgo y maíz superior al de la pasta control (100% de harina de arroz) el cual es de 9,0% y 1,2%, respectivamente.

Por otro lado, Benhur et al. (2015) mencionan que el contenido de proteína para la pasta elaborada únicamente con harina de sorgo es menor al de la pasta elaborada en el mismo estudio con 50% de harina de sorgo y 50% de harina de trigo el cual presentó un contenido de 9,7%, sin embargo, no representa una diferencia significativa, además la primera formulación presenta mayor contenido de fibra y lípidos. Seguidamente, De Oliveira et al. (2022), señalan que el contenido en lípidos fue inferior al reportado por Ferreira et al. (2016), ya que en su formulación no utilizaron aceite ni yema de huevo. En cuanto al contenido de proteína los autores indican que fue inferior en comparación con el valor obtenido en la pasta cocida de sorgo blanco la cual presentó de 3,6 a 5,3 veces más proteínas, esto lo atribuyen al uso de ingredientes como huevo en polvo y albúmina de huevo en su formulación, no obstante, el contenido de fibra se encontró dentro del rango mencionado para la pasta de sorgo blanco.

La Tabla 3 muestra la composición nutricional de las pastas elaboradas con mijo y otros ingredientes.

TABLA 3.COMPOSICIÓN NUTRICIONAL (EN 100G DE MUESTRA) DE PASTAS ELABORADAS A BASE DE MIJO Y OTROS INGREDIENTES.

Estudio / Investigación	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Humedad	Autores
Evaluación de la calidad de la pasta a base de mijo perlado en relación con la despigmentación	11,90 ± 0,02	4,28 ± 0,03	—	—	—	Jalgaonkar et al. (2018)
Calidad de cocción, digestibilidad y propiedades sensoriales de la pasta de mijo común según el contenido de amilosa y el perfil de prolamina	7,6 ± 0,0	—	—	—	33,2 ± 0,0	Cordelino et al. (2019)
Evaluación de la idoneidad del mijo para la producción de pasta	10,5 ± 0,5	4,4 ± 0,6	76,5 ± 0,0	4,1 ± 1,4	7,8 ± 0,5	Schmid et al. (2023)
Impacto de la harina extruida de mijo integral sobre las propiedades fisicoquímicas y la actividad anti hiperglucémica de la pasta sin gluten	14,8 ± 0,0	8,1 ± 0,0	60,3 ± 0,1	7,1 ± 0,0	8,0 ± 0,2	Pessanha et al. (2023)

En la Tabla 3 se observa que la pasta elaborada por Pessanha et al. (2023) presenta el mayor contenido de proteína, fibra y lípidos en comparación con las preparadas por los otros autores, esto se explica, por la incorporación de huevos en la preparación de la pasta debido a la naturaleza rica en proteínas y lípidos de este alimento. Por otro lado, la pasta elaborada por Schmid et al. (2023) tuvo un contenido un poco menor al de la pasta hecha por Jalgaonkar et al. (2018), a pesar de ambas ser elaboradas 100% con mijo, esta diferencia se puede atribuir a la variedad empleada ya que el primero usó mijo variedad alba y el segundo mijo variedad perla. Con respecto a la humedad se evidencia que la pasta elaborada por Cordelino et al. (2019) presenta mayores niveles que los reportados por los autores mencionados anteriormente, ya que en este estudio adicionaron almidón de papa que junto con el almidón gelatinizado presente en la harina de mijo favorece la absorción de agua.

A continuación, se presenta la comparación realizada por los autores con las muestras control empleadas por cada uno, comenzando con Jalgaonkar et al. (2018) quienes elaboraron una pasta con 100% de harina de mijo perlado obteniendo un contenido de lípidos significativamente superior al de la pasta de sémola de trigo (1%) el cual lo asocian a la elevada proporción de grasa inherente en el grano de mijo. También mencionan que la pasta presenta valores proteicos superiores al de la muestra control (10,06%) Por otra parte, Cordelino et al. (2019) señalan que para la pasta con harina de mijo y fécula de papa obtuvieron un mayor contenido de proteínas y humedad que en la pasta sin gluten comercial. En el estudio de Schmid et al. (2023) obtuvieron, para la pasta elaborada con harina de mijo, un contenido de fibra con más del doble que el de la pasta utilizada como referencia (pasta de maíz-arroz), y además un contenido de proteína mayor. Por último, para la pasta preparada por Pessanha et al. (2023) con 50% de harina de mijo integral cruda y 50% harina de mijo precocida, reportaron niveles superiores de proteína y lípidos en

comparación con la muestra control (pasta de arroz integral) en vista de la adición de huevos para la preparación de la pasta.

De las Tablas 1, 2 y 3 se puede evidenciar que el contenido nutricional de las pastas elaboradas con distintas harinas como las de quinua, sorgo y mijo, varía dependiendo de las proporciones de estas en las formulaciones destacando que las pastas preparadas con quinua tienen un mayor contenido de proteína en comparación con las demás mientras que las de sorgo se destacan por tener un mayor contenido de fibra. Estas variaciones también se ven afectadas por los ingredientes añadidos los cuales influyen significativamente en las propiedades finales de las pastas. Los alimentos ricos en proteínas, como el frijol y las claras de huevo, incrementan notablemente el contenido proteico, mientras que otros componentes, como la harina de arroz y el almidón de papa, afectan los niveles de carbohidratos, asimismo, el uso de aceite y huevos aumenta el contenido de lípidos y la adición de chía eleva el contenido de fibra. Por lo tanto, las diferencias en la composición nutricional de estas pastas dependen directamente de los ingredientes utilizados, lo que permite desarrollar productos que se ajusten a diferentes necesidades nutricionales y normativas como las establecidas en la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1055 2014-06-18 PRODUCTOS DE MOLINERÍA. PASTAS ALIMENTICIAS la cual estipula los requisitos nutricionales y microbiológicos para este tipo de alimentos.

CAPÍTULO III

8. Comparación de los procesos de producción de las pastas elaboradas con harina de quinua, sorgo y mijo, teniendo en cuenta la calidad de cocción.

Para llevar a cabo esta comparación, se tuvieron en cuenta la proporción de los ingredientes utilizados en las mezclas, el tiempo de cocción y la absorción de agua, que influyen en la calidad del producto final, como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4. CALIDAD DE COCCIÓN DE LAS PASTAS ELABORADAS CON HARINAS DE QUINUA, SORGO Y MIJO.

Estudio / Investigación	Proporción de la mezcla (%)	Absorción de agua (%)	Tiempo de cocción (min)	Comparación pasta con gluten	Autores
Propiedades tecnológicas y texturales de la pasta sin gluten a base de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild)	85% quinua, 15% chía	135 ± 5,00	7,00 ± 0,82	—	Itusaca et al. (2024)
Análisis del perfil de calidad culinaria, color y textura de una pasta de quinua y lentejas.	70% sémola de quinua, 30% harina de lentejas	82,93 ± 7,3	7,13 ± 0,39	La muestra comercial presenta mejores propiedades reológicas y un tiempo de cocción de 8,4 min.	Huamán et al. (2024)
Utilización de harina de <i>quinua</i> (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en la formulación de pasta sin gluten: efectos sobre las propiedades nutricionales y sensoriales	50% sémola de arroz, 50% sémola de maíz, con adición de quinua al 10%	218 ± 5,6	10	—	Demir et al. (2020)
Efecto del uso de harina de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) sobre las características fisicoquímicas de una pasta extruida	Harina de quinua 60%, almidón de yuca 5%, claras de huevo 9%	101,68 ± 9,89	12	—	Torres et al. (2021)
Utilización de harinas de sorgo, arroz, maíz con almidón de papa para la elaboración de pastas sin gluten	40% harina de sorgo, 20% harina de arroz, 40% harina de papa	286,00	11	El tiempo de cocción indicó que el comportamiento de la pasta era similar a la pasta de trigo	Ferreira et al. (2016)

Características tecnológicas, sensoriales y químicas de la pasta seca sin gluten a base de harinas de sorgo y maíz	50% harina de sorgo, 50% harina de maíz	143,1 ± 8,67	5,5	Los espaguetis elaborados con 16 cultivares de trigo duro tuvieron mayores ganancias de peso tras la cocción que los resultados del presente estudio	Paiva et al. (2019)
Desarrollo y estandarización de pasta de sorgo mediante tecnología de extrusión	70% sémola de sorgo, 30% sémola de trigo	177,56±4,4	6	—	Benhur et al. (2015)
Pasta y fideos de sorgo: aspectos tecnológicos y nutricionales	Almidón de sorgo aislado previamente gelatinizado (10%)	271	6	—	Palavecino et al. (2020)
Desarrollo y propiedades sensoriales de los extruidos a base de sorgo pasta sin gluten	Harina de papa (10%), harina de frijol (20%), goma guar (20%) y harina de sorgo (50%)	238±0,03	7	—	Gwekwe et al. (2024)
Efecto de los ingredientes en la calidad de la pasta de sorgo sin gluten	11% albúmina de huevo, 9% huevo en polvo, 30% almidón pregelatinizado.	194,15	9	—	Palavecino, et al. (2017)
Impacto de la harina extruida de mijo integral sobre las propiedades físicoquímicas y la actividad antihiper glucémica de la pasta sin gluten	100% harina de mijo perla integral cruda	112,2 ± 0,10	6,5 ± 0,70	Los fideos a base de trigo presentan un aumento de volumen entre el 200-300% y tienen un tiempo de cocción de 7 min.	Pessanha et al. (2023)

Desarrollo y caracterización de pastas a base de pulpa de manzana y mijo africano enriquecidas con micronutrientes encapsulados	70% sémola de trigo duro, 20% mijo africano, 8% pulpa de manzana	145,42 ± 0,05	7,22 ± 0,03	—	Kumari et al. (2023)
Calidad de cocción, digestibilidad y propiedades sensoriales de la pasta de mijo común según el contenido de amilosa y el perfil de prolamina	43,8% de harina de mijo descortezado Sunrise cv. cultivada en Lamberton (Sr-L), 15,2% de almidón de papa, 28 g de huevos líquidos y 15 g de agua	94,70	2,73	—	Cordelino et al. (2019)
Efecto de la incorporación de caseinato de sodio, concentrado de proteína de suero y transglutaminasa sobre las propiedades de la pasta sin gluten a base de mijo perlado despigmentado	Mijo perlado 100%	75,33 ± 0,01	8	—	Kumar et al. (2019)
Pasta a base de mijo perlado: optimización del proceso de extrusión mediante metodología de superficie de respuesta	50% Harina de sémola y 50% mijo perla.	131,4	5,25	—	Jalgaonkar et al. (2019)

En la Tabla 4 se observa que la pasta elaborada por Itusaca et al. (2024) presentó un porcentaje de absorción de agua inferior al de la pasta control, ellos afirman que esta variable se ve influenciada por el contenido de fibra, calidad del gluten, proteínas y fuerza de red proteica. Además, mencionan que un incremento en la absorción de agua permite la hidratación y la formación de geles proteicos, donde los enlaces de hidrógeno en el almidón resultan difíciles de romper a bajas temperaturas de gelatinización, lo que disminuye la velocidad de absorción de agua y contribuye a reducir el tiempo de cocción, el cual, en este caso fue similar al de la pasta de trigo. Sin embargo, señalan que este puede variar debido a factores como la cantidad de proteína, la calidad del gluten, la concentración de los ingredientes y el contenido de complejos amilosa-lípidos, que impiden que el almidón se libere de los gránulos y limitan la entrada de agua en ellos. La gelatinización, al contar con una mayor disponibilidad de agua, también contribuye a reducir el tiempo.

También se evidencia que las pastas preparadas por Huamán et al. (2024) presentaron un tiempo menor al de la pasta comercial lo cual lo atribuyen a que las harinas sin gluten suelen cocinarse más rápidamente que la de trigo, ya que su estructura menos densa y cohesiva permite una mayor penetración del agua y una gelatinización más rápida del almidón.

En las pastas elaboradas por Demir et al. (2020) con harina de quinua cruda y germinada emplearon un tiempo de cocción de 10 min para todas las formulaciones, observando que las preparadas con harina de quinua germinada mostraron valores menores de absorción de agua ($211 \pm 8,4\%$) que las preparadas con harina de quinua cruda. Además, realizaron pastas con 50% de sémola de arroz y 50% de sémola de maíz con adición de una mezcla de harina de quinua cruda y germinada en distintas proporciones, donde los valores de absorción de agua fueron disminuyendo a medida que ésta aumentaba.

También, en el trabajo realizado por Torres et al. (2021) elaboraron pasta con harina de quinua, almidón de yuca, claras de huevo y agua en distintas proporciones, utilizando un tiempo de cocción de 12 min, donde evidenciaron que la pasta de quinua comercial empleada como muestra control tuvo un índice de hinchamiento significativamente menor al de las otras formulaciones. Este fenómeno se asocia con la incorporación parcial de quinua en la formulación, y su comportamiento se explica por las variaciones en el proceso de extrusión, las condiciones aplicadas durante la preparación de la muestra y el diseño circular del cabezal del equipo utilizado para moldear la pasta. Además, mencionan que valores superiores al 90%, se deben principalmente a la presencia abundante de moléculas hidrofílicas en la harina de quinua, como aminoácidos y componentes como la amilosa y la amilopectina, que tienen la capacidad de interactuar y retener moléculas de agua.

Por otro lado, se muestra que la pasta hecha por Ferreira et al. (2016) presenta un tiempo de cocción con un comportamiento similar al de la pasta de trigo (12 min) donde reportan que estos valores pueden interpretarse en función de las características geométricas de la masa, resultado de la uniformidad en el tamaño de las partículas de la mezcla de harina, así como de la formulación y la ruptura del almidón por efecto del calor, lo cual es crucial para facilitar la absorción de agua durante la cocción del producto. Además, pudieron evidenciar que el tiempo de cocción se redujo a medida que aumentaba la cantidad de harina de papa (pregelatinizada), de igual forma los indicadores de calidad, como el tiempo de cocción, el rendimiento y la densidad, mostraron resultados superiores. No obstante, la mezcla con mayor cantidad de harina de sorgo presentó el tiempo de cocción más prolongado (15 minutos), este tiempo disminuyó conforme la harina de sorgo fue sustituida por harina de arroz y/o de papa.

Del mismo modo, se indica que la pasta elaborada por Paiva et al. (2019) tuvo un tiempo de cocción menor al de la pasta de 100% harina de maíz (7,5 min) realizada en el mismo trabajo,

estos tiempos están relacionados con la cristalinidad del almidón o su capacidad para resistir la gelatinización. Con respecto a la absorción de agua mencionan que una pasta de buena calidad debe absorber agua durante la cocción en al menos el doble de su peso inicial, con base en esto, señalan que lograron un aumento de peso satisfactorio para la pasta reportada. Sin embargo, los espaguetis elaborados con 16 variedades de trigo duro, mostraron un incremento de peso tras la cocción mayor que el reportado en este estudio (de 205 a 227%). Finalmente, el aumento de peso o la absorción de agua durante la cocción está influenciado tanto por el alto contenido de polisacáridos no amiláceos en la receta como por la estructura de los gránulos de almidón, la presencia de zonas amorfas y la descomposición de la matriz de proteínas. Esto indica que las características de cocción dependen del tipo de ingredientes, en particular de la fuente de almidón y de la cantidad de proteínas en la mezcla.

Por otra parte, la pasta elaborada por Benhur et al. (2015) presentó un tiempo de cocción inferior al de la pasta hecha con 100% harina de sorgo preparada en el mismo trabajo (9 min) donde explican que esta variación en el tiempo puede deberse a las diferencias en la temperatura de gelatinización del almidón específico o de la combinación de almidones utilizada. En cuanto a la absorción de agua evidenciaron que a medida que aumentaba la proporción de trigo en la formulación mayor era la absorción de agua.

En el artículo realizado por Palavecino et al. (2020) revisaron investigaciones realizadas sobre el uso de sorgo como ingrediente principal o aditivo en la preparación de pastas, de las cuales se tomó un estudio donde evaluaron la pasta preparada 100% con harina de sorgo, la cual tuvo un tiempo de cocción mayor que el de la pasta control elaborada con harina de trigo y harina de sorgo. Este resultado se atribuyó a la mayor temperatura de gelatinización y a la entalpía propia del almidón de sorgo, lo que refleja una mayor resistencia al calor. Sin embargo, la pasta control

presentó una menor capacidad de absorción de agua (212%), lo que podría deberse a diferencias en la estructura de sus componentes.

Por otro lado, Gwekwe et al. (2024) elaboraron pastas a base de sorgo con adición de harina de papa y harina frijol en distintas proporciones, donde observaron que el tiempo de cocción para la pasta con alto contenido de sorgo y papa (PASP) reportada en la Tabla 4 es mayor que el de la pasta con alto contenido de sorgo y frijol (PASF), no obstante el porcentaje de absorción de agua es menor en PASF (190%), lo cual se puede atribuir al mayor contenido de almidón presente en la formulación de PASP debido a la harina de papa.

En el estudio realizado por Palavecino et al. (2017) donde evaluaron las pastas elaboradas con harina de sorgo blanco y de sorgo marrón adicionando albúmina de huevo, huevo en polvo y almidón pregelatinizado, observaron que el tiempo óptimo de cocción para la pasta de sorgo marrón fue menor al de la pasta de sorgo blanco (12 min). Por otra parte, señalan que una buena calidad de cocción se asocia a altos valores de absorción de agua, en donde la pasta de sorgo marrón presentó mayores valores de absorción de agua que la pasta de sorgo blanco (131,14 – 190,49%), estos valores son similares a los reportados para la pasta de trigo (164%). También mencionan que las formulaciones con un contenido más elevado de huevo, y particularmente de albúmina, mostraban una menor absorción de agua. Esto podría deberse a la formación de una estructura más compacta que dificulta la incorporación de agua por parte de los demás ingredientes.

En un estudio realizado por Pessanha et al. (2023), se observó que las pastas elaboradas con harina de mijo presentaron un tiempo de cocción similar al de las preparadas con sémola de trigo duro (7 minutos). Los autores señalaron que la reducción de gluten en la producción de pasta puede modificar su estructura, lo que facilita una transferencia más rápida de agua al centro de la masa y, por lo tanto, disminuye el tiempo de cocción en muestras con mayor proporción de harina sin gluten. Además, destacaron que los parámetros de peso y volumen de la pasta están estrechamente

relacionados con su capacidad de absorción de agua, y que esta depende de su forma. En cuanto a la calidad de la pasta de trigo, indicaron que se considera de buena calidad cuando su volumen aumenta entre un 200% y un 300%. En este contexto, los resultados de incremento de peso y volumen mostraron que la pasta evaluada fue la que más se asemejó a la pasta de trigo. Estos incrementos en peso y volumen están influenciados por la presencia de componentes capaces de absorber agua durante la cocción, como el almidón, ya que, como los autores mencionan, este fenómeno se debe a que el almidón de trigo posee una mayor capacidad de absorción de agua en comparación con el almidón de otros cereales. Además, factores como el contenido de fibras, proteínas y lípidos pueden impactar este proceso, ya que reducen la cantidad de almidón que se gelatiniza, lo que disminuye la absorción de agua y, en consecuencia, el peso final de la pasta.

Por su parte, Kumari et al. (2023) realizaron varias formulaciones con distintas proporciones de sémola de trigo duro, polvo de orujo de manzana (subproducto del procesamiento del fruto), harina de mijo africano y una adición al 2% hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), donde obtuvieron un tiempo óptimo de cocción mayor al de la pasta control (100% sémola de trigo duro) el cual fue de $6,95 \pm 0,15$ min. Esto lo atribuyen a la adición de HPMC debido a que el grupo hidroxilo de este establece enlaces de hidrógeno con los grupos amida, amina e hidroxilo presentes en el gluten, lo que provoca un refuerzo en la estructura de la red de gluten, esto reduce la velocidad de difusión del agua y prolonga el tiempo de cocción de la pasta. También indican que al incrementar la adición de polvo de orujo de manzana del 4 % al 8 %, se observó una disminución en el tiempo de cocción, esto se debe a que la fibra dietética posee numerosos grupos hidrófilos en su estructura, lo que le permite absorber agua más rápidamente y, al mismo tiempo, acortar el tiempo de cocción.

En cuanto a la absorción de agua señalan que esta mide la capacidad de un extruido para retener agua, lo cual depende de la presencia de grupos hidrófilos que interactúan con las moléculas

de agua y de la habilidad de las macromoléculas para formar geles. En este contexto, observaron que la absorción de agua tuvo un valor menor en comparación con la pasta de trigo ($123 \pm 0,13$), probablemente debido a la acción del hidrocoloide, que se une al agua y reduce la absorción por parte del almidón durante la cocción. Sin embargo, la absorción de agua mostró un incremento gradual a medida que aumentaba la proporción de harina de mijo africano y polvo de orujo de manzana. Este aumento podría atribuirse a la alta afinidad de las fibras presentes en alimentos ricos en fibra hacia el agua, lo que favorece una mayor absorción.

En el estudio realizado por Cordelino et al. (2019), se evaluaron cuatro variedades de mijo proso y se compararon con pastas comerciales de trigo y sin gluten. Una de las variedades estudiadas, Sunrise cv. cultivada en Lamberton (Sr-L), mostró un tiempo óptimo de cocción menor al de la pasta comercial sin gluten (3,6 minutos), aunque requirió más tiempo que las pastas elaboradas con las otras variedades de mijo incluidas en el estudio. Esta diferencia la atribuyen a las características de la variedad Sr-L, que contiene prolaminas de alto peso molecular (PAPM) y un alto contenido de amilosa. Estas prolaminas, capaces de formar polímeros mediante enlaces disulfuro, pudieron haber generado una red que retuvo los gránulos de almidón durante la cocción. Además, esta variedad presentó la mayor absorción de agua entre las evaluadas. En contraste, la variedad Earlybird cv. cultivado en Lamberton (EL), con el menor contenido de amilosa, tuvo los valores más bajos de tiempo óptimo de cocción y absorción de agua, probablemente debido al hinchamiento más rápido de los gránulos con bajo contenido de amilosa.

Por otro lado, Kumar et al. (2019) llevaron a cabo un estudio sobre la elaboración de pasta sin gluten utilizando harina de mijo perlado despigmentada, combinada con caseinato de sodio (CS) y una mezcla de caseinato de sodio con concentrado de proteína de suero (CPS). Ambas formulaciones fueron tratadas con y sin transglutaminasa enzimática (TG) y sometidas a un mismo tiempo de cocción. Los resultados mostraron que la pasta elaborada exclusivamente con harina de

mijo presentó una mayor absorción de agua en comparación con las mezclas. Esto se debe a que la adición de CS y de la combinación CPS redujo significativamente la capacidad de absorción de agua, probablemente porque las proteínas lácteas compiten con el agua necesaria para el hinchamiento del almidón durante la gelatinización. Sin embargo, la incorporación de TG aumentó considerablemente la absorción de agua, ya que su actividad de reticulación favorece las interacciones proteína-proteína, reduciendo las interacciones con los gránulos de almidón y los componentes de fibra de la pasta. Asimismo, los autores afirman que esto permitió que los gránulos de almidón y la fibra absorbieran más agua durante la gelatinización. Además, la modificación de la caseína con TG incrementó su naturaleza hidrofílica, mejorando tanto la retención como la absorción de agua.

En el artículo realizado por Jalgaonkar et al. (2019) elaboraron una pasta con 50:50 de sémola de trigo y harina de mijo perlado, teniendo en cuenta la influencia de las variables de extrusión como temperatura de barril (TB), contenido de humedad del alimento (CH), velocidad del alimentador (VA) y relación entre la velocidad del tornillo y la velocidad del alimentador (VT:VA), en la calidad de la pasta. En este artículo el tiempo de cocción de la pasta se redujo aproximadamente a la mitad en comparación con la pasta elaborada con sémola de trigo duro (10 – 10,8 min), dicha reducción la relacionan con la modificación física de la matriz de gluten provocada por la harina de mijo perlado, la cual facilita la absorción de agua y conduce a un menor tiempo de cocción. También mencionan que el rango de variables de procesamiento de extrusión óptimo es, TB de 67 a 70 °C, CH de 29 a 30%, VA de 11 a 12 rpm y VT:VA de 9 a 10, debido a que en estas condiciones la disminución en la viscosidad de la masa fundida generalmente favorece un mayor grado de gelatinización del almidón. Además, la reducción en la viscosidad de fusión con mayores niveles de humedad explica la menor degradación del almidón, lo que facilita la

absorción de agua en la pasta y, en consecuencia, reduce el tiempo de cocción, sin embargo, valores por encima de estos rangos conducen a un aumento en el tiempo de cocción

En cuanto a la absorción de agua de la pasta mencionan que esta aumentó al elevarse el CH de 25% a 31,25% y la VA de 8 a 12 rpm. Este aumento en la absorción de agua con mayor contenido de humedad se atribuye a la reducción de la viscosidad del almidón, lo que permite una mezcla interna más completa y un calentamiento más uniforme, mejorando así la gelatinización del almidón. Por otro lado, la absorción de agua de la pasta también aumentó con la TB y alcanzó su valor máximo cuando la TB fue de 70,65 °C, principalmente debido a la gelatinización del almidón.

Finalmente, de la Tabla 4 se escogieron los estudios donde reportaron mejores resultados en cuanto a la absorción de agua y tiempo de cocción, observando que en su mayoría las pastas elaboradas con harina de sorgo presentaron mayor absorción de agua destacándose el trabajo realizado por Ferreira et al. (2016) donde obtuvieron una absorción de 286% con un tiempo óptimo de cocción de 11 minutos para la pasta hecha con 40% harina de sorgo , 20% harina de arroz y 40% harina de papa, sin embargo, para una pasta elaborada con 100% harina de sorgo este valor de absorción de agua disminuyó siendo de 194,15% al igual que el tiempo de cocción pasó a ser de 9 minutos como se evidencia en el estudio de Palavecino et al. (2017), estas diferencias se pueden atribuir a la adición de otros ingredientes como el almidón de papa presente en la formulación del primer estudio. Comparando estos resultados con los de los estudios sobre pasta de trigo realizados por Zingale et al. (2024) donde obtuvieron un tiempo de cocción de 11 min y una absorción de agua de 95%, y por Long et al. (2024) donde reportó un tiempo óptimo de cocción de 16,6 min y una absorción de agua de 183%, se logra evidenciar que, a pesar de que estos autores mencionan

que dichos valores son típicos de una pasta de buena calidad, con la harina de sorgo se pueden obtener mejores resultados de calidad de cocción.

Cabe resaltar que, en el análisis de cada estudio muchos autores presentan valores diferentes de absorción de agua y tiempo óptimo de cocción para la pasta elaborada con trigo, sin embargo, muchos de estos son tomados como referencia de estudios más antiguos a los usados para la comparación.

9. Reconocimiento de los atributos sensoriales de color, aceptabilidad y textura de las pastas elaboradas a partir de quinua, sorgo y mijo.

La Tabla 5 muestra los parámetros de color (L , a^* y b^*) y sabor general de las pastas elaboradas a base de quinua.

TABLA 5. PARÁMETROS DE COLOR Y SABOR GENERAL / ACEPTABILIDAD PARA PASTAS ELABORADAS A BASE DE QUINUA.

Estudio/Investigación	L	a*	b*	Sabor general/ Aceptabilidad (Escala hedónica)	Autores
Optimización y evaluación de una formulación de pasta sin gluten a base de quinua y chía	46,90 ± 0,90	1,10 ± 0,35	14,91 ± 0,65	9 puntos 8,10 ± 0,03	Khatri et al. (2023)
Utilización de harina de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en la formulación de pasta sin gluten: efectos sobre las propiedades nutricionales y sensoriales	85,1 ± 0,7	0,5 ± 0,1	17,7 ± 0,2	7 puntos 5,8	Demir et al. (2020)
Estudio de optimización de pasta extruida con harina de quinua (<i>Chenopodium quinoa willd</i>)	51,82 ± 0,00	4,22 ± 0,019	14,12 ± 0,03	—	Torres et al. (2020)
Efecto del uso de harina de quinua (<i>Chenopodium quinoa willd</i>) sobre las características fisicoquímicas de una pasta extruida	51,02 ± 0,00	4,17 ± 0,02	14,11 ± 0,05	—	Torres et al. (2021)
Propiedades tecnológicas y texturales de la pasta sin gluten a base de quinua (<i>Chenopodium quinoa willd</i>)	51,97 ± 0,62	2,41 ± 0,42	12,45 ± 0,83	—	Itusaca et al. (2024)
Análisis de la calidad de cocción, color y textura de una pasta de quinua y lentejas	64,18 ± 1,89	7,26 ± 0,88	23,28 ± 1,16	—	Huamán et al. (2024)
Análisis físico y culinario de pastas largas extruidas sin gluten a base de harina de quinua rica en proteínas	36,44 ± 0,55	4,01 ± 0,01	17,68 ± 0,07	—	Córdoba et al. (2022)

En la Tabla 5 se presenta los parámetros de color obtenidos en el estudio realizado por Khatri et al. (2023) donde evalúan la pasta optimizada elaborada con quinua y chía en comparación con la pasta de sémola de trigo duro (control) tanto cruda como cocida. En este los autores mencionan que la pasta control presentó un valor de luminosidad (L^*) más elevado (59,3) que el de la pasta optimizada. Este valor está influenciado tanto por el método de cocción como por la duración del proceso. Durante la cocción, todas las muestras experimentan un blanqueamiento, lo que genera un aumento en la blancura y, por ende, en el valor de L^* . Por otra parte, observaron que en la pasta optimizada el componente de valor rojo ($+a^*$) disminuyó cuando esta se sometió a un proceso de cocción mientras que en la pasta de trigo duro este valor aumentó con la cocción, esto puede atribuirse a la naturaleza soluble en agua de los carotenoides presentes en la semilla de chía como la luteína y la zeaxantina, lo que resultó en valores de amarillo más altos ($+b^*$) después de la cocción.

Con respecto a la aceptabilidad general, esta fue evaluada en un panel sensorial por 20 panelistas semientrenados, donde señalan que las propiedades sensoriales de la pasta optimizada fueron inferiores en comparación con la pasta control ($8,70 \pm 0,05$) debido a la ausencia de gluten y a las diferencias en la composición de la harina de quinua y chía frente a la sémola de trigo duro. Sin embargo, las propiedades sensoriales mostraron una mejora al incorporar harina de chía, este efecto positivo podría deberse a las propiedades gomosas de la harina de chía, que fortalecen las características aglutinantes, mejorando así la textura y apariencia de la pasta. En general, la pasta de quinua enriquecida con harina de chía se considera comparable a la pasta de control en todos los parámetros sensoriales, mostrando características de textura casi equivalentes.

Asimismo, en el estudio realizado por Demir et al. (2020) para la pasta elaborada con harina de sémola de arroz y maíz adicionando harina de quinua cruda y germinada en distintas proporciones, siendo la muestra reportada en la tabla aquella compuesta por un 30% de una mezcla de harina de quinua cruda y germinada, observando que la sémola de maíz mostró el color más amarillo, clave para la calidad y apariencia de la pasta, mientras que la harina de quinua germinada presentó un tono más rojizo que la cruda. También señalan que la inclusión de harina de quinua germinada en la pasta aumentó los valores de L^* y a^* , probablemente por el mayor contenido de compuestos fenólicos, mientras que b^* disminuyó. Por otra parte, la evaluación sensorial fue realizada por 20 panelistas sanos, de entre 22 y 48 años y a partir de los resultados, los autores evidenciaron que la incorporación de quinua cruda o germinada en proporciones altas (20-30%) en la formulación de pasta redujo las puntuaciones generales de aceptabilidad y apariencia, sin embargo, en una escala hedónica de 7 puntos, estas se mantuvieron por encima de 5, lo que los hace aceptables para la evaluación general.

De igual forma, en el trabajo realizado por Torres et al. (2020) donde prepararon pasta a base de harina de quinua y almidón de yuca, reportaron valores de luminosidad (L^*) que oscilaron entre 46,49 y 54,77, lo que indica un nivel medio de claridad. Por otro lado, al analizar las tonalidades, observaron que la coordenada a^* (que representa tonalidades rojo/marrón) mostró valores comprendidos entre 2,76 y 4,54, mientras que la coordenada b^* (relacionada con tonalidades amarillas) presentó valores más elevados, entre 9,91 y 16,40. Esta diferencia se debe al color característico de la harina de quinua utilizada en la formulación de las pastas. Aunque el color marrón de estas pastas podría resultar menos atractivo para los consumidores acostumbrados a tonalidades amarillo intenso, la actual tendencia hacia alimentos percibidos como más saludables representa una oportunidad para su aceptación en el mercado.

De la misma manera, Torres et al. (2021) evaluaron los parámetros de color para las pastas elaboradas con harina de quinua, almidón de yuca y claras de huevo en distintas proporciones, indicando que la luminosidad (L^*) de las muestras fue moderada, observándose una menor luminosidad en la pasta control de trigo ($46,8 \pm 0,05$) en comparación con la muestra reportada en la Tabla. Además, mencionaron que L^* aumentó a medida que se incrementaba la cantidad de harina de quinua, mientras que, el almidón contribuyó a mejorar la blancura y transparencia. En cuanto a las tonalidades, el valor de a^* fue superior al de la pasta control ($2,9 \pm 0,10$), mientras que el de b^* fue inferior ($18,1 \pm 0,05$), sin embargo el valor de b^* no estuvo tan alejado, debido al color característico de la quinua, el cual se atribuye a su contenido de carotenoides y proteínas.

También, en el estudio realizado por Itusaca et al. (2024), donde elaboraron pastas a base de harina quinua, evidenciaron que el valor de L^* fue menor en comparación con el de la pasta de trigo utilizada como muestra control (53,51), sin embargo, en ambas pastas este parámetro fue disminuyendo al aumentar la temperatura de secado mientras que a^* y b^* aumentaron, siendo los valores para la pasta de trigo $0,39 \pm 0,18$ y $10,91 \pm 0,31$ respectivamente.

Por otra parte, en el artículo de Huamán et al. (2024) prepararon pastas a base de harina de quinua y lenteja con el objetivo de que sus propiedades fueran equivalentes o superiores a la de los productos con gluten, teniendo como resultado una disminución de los valores L^* , a^* y b^* a medida que aumentaba la adición de harina de lenteja en comparación con la pasta de trigo la cual presentó valores de L^* de $64,46 \pm 3,85$; a^* de $1,27 \pm 0,19$ y b^* de $10,25 \pm 0,62$. Además, destacan que, cuando no se utilizan ingredientes con alto contenido de carotenoides o colorantes, la pasta suele presentar un color pálido, en el caso de estas formulaciones, que tienen una baja concentración de estos compuestos, el tono obtenido es amarillo claro.

Por último, Córdoba et al. (2022) mencionan que la baja luminosidad en las pastas elaboradas con harinas de quinua, maíz, arroz y almidón de yuca se debe principalmente a la presencia de harina de quinua en la mezcla. Además, este efecto se ve reforzado por el menor contenido de almidón y grasa cruda (presente en cada materia prima) en la formulación, lo que influye en la apariencia final de la pasta.

Por otro lado, la Tabla 6 muestra los parámetros de color (L, a* y b*) y sabor general de las pastas elaboradas a base de sorgo.

TABLA 6. PARÁMETROS DE COLOR Y SABOR GENERAL / ACEPTABILIDAD PARA PASTAS ELABORADAS A BASE DE SORGO.

Estudio/Investigación	L	a*	b*	Sabor general / Aceptabilidad (Escala hedónica)	Autores
Efecto de los ingredientes en la calidad de la pasta de sorgo sin gluten	65,57	5,20	10,95	7 puntos 4.5	Palavecino, et al. (2017)
Desarrollo y estandarización de pasta de sorgo mediante tecnología de extrusión	—	—	—	5 puntos 4.0 ± 0.21	Benhur, et al. (2015)
Pasta de sorgo sin gluten: composición y evaluación sensorial con diferentes híbridos de sorgo	—	—	—	9 puntos 5,15	De Oliveira, et al. (2022)

En la Tabla 6 se presentan los parámetros de color y aceptación general obtenidos en el estudio realizado por Palavecino et al. (2017) donde elaboraron pastas a base de harina de sorgo blanco (PSB) y sorgo marrón (PSM) con adición de albúmina de huevo (A), huevo en polvo (H), almidón pregelatinizado (P) y goma xantana (X), observando que el valor L* fue mayor en PSB que en PSM (57,17) y que este valor aumentó con la adición de A y P en ambas pastas debido a los

ingredientes de color blanco. Los valores de a^* obtenidos para la PSM (10,87) fueron notablemente superiores a los de la PSB, y ambos superaron los valores característicos de otras pastas, tanto sin gluten como de trigo que oscilaron entre 1,20 y 0,72. Si bien el parámetro a^* (relacionado con el tono rojo) de la harina fue determinante en el color final de la pasta, la composición de los ingredientes no presentó una influencia significativa. En cuanto a los valores de b^* estos incrementaron con la adición de H y P, como era de esperarse debido al color característico del huevo, sin embargo, la PSB presentó una tonalidad más amarilla que la PSM.

Por otro lado, los resultados de la prueba hedónica de 7 puntos evaluada por 25 panelistas semientrenados indican que la PSB generó una mayor aceptación entre los consumidores. Esta preferencia podría atribuirse al color más marcado de la pasta elaborada con esta harina, lo cual coincide con lo mencionado por los autores, donde señalan que el color es el principal atributo sensorial evaluado por los consumidores en productos de pasta.

Por su parte, Benhur et al. (2015) evaluaron el color mediante un panel sensorial de 15 panelistas semi entrenados, utilizando una escala hedónica de cinco puntos en lugar de las coordenadas CIELAB, dicha escala también fue empleada para evaluar la aceptabilidad general. En este estudio prepararon pastas con harina de sorgo y sémola de trigo en diferentes proporciones, observando que la pasta con mayor proporción de trigo obtuvo la mayor puntuación en el color (4,5) ya que las pastas con más cantidad de sorgo tienden a ser oscuras debido al componente de color heredado de este alimento. En cuanto a la aceptabilidad general el resultado fue el mismo (4,5) dado que el trigo, posee la capacidad única de formar una masa extensible, elástica y cohesiva al mezclarse con agua gracias a su contenido de gluten, las cuales son características agradables para el consumidor, mientras que el sorgo, cuando se emplea por sí solo, carece de estas propiedades.

De manera similar, De Oliveira et al. (2022) utilizaron una escala hedónica de 9 puntos para evaluar el color y el sabor de pastas elaboradas con distintas variedades de sorgo en 121 consumidores de entre 18 y 75 años. Los resultados revelaron que la pasta elaborada con harina de sorgo blanco obtuvo la mayor aceptación, con una puntuación de 4,99 en color. En contraste, las pastas de sorgo marrón y rojo recibieron calificaciones inferiores en ambos atributos, siendo la puntuación en cuanto al color de 4,25 y 4,81 y para el sabor 4,67 y 4,76, respectivamente. No obstante, en términos generales, la aceptación sensorial de la pasta de sorgo fue limitada, lo cual era previsible debido a que no es un alimento habitual en la dieta tradicional.

También, la Tabla 7 muestra los parámetros de color (L , a^* y b^*) y sabor general de las pastas elaboradas a base de mijo

TABLA 7. PARÁMETROS DE COLOR Y SABOR GENERAL / ACEPTABILIDAD PARA PASTAS ELABORADAS

A BASE DE MIJO.

Estudio/Investigación	Color			Sabor general/ Aceptabilidad (Escala hedónica)	Autores
	L	a*	b*		
Evaluación de la idoneidad del mijo para la producción de pasta	66,3 ± 0,97	4,00 ± 0,16	27,1 ± 0,52	—	Schmidt et al. (2023)
Masa, propiedades reológicas y textura de la pasta sin gluten a base de harina de mijo proso	78,23 ± 0,8	-1,94 ± 0,0	14,92 ± 0,4	—	Romero et al. (2017)
Efecto de la incorporación de caseinato de sodio, concentrado de proteína de suero y transglutaminasa sobre las propiedades de la pasta sin gluten a base de mijo perlado despigmentado	43,12 ± 0,35	2,56 ± 0,01	15,51 ± 0,09	10 puntos 3,09 ± 0,25	Kumar et al. (2019)
Desarrollo y caracterización de pastas a base de pulpa de manzana y mijo africano enriquecidas con micronutrientes encapsulados	31,36 ± 0,79	11,31 ± 0,31	21,22 ± 0,46	—	Kumari et al. (2023)
Impacto de la harina extruida de mijo integral sobre las propiedades fisicoquímicas y la actividad anti hiperglucémica de la pasta sin gluten	76,8 ± 0,5	1,2 ± 0,1	13,5 ± 0,3	9 puntos 6,7	Pessanha et al. (2023)
Evaluación de la calidad de la pasta a base de mijo perlado en relación con la despigmentación	52,89 ± 0,08	—	21,38 ± 0,02	—	Jalgaonkar et al. (2018)

En la Tabla 7 se presentan los parámetros de color reportados según el plano CIELAB. Inicialmente, en el estudio realizado por Schmidt et al. (2023), se investigó la idoneidad del mijo de la variedad alba para la producción de pasta, evaluando diferentes formulaciones con el objetivo de optimizar su calidad. Los resultados obtenidos demuestran que todos los espaguetis que contenían mijo presentaban un color más oscuro, con un tono marrón en comparación con la pasta de trigo duro la cual presentaba un tono amarillo pálido con valores de L^* de $81,0 \pm 0,69$; a^* de $0,89 \pm 0,24$ y b^* de $38,6 \pm 1,07$. Además, se observaban pequeñas manchas blancas a lo largo de la pasta de mijo, lo que sugiere una distribución irregular de la humedad en el producto, esto probablemente se debe a la menor uniformidad en el tamaño de las partículas del mijo molido.

Asimismo, en el trabajo realizado por Romero et al. (2017) se observó que las pastas elaboradas con harina de mijo proso (MP) presentan menor luz (menor L^*) y mayor tono amarillo (mayor b^*) en comparación con la pasta de trigo comercial (pasta control) con un proceso previo de blanqueo, la cual tuvo valores de L^* de $76,64 \pm 0,7$; a^* de $-2,38 \pm 0,6$ y b^* de $7,85 \pm 0,47$. Los autores sugieren que el color amarillo más intenso en la pasta MP podría deberse a una mayor concentración de carotenoides en MP en comparación con el trigo, dado que se ha comprobado que los principales carotenoides presentes en el proso y otras variedades de mijo, como la luteína y la zeaxantina, son sensibles al calor, por lo tanto, era previsible una degradación del color después de la cocción de los fideos. Sin embargo, el tono amarillo más pronunciado en los fideos MP puede ser beneficioso, ya que, en los productos de pasta, este color es generalmente deseado.

Por otra parte, Kumar et al. (2019) evaluaron el color de pastas elaboradas con harina de mijo perla despigmentado (MPD) al incorporar caseinato de sodio (CS), una mezcla de caseinato de sodio y concentrado de proteína de suero (CPS), y transglutaminasa (TG). Encontraron que el 10% de CS mantuvo el valor de L^* y aumentó notablemente el valor de a^* , posiblemente por su

color natural o por la reacción de Maillard durante el secado, mientras que el valor de b^* no varió significativamente. La combinación de CS y CPS al 10% incrementó los valores de L^* y b^* . La adición de TG también elevó el valor de L^* en la pasta MPD y en la mezcla CS:CPS, pero lo redujo cuando solo había CS. Además, los valores de b^* disminuyeron con más TG, excepto en la pasta MPD, donde aumentaron.

La aceptabilidad general fue evaluada mediante un panel sensorial conformado por 15 panelistas entrenados de entre 28 y 55 años. A partir del análisis de los resultados, los autores observaron que la aceptabilidad aumentó significativamente con el incremento de caseinato de sodio, la combinación de caseinato de sodio y proteínas de suero, así como con mayores niveles de TG.

De la misma manera, Kumari et al. (2023) elaboraron una pasta a base de sémola de trigo duro con adición de harina de mijo africano (HMA) y polvo de pulpa de manzana (PPM) observando que la pasta control (sémola de trigo duro) presentó un valor de luminosidad (L^*) superior ($64,84 \pm 0,45$), de rojo (a^*) inferior ($1,73 \pm 0,13$) y de amarillo (b^*) medianamente menor ($20,86 \pm 0,33$) al de la pasta preparada con PPM y HMA. También evidenciaron que, a medida que aumentó la proporción de HMA y PPM en la mezcla, el valor L^* disminuyó, además provocó un oscurecimiento del color de la pasta en comparación con la muestra control, efecto atribuido a la presencia de un tinte rojizo natural de los ingredientes adicionados. Durante la cocción, las muestras de pasta mostraron ciertos cambios en sus parámetros de color, el valor L^* aumentó, el valor a^* disminuyó y el valor b^* se incrementó. Estos cambios podrían estar relacionados con la pérdida de pigmentos durante el proceso de cocción.

A su vez, Pessanha et al. (2023) desarrollaron pastas a base de harina de mijo perla integral cruda (HMC) y precocida (HMP) donde el análisis instrumental del color se realizó únicamente sobre la pasta cruda, ya que los autores consideraron la perspectiva del consumidor al momento de adquirir el producto. En este estudio evidencian que las pastas elaboradas con mijo perla se destacaron por una disminución en el tono amarillo (reflejada en la reducción del valor b^*) frente al de la pasta de trigo utilizada como muestra control ($b^* = 22,5 \pm 0,4$) y un incremento en el tono rojizo (evidenciado por el aumento del valor a^*), aunque no iguala el de la pasta control ($a^* = 2,9 \pm 0,1$). A pesar de la disminución en el valor b^* , la pasta hecha con harina de mijo aún conserva un color que se aproxima al amarillo puro. Además, mencionan que, las diferencias de color observadas entre la pasta de mijo perla y la pasta control podrían estar relacionadas con el contenido de polifenoles presentes en el pericarpio, las células de la capa de aleurona y las regiones del endospermo del grano de mijo. Con base en estos resultados, los autores destacan que, la pasta formulada con una mezcla de HMC y HMP presentó características de color similares a las de una pasta comercial.

En cuanto a la aceptabilidad, esta fue evaluada mediante un panel sensorial conformado por 86 panelistas no capacitados. A partir de los resultados obtenidos, los autores calcularon el índice de aceptabilidad (IA) con la ecuación propuesta en el estudio de Dutcosky (2013), resaltando que para que un producto sea considerado aceptado por los consumidores, debe alcanzar un índice de IA mínimo del 70%. En este caso, la formulación evaluada mostró un valor de 67%, el cual se encuentra ligeramente por debajo del umbral establecido, sin embargo, los autores consideran este valor como una aceptabilidad moderada. Respecto al sabor, la pasta fue valorada de manera general como agradable, aunque algunos participantes percibieron un ligero sabor amargo atribuido al mijo.

En el último estudio de este apartado, Jalgaonkar et al. (2018) evaluaron el efecto de la despigmentación sobre el color de la pasta preparada con harina de mijo perlado (HMP) en comparación con la pasta de sémola de trigo (ST) y una mezcla 50:50 de sémola de trigo y harina de mijo perla despigmentado (ST:HMPD) observando que la despigmentación del grano tuvo un efecto positivo en el color de la pasta, dado que el mijo perlado presenta de forma natural un tono gris oscuro. Esta mejora se comprobó con el parámetro de luminosidad, donde valores más altos indican un aspecto más claro y, en este caso, mejores resultados como se evidenció en la pasta con mijo despigmentado en comparación con la elaborada con HMP. Adicionalmente, señalan que este efecto en el color podría atribuirse a la eliminación de pigmentos polifenólicos presentes en el grano, los cuales son sensibles al pH, explicando que, al remojar el mijo en una solución ácida, dichos pigmentos fueron lixiviados hacia el medio de remojo, lo que contribuyó a mejorar el color final del grano, en consecuencia, los valores de L^* y b^* mostraron que el color de la pasta despigmentada a base de HMP se asemeja al de la pasta ST ($L^* = 58,31 \pm 0,53$ y $b^* = 23,68 \pm 0,13$).

De acuerdo con los valores de L^* ($84,1 \pm 0,5$), a^* ($0,3 \pm 0,0$) y b^* ($9,9 \pm 0,5$) reportados en el estudio de Long et al. (2024) para la pasta elaborada a partir de trigo se obtuvieron valores similares para la pasta elaborada con harina de sémola de arroz y maíz adicionando una mezcla de harina de quinua cruda y germinada en el estudio realizado por Demir et al. (2020) donde obtuvieron valores de L^* de $85,1 \pm 0,7$, a^* de $0,5 \pm 0,1$ y b^* de $17,7 \pm 0,2$. Asimismo, para las pastas preparadas por Palavecino et al. (2017) a base de harina de sorgo con adición de albúmina de huevo, huevo en polvo, almidón pregelatinizado y goma xantana se reportaron valores de 65,57; 5,20 y 10,95 para los parámetros de L^* , a^* y b^* respectivamente. Del mismo modo, en el estudio

realizado por Pessanha et al. (2023) presentaron valores de L^* de $76,8 \pm 0,5$; a^* de $1,2 \pm 0,1$ y b^* de $13,5 \pm 0,3$ para la pasta de harina de mijo cruda.

Además, las variaciones observadas en los valores de color pueden estar asociadas a múltiples factores, entre ellos la variedad de la materia prima y la adición de ingredientes utilizados en la formulación, por ejemplo la pasta de quinua con sémola de maíz le añade un color mayormente amarillo al producto final, asimismo, la implementación de sorgo blanco en lugar de marrón con adición de albúmina de huevo y almidón pregelatinizado incrementa la luminosidad de la pasta y la adición de huevo aporta una tonalidad amarilla, así como también el uso de mijo variedad proso en lugar de alba, debido a su mayor contenido de carotenoides, genera este mismo efecto. Del mismo modo, en la pasta elaborada con mijo variedad perla despigmentado, la incorporación de caseinato de sodio, concentrado de proteína de suero y transglutaminasa aumenta los valores de L^* y b^* .

Con respecto a la aceptabilidad general, teniendo en cuenta el color y apariencia de la pasta, se pudo evidenciar que se ve influenciada por la adición de distintos ingredientes como la chía la cual mejora estos atributos en la pasta a base de quinua, asimismo el almidón de papa, harina de arroz y la clara de huevo en la pasta de sorgo blanco presentó una mejor aceptación frente a la de sorgo marrón y rojo, mientras que para el mijo la mezcla de harina integral cruda y precocida mejoran la aceptabilidad, sin necesidad de la adición de otros ingredientes.

Dado el número limitado de estudios disponibles sobre quinua y sorgo, se decidió unificar los atributos de textura (dureza, masticabilidad, elasticidad y firmeza) para las pastas elaboradas a base de quinua y a base de sorgo en la Tabla 8, con el fin de presentar los datos de manera más concisa, sin embargo, se analizan como productos independientes.

TABLA 8. ATRIBUTOS DE TEXTURA PARA PASTA ELABORADA A BASE DE QUINUA Y A BASE DE SORGO.

Estudio/Investigación	Dureza (N)	Masticabilidad (N mm)	Elasticidad (mm)	Firmeza (N)	Autores
Optimización y evaluación de una formulación de pasta sin gluten a base de quinua y chía	0,60 ± 0,11	—	—	—	Khatri et al. (2023)
Análisis de la calidad de cocción, color y textura de una pasta de quinua y lentejas	0,69 ± 0,13	0,02 ± 0,03	1 ± 0,00	—	Huamán et al. (2024)
Efecto de los ingredientes en la calidad de la pasta de sorgo sin gluten	—	13,97 ± 2,26	—	28,46 ± 1,42	Palavecino et al. (2017)

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos para evaluar la textura de la pasta, iniciando con el estudio realizado por Khatri et al. (2023) donde evalúan la dureza de la pasta optimizada elaborada con quinua y chía en comparación con la pasta de sémola de trigo duro (control) tanto cruda como cocida. Los resultados muestran que la pasta cruda de quinua fue significativamente menos dura que la pasta control, lo cual se atribuye a su mayor contenido de fibra, que debilita la estructura del almidón, reduciendo la firmeza del producto final. Sin embargo, tras la cocción, la fuerza requerida para romper la pasta de trigo resultó igual ($0,60 \pm 0,08$ N) a la de la pasta de quinua reportada en la tabla.

Seguidamente, en el estudio realizado por Huamán et al. (2024) se desarrollaron pastas a base de quinua y lentejas en diferentes proporciones, con el objetivo de evaluar su perfil de textura en comparación con una pasta comercial de trigo (utilizada como control). Se observó que la formulación compuesta por un 70 % de harina de sémola de quinua y un 30 % de harina de lenteja

presentó valores similares a los de la pasta control en los atributos de dureza ($0,51 \pm 0,20$ N) y elasticidad ($0,99 \pm 0,02$), lo cual indica un comportamiento textural comparable, sin embargo, la masticabilidad fue mayor ($0,26 \pm 0,08$ N mm). Los autores atribuyen estos resultados a que, en la pasta de trigo, la dureza y la masticabilidad están influenciadas por proteínas como las gliadinas, que aportan elasticidad, y las gluteninas, que confieren resistencia a la cocción. En contraste, en la pasta elaborada con quinua y lentejas, se sugiere que la fibra presente en las legumbres puede generar pequeñas fisuras en la estructura de la pasta, lo cual favorece una mayor deformabilidad sin ruptura. Esta propiedad contribuye a que su textura sea similar a la de una pasta con gluten, manteniendo además una buena integridad durante la cocción.

Por otra parte, en el estudio realizado por Palavecino et al. (2017) se elaboraron pastas empleando harina de sorgo blanco y harina de sorgo marrón, a las cuales se adicionaron ingredientes como albúmina de huevo, huevo en polvo, almidón pregelatinizado y goma xantana. En los resultados correspondientes a la pasta elaborada con harina de sorgo blanco, cuyos valores se encuentran reportados en la Tabla 8, se evidenció que todos los aditivos tuvieron un efecto positivo y significativo sobre la firmeza. En particular, esta aumentó a medida que se incrementaban las concentraciones de albúmina y huevo en polvo, lo que sugiere que las proteínas del huevo desempeñan un papel fundamental en la formación de la estructura, al generar una capa delgada alrededor de los gránulos de almidón, mejorando también la masticabilidad del producto. En cuanto a la pasta con harina de sorgo marrón, la goma xantana fue el ingrediente que más contribuyó a mejorar la firmeza ($17,55 \pm 1,41$ N) y la masticabilidad ($8,74 \pm 1,03$ N mm), efecto atribuido a su capacidad para autoasociarse y formar geles de alta consistencia en medios acuosos. No obstante, los autores resaltan que la pasta elaborada con sorgo blanco presentó mejores

propiedades texturales, debido a su mayor capacidad para formar gel y retrogradarse, es decir, volver a espesarse.

Finalmente, en la Tabla 9 se presentan los atributos de textura (dureza, masticabilidad, elasticidad y firmeza) para las pastas elaboradas a base de mijo.

TABLA 9. ATRIBUTOS DE TEXTURA PARA PASTA ELABORADA A BASE DE MIJO

Estudio/Investigación	Dureza (N)	Masticabilidad (N mm)	Elasticidad (mm)	Firmeza (N)	Autores
Impacto de la harina extruida de mijo integral sobre las propiedades fisicoquímicas y la actividad anti hiperglucémica de la pasta sin gluten	1,36 ± 0,48	0,52 ± 0,23	0,88 ± 0,07	—	Pessanha et al. (2023)
Desarrollo y caracterización de pastas a base de pulpa de manzana y mijo africano enriquecidas con micronutrientes encapsulados	0,33 ± 0,04	—	—	—	Kumari et al. (2023)
Calidad de cocción, digestibilidad y propiedades sensoriales de la pasta de mijo común según el contenido de amilosa y el perfil de prolamina	—	—	—	5,18	Cordelino et al. (2019)
Propiedades reológicas y textura de la masa de pasta sin gluten a base de harina de mijo común	56,42 ± 2,29	9,54 ± 0,70	—	—	Romero et al. (2017)
Evaluación de la calidad de la pasta a base de mijo perlado	9,37 ± 0,17	5,91 ± 0,05	1,07 ± 0,24	—	Jalgaonkar et al. (2018)

En la Tabla 9 se presentan los parámetros de textura relacionados con la dureza, masticabilidad y elasticidad de las pastas elaboradas en el estudio de Pessanha et al. (2023). Se evaluaron dos formulaciones, una con 100 % de harina de mijo integral cruda (HMC) y otra con una mezcla 50:50 de harina de mijo cruda y harina de mijo precocida extruida (HMC:HMP) cuyos valores se reportaron en esta tabla. Los resultados mostraron que la incorporación de la fracción extruida mejoró significativamente el comportamiento textural de la pasta, otorgándole propiedades similares a las de una pasta con gluten. En contraste, la formulación con solo harina cruda presentó un valor de dureza mucho menor (0,39 N). Al comparar con la pasta de sémola de trigo (1,49 N), la mezcla HMC:HMP alcanzó un valor más cercano, lo que evidencia su efecto positivo.

Respecto a la elasticidad, evidenciaron que esta fue mayor en la mezcla que en HMC (0,77 mm), aunque todavía por debajo de la pasta de trigo (1,03 mm). En cuanto a la masticabilidad, la mezcla HMC:HMP también presentó mejores resultados que HCM (0,12 N mm), aunque aún por debajo del valor de la pasta control (0,98 N mm). Este atributo se vio afectado por el tiempo de cocción, ya que una mayor exposición al calor favorece el ablandamiento de la estructura y la pérdida de almidón en el agua. Estos resultados sugieren que la extrusión de la harina de mijo favoreció una reorganización del almidón que mejoró la estructura de la pasta, permitiéndole adquirir mayor elasticidad y firmeza, comportándose de manera más parecida a las pastas elaboradas con trigo.

De igual manera, Kumari et al. (2023) evaluaron la dureza de una pasta elaborada con sémola de trigo duro (70 %), harina de mijo africano (20 %) y polvo de pulpa de manzana (8 %),

comparándola con una pasta comercial de trigo (control). Los resultados mostraron una menor dureza en la pasta con adición de mijo, en comparación con la muestra control ($0,86 \pm 0,06$ N), esta disminución se la atribuyeron al debilitamiento de la matriz de gluten, causado por el alto contenido de fibra dietética presente tanto en la harina de mijo como en el polvo de pulpa de manzana, lo cual altera la estructura de la pasta al afectar la continuidad de la red proteína-almidón.

Por otro lado, Cordelino et al. (2019) evaluaron la idoneidad de diferentes variedades de mijo proso para la elaboración de pasta sin gluten, considerando el efecto del contenido de amilosa y el perfil de prolaminas sobre la calidad de la pasta fresca. Para ello, emplearon las variedades Earlybird (bajo contenido de amilosa, 7,8 %), Horizon (contenido intermedio, 25,1 %) y Sunrise (alto contenido, 31,7 %), cabe destacar que valores presentados en la tabla corresponden a la variedad Horizon. Los resultados mostraron que una menor concentración de amilosa se asocia con una reducción en la firmeza de la pasta, en efecto, las variedades Earlybird (3,64 N) y Sunrise (4,37 N) registraron valores inferiores a Horizon, cuya firmeza fue comparable a la de la pasta de trigo comercial (5,95 N). Los autores concluyen que los almidones con un contenido de amilosa superior al 25 % son los más adecuados para la elaboración de pasta seca sin gluten, debido a su mayor capacidad de retrogradación, lo que favorece la formación de una red estructural resistente durante la cocción.

En el estudio realizado por Romero et al. (2017), se compararon los parámetros de textura (dureza y masticabilidad) de pastas elaboradas a partir de mijo proso con la incorporación por separado de goma guar, goma xantana y alginato de sodio, evaluadas individualmente en concentraciones de 0 %, 1 % y 2 %, frente a una pasta elaborada con trigo. Los resultados mostraron que la incorporación de hidrocoloides mejoró significativamente la dureza de las pastas sin gluten; no obstante, estos valores continuaron siendo inferiores a los de la pasta de trigo, debido

principalmente a la ausencia de gluten en la formulación. En particular, la adición del 1 % de goma xantana, cuyos resultados se presentan en la Tabla 9, permitió obtener una dureza comparable a la de la pasta comercial de trigo ($66,27 \pm 1,79$ N).

Con respecto a la masticabilidad, se observó que la pasta suplementada con goma xantana y goma guar presentó valores inferiores a los de la pasta de trigo ($32,58 \pm 2,23$ N mm). No obstante, se evidenció una mejora significativa en la integridad de la red de almidón en los fideos de mijo proso, ya que la muestra sin aditivos se desintegró durante la cocción. Además, ambas gomas favorecieron la interacción entre los gránulos de almidón a altas temperaturas, lo cual podría constituir el mecanismo responsable de la mejora en las propiedades texturales de los fideos.

De acuerdo con el estudio realizado por Jalgaonkar et al. (2018), se evaluó el efecto de la despigmentación del mijo perla sobre las propiedades texturales de la pasta elaborada con una mezcla 50:50 de sémola de trigo y harina de mijo perlado despigmentado, en comparación con una pasta de sémola de trigo. Los resultados mostraron que la pasta de trigo presentó valores superiores de dureza ($20,81 \pm 0,46$ N) y masticabilidad ($14,52 \pm 0,59$ N mm) en relación con la pasta que contiene mijo despigmentado, diferencia que, según los autores, podría atribuirse a la menor cantidad de gluten en su formulación; sin embargo, la elasticidad fue similar ($1,03 \pm 0,02$ mm). No obstante, se evidenció que el proceso de despigmentación no afecta dichas propiedades, lo que indica que esta etapa no compromete la calidad textural del producto final.

En las Tablas 8 y 9 se evidencia una alta variabilidad en los valores de dureza, masticabilidad y firmeza de las pastas elaboradas con harinas de quinua, sorgo y mijo. Esto se refleja incluso utilizando una misma materia prima, como es el caso de Kumari et al. (2023) donde evaluaron la dureza de las pastas elaboradas con harina de mijo africano, sémola de trigo y polvo

de pulpa de manzana, utilizando un analizador de textura TA-XT2 (Stable Micro Systems) con una sonda cilíndrica de 75 mm y un porcentaje de deformación del 50 %, obteniendo un valor de $0,33 \pm 0,04$. En cambio, Romero et al. (2017), empleando un equipo similar (TA-XT2i) pero con una sonda de 50 mm y un mayor porcentaje de deformación (75 %), reportaron un valor de $56,42 \pm 2,29$ N para una pasta elaborada con harina de mijo proso y adición de goma xantana.

Asimismo, al comparar este parámetro entre pastas elaboradas con distintas materias primas se evidencia una diferencia considerable, como es el caso de Khatri et al. (2023) donde utilizaron un Analizador de Textura (Stable Micro Systems) con una sonda de 50 mm y un porcentaje de deformación al 50 % para las pastas elaboradas con harina de quinua reportando un valor de $0,60 \pm 0,11$ N notablemente menor respecto al valor obtenido Romero et al. (2017) para las pastas de mijo proso mencionadas anteriormente.

De igual manera, respecto a la masticabilidad se observa un comportamiento similar en cuanto a la variabilidad de los valores reportados, como se muestra en el estudio realizado por Huamán et al. (2024) para las pastas elaboradas con harina de quinua y lenteja empleando un dinamómetro (34 TTM) equipado con platos de compresión de 75 mm y un porcentaje de deformación de 75% obteniendo un valor de $0,02 \pm 0,03$ N mm, mientras que Palavecino et al. (2017) reportó un valor considerablemente mayor ($13,97 \pm 2,26$ N mm) para las pastas preparadas con harina de sorgo blanco adicionando albúmina de huevo, huevo en polvo, almidón pregelatinizado y goma xantana, empleando un analizador de textura (Universal Testing Machine modelo 3342). Del mismo modo, existe una gran diferencia entre los valores de firmeza obtenidos por Cordelino et al. (2019) para las pastas de harina de mijo proso variedad Horizon utilizando un analizador de textura TA.XT2 (Stable Micro Systems) equipado con una cuchilla metálica a una velocidad de corte de 10,2 mm/min, teniendo como resultado un valor de 5,18 N muy por debajo

del reportado por Palavecino et al. (2017) para las pastas de sorgo blanco mencionadas anteriormente, el cual fue de $28,46 \pm 1,42$ N.

En cuanto a la elasticidad, los valores reportados muestran mayor consistencia y cercanía con sus respectivos controles. Por ejemplo, la pasta de quinua elaborada por Huamán et al. (2024) y la pasta de mijo por Jangaolkar et al. (2018) informaron elasticidades de $1 \pm 0,00$ mm y $1,07 \pm 0,24$ mm respectivamente, mientras que las muestras control correspondientes presentaron valores de $0,99 \pm 0,02$ mm y $1,03 \pm 0,02$ mm; esta tendencia permite sugerir que una elasticidad cercana a 1 mm podría considerarse adecuada para las pastas sin gluten.

La variación observada en los valores de dureza, masticabilidad y firmeza entre diferentes formulaciones de pasta puede atribuirse a diversos factores determinantes. En primer lugar, el tipo de equipo utilizado (modelo y marca) y sus parámetros de configuración, entre ellos la geometría y el tamaño de la sonda, así como el porcentaje de deformación, pueden modificar de forma significativa los resultados instrumentales. En segundo lugar, la composición de la pasta también ejerce un papel clave, considerando tanto la naturaleza de la materia prima como los ingredientes complementarios, por ejemplo: chía y lenteja en la pasta de quinua, polvo de pulpa de manzana en la de mijo, o aditivos como albúmina de huevo en la de sorgo y goma xantana en la de mijo. Esta combinación de variables explica por qué productos con composiciones diferentes presentan valores de textura distintos, incluso bajo condiciones de medición similares, lo que dificulta establecer un rango estándar para estos atributos.

10. Conclusiones

A partir del análisis realizado, se pudo observar que la elaboración de productos tipo pasta libres de gluten que sean nutricionalmente equilibrados y sensorialmente aceptables sigue siendo un reto importante en la industria alimentaria, debido a la creciente demanda de alternativas sin gluten, impulsada principalmente por condiciones como la enfermedad celíaca, intolerancia al gluten y personas que se preocupan por su salud.

En este contexto, fue posible evidenciar que el contenido nutricional, la calidad de cocción de la pasta y los atributos sensoriales de color y textura varían dependiendo de la materia prima utilizada y los diferentes ingredientes adicionados. De este modo en la pastas elaboradas con harina de quinua se destacan las que tienen adición de clara de huevo (CH) y almidón de yuca (AY) ya que dieron como resultado un producto con mayor contenido de proteína frente a las demás materias primas, con un tiempo de cocción superior a los 7 minutos y una absorción de agua inferior al de la pasta de trigo, además presentó una tonalidad amarilla y luminosa, mientras que, la pasta con adición de chía tuvo un mayor contenido de fibra, con atributos sensoriales similares a los de la pasta de trigo debido a su tonalidad amarilla aunque menos luminosa, así como también a su dureza y aceptabilidad.

Asimismo, se presentaron diferencias en las pastas elaboradas con harina de sorgo de acuerdo con su variedad donde se resalta la de sorgo blanco con adición de harinas de papa y frijol obteniendo un producto alto en proteína, pero inferior al de la pasta de quinua con adición de CH y AY, y con una mayor absorción de agua, similar al de la pasta de trigo. Del mismo modo, al utilizar harinas de sorgo blanco y marrón con la adición de huevo en polvo, albúmina de huevo y almidón pregelatinizado, se observaron mejores atributos sensoriales en la pasta elaborada con sorgo blanco, resaltando por su mayor luminosidad, tonalidad amarilla más intensa, mejor firmeza

y masticabilidad. En contraste, la pasta de sorgo marrón presentó una mayor absorción de agua y un menor tiempo de cocción en comparación con la pasta de sorgo blanco y las formulaciones a base de quinua descritas anteriormente.

De acuerdo con las pastas elaboradas a base de harina de mijo, fue relevante las condiciones de procesamiento para una variedad especial como el mijo perla, teniendo en cuenta que la mezcla de harina integral cruda y precocida presentó un alto contenido de proteína (similar al de la pasta de sorgo blanco con adición de harinas de papa y frijol) y fibra (menor al de la pasta de quinua adicionada con chía), con características de color y textura similares a las de la pasta de trigo y una aceptabilidad moderada, sin embargo, cuando se evaluaron las harinas de forma independiente la pasta de mijo integral cruda tuvo mayor calidad de cocción presentando un menor tiempo y mayor absorción de agua.

Finalmente, entre todos los estudios evaluados sobre la quinua, las pastas elaboradas con adición de clara de huevo y almidón de yuca se destacan como la alternativa más prometedora para la producción de pastas sin gluten. Esto se debe a su alto valor nutricional, buen desempeño en textura y color, así como a su elevado potencial de aceptación por parte del consumidor, sin embargo, es importante resaltar que estos resultados positivos dependen de la incorporación de los ingredientes complementarios mencionados. En cuanto al sorgo, las variedades blanco y marrón demostraron ser las más adecuadas, mientras que en el caso del mijo, sobresalió la variedad perla. Estas opciones mostraron características similares a las de una pasta convencional de trigo en términos de composición nutricional, calidad de cocción, color y textura, además de una valoración aceptable por parte de los consumidores, lo que las posiciona también como alternativas viables para el desarrollo de pastas sin gluten.

11. Recomendaciones

Considerando la alta variabilidad observada en los resultados de textura, se recomienda estandarizar el tipo de equipo, las condiciones de análisis y los parámetros de medición en futuros estudios, con el fin de minimizar la variabilidad de este parámetro y garantizar la concordancia entre evaluaciones.

Para futuros estudios en esta línea de investigación, se recomienda realizar un análisis comparativo entre las materias primas evaluadas (quinua, sorgo y mijo), en lugar de abordarlas de forma aislada. Este enfoque permitirá identificar diferencias intrínsecas en sus propiedades y optimizar las formulaciones en función del perfil de producto deseado.

Con base en las conclusiones de este estudio, se propone considerar tanto los resultados positivos como las limitaciones detectadas en este y otros estudios para desarrollar formulaciones más eficientes. Asimismo, se recomienda explorar la combinación de las tres materias primas evaluadas, con el objetivo de obtener productos que respondan mejor a las necesidades y preferencias del consumidor.

12. Bibliografía

Aguilar Guncay, I. M. (2017). Optimización del proceso de secado en pastas alimenticias. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28690/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

Aliaga, E. D., Allué, I. P., & Ribes-Koninckx, C. (2023). Trastornos asociados al gluten. *Protocolo de diagnóstico pediátrico*, 1:139-148. https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/12_trast_gluten.pdf

Aparicio, et al. (2018). Development of a pasta-type product from non-conventional flours (sago, quinoa, lentils). https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1264&context=ing_alimentos

Benhur, D. R., Bhargavi, G., Kalpana, K., Vishala, A. D., Ganapathy, K. N., & Patil, J. V. (2015). Development and standardization of sorghum pasta using extrusion technology. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6828–6833. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1801-8>

Blandón, S. (2019). Desarrollo y formulación de pasta libre de gluten. Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a1e9a242-56ae-4d2f-bf69-aaeb1c25bdc/content>

Bozorg, S. R., Lee, A. R., Mårild, K., & Murray, J. A. (2024). The economic iceberg of celiac disease: More than the cost of gluten-free food. *Gastroenterology*. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2024.02.051>

Brady, K., Ho, C.-T., Rosen, R. T., Sang, S., & Karwe, M. V. (2007). Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chemistry*, 100(3), 1209–1216. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.001>

Brugos Aguado, E. (2019). El gluten. Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16472/BrugosAguadoEmilio.pdf;jsessionid=415C4D5C8DAA81C5143E7653409991BE?sequence=1>

Caeiro, C., Pragosa, C., Cruz, M. C., Pereira, C. D., & Pereira, S. G. (2022). The role of pseudocereals in celiac disease: Reducing nutritional deficiencies to improve well-being and health. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/8502169>

Calle, Irene de la Ros, Gaspar, Peñalver, Rocio, Nieto, Gema. (2020). Enfermedad celíaca: causas, patología y valoración nutricional de la dieta sin gluten. Revisión. *Nutrición Hospitalaria*, 37(5), 1043-1051. ERub 04 de enero de 2021. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.02913>

Camara Mauri, S. (2020). Alternativas para la formulación de gofres y barquillos con mejor perfil nutricional. 157875. <https://riunet.upv.es/handle/10251/157875>

Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. *Scientia agropecuaria*, 13(3), 209–220. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>

Carvajal Alvarado, L. F. (2021). Pastas alimenticias libres de gluten a base de arroz, una revisión. *Investigación Joven*, 8(1), 1–6. Recuperado a partir de <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/10942>

Carvajal, L. (2021). PASTAS ALIMENTICIAS LIBRES DE GLUTEN A BASE DE ARROZ: UNA REVISIÓN. *Investigación Joven*, 8 (1), 1-6. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/126544/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cherif, M., Mesbahi, M., Khedhiri, N., Zebda, H., Hadded, D., & Ben Maamer, A. (2024). A rare association of adenocarcinoma of the small bowels and coeliac disease: A case report. *International Journal of Surgery Case Reports*, 118(109698), 109698. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2024.109698>

Cordelino, I. G., Tyl, C., Inamdar, L., Vickers, Z., Marti, A., & Ismail, B. P. (2019). Cooking quality, digestibility, and sensory properties of proso millet pasta as impacted by amylose content and prolamin profile. *LWT*, 99, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.035>

Córdoba-Cerón, D. M., Bravo-Gómez, J. E., Agudelo-Laverde, L. M., Roa-Acosta, D. F., & Nieto-Calvache, J. E. (2023). Techno-functional properties of gluten-free pasta from hyperprotein quinoa flour. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18539>

Córdoba-Cerón, DM, Carranza-Saavedra, D., Roa-Acosta, DF, Hoyos-Concha, JL, & Solanilla-Duque, JF (2022). Análisis físico y culinario de pastas largas extruidas sin gluten a base de harina de quinua de alto contenido proteico. *Fronteras en sistemas alimentarios sostenibles*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1017324>

Daley SF, Haseeb M. Enfermedad celíaca. (2025). Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441900/>

De Oliveira, L. de L., de Orlandin, L. C., de Aguiar, L. A., Queiroz, V. A. V., Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., & de Alencar Figueiredo, L. F. (2022). Gluten-Free Sorghum Pasta: Composition and Sensory Evaluation with Different Sorghum Hybrids. *Foods*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/foods11193124>

Demir B, Bilgiçli N. (2020). Utilización de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la formulación de pasta sin gluten: Efectos sobre las propiedades nutricionales y sensoriales. *Food Science and Technology International*. 27(3):242-250. doi: 10.1177/1082013220940092

Díaz Plazas, Leesly Mayerli; Torres Rodriguez, Diana Catherine. (2016). Elaboración y evaluación de una barra de cereal con inclusión de mijo. *Construyendo investigación: semilleros generadores de ideas*.

Dr. Schär Institute. (2018). La digestión del gluten. <https://www.drschaer.com/es/institute/a/digestion-gluten>

Dutcosky, S. D. (2013). Análise sensorial de alimentos. In *Análise sensorial de alimentos* (pp. 426-426).

Estévez, V., & Araya, M. (2016). La dieta sin gluten y los alimentos libres de gluten. *Revista chilena de nutrición: órgano oficial de la Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología*, 43(4), 428–433. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46949071014>

Estévez, V., Rodríguez, JM, Schlack, P., Navarrete, P., Bascuñán, KA, Núñez, V., Oyarce, C., Flores, C., Ayala, J., & Araya, M. (2024). Barreras persistentes de la canasta básica de alimentos sin gluten: evaluación de disponibilidad, costo y composición nutricional. *Nutrientes*, 16 (6), 885. <https://doi.org/10.3390/nu16060885>

Fenalce. (2024). Histórico de área, producción y rendimiento: Cereales, Leguminosas y Soya. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiM2FiYzYzM5ZTA0NjFmNi00MGQyLWFiYzYtNGI0YTJiZTcwZWQwIiwidCI6IjU2MmQ1YjJLTBmMzEtNDdmOC1iZTk4LTNmMjI4Nzc4MDBhOCJ9>

Ferreira, S. M. R., de Mello, A. P., de Caldas Rosa dos Anjos, M., Krüger, C. C. H., Azoubel, P. M., & de Oliveira Alves, M. A. (2016). Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch

for the preparation of gluten-free pasta. Food Chemistry, 191, 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.085>

Flores Mamani, E., Rodriguez-Huamani, R. E., Arce-Ortiz, N. V., & García-Tejada, G. F. (2022). Cultura y comportamiento del consumidor de quinua como producto orgánico. Idesia, 40(2), 133–142. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000200133>

Future Market Insights Inc. (2025). Gluten – Free Pasta Market. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/gluten-free-pasta-market#thankyou>

Gasbarrini, G. B., Bibbò, S., Cammarota, G., & Gasbarrini, A. (2021). Pasta made with sorghum flour is a valid alternative in the gluten-free diet, reducing metabolic disorders and nutritional deficiencies. Digestive and Liver Disease: Official Journal of the Italian Society of Gastroenterology and the Italian Association for the Study of the Liver, 53(11), 1527–1528. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2021.06.002>

Gluten Intolerance Group - GIG. (2021). Agregando Fibra a su Dieta Libre de Gluten. Gluten.org. <https://gluten.org/recursos-en-espanol/>

Gwekwe, B., Nyanga, L. K., Matsungu, T. M., Chidewe, C., Mukanganyama, S., Nyakudya, E., Mtambanengwe, F., Mapfumo, P., & Chopera, P. (2024). DEVELOPMENT AND SENSORY PROPERTIES OF EXTRUDED SORGHUM-BASED GLUTEN-FREE PASTA. <https://doi.org/10.5973/ffr0-47055>

Hachim, S. (2024). Plan de marketing para la producción de productos de panificación a base de harina de sorgo libres de gluten. Universidad FASTA. <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/2627>

Howdle, Peter D. (2006). ¿Gliadina, glutenina o ambas? La búsqueda del Santo Grial en la enfermedad celíaca. Revista Europea de Gastroenterología y Hepatología 18 (7): p 703-706. DOI: 10.1097/01.meg.0000221847.09792.34

Huamán, E. V., Hurtado, V. P., Prieto, J. M., & Pinto, E. M. (2024). Cooking quality, color, and texture profile analysis of a quinoa and lentil pasta. Ciencia e Agrotecnologia, 48. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202448015623>

Informes de Expertos. (2023). Mercado de la Pasta Sin Gluten en América Latina 2024-2032. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-la-pasta-sin-gluten-en-america-latina>

Informes de Expertos. (2023). Mercado de Pastas en Colombia 2024-2032. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-pasta-en-colombia>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2014). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1055 2014-06-18 PRODUCTOS DE MOLINERÍA. PASTAS ALIMENTICIAS. <https://pdfcoffee.com/ntc-1055-pastas-alimenticias-5-pdf-free.html>

Itusaca-Maldonado, Y. M., Apaza-Humerez, C. R., Pumacahua-Ramos, A., & Mayta Pinto, E. (2024). Technological and textural properties of gluten-free quinoa-based pasta (*Chenopodium quinoa* Wild). *Heliyon*, 10(7), e 28363. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28363>

Jalgaonkar, K., Jha, S. K., & Kumar Mahawar, M. (2018). Quality evaluation of pearl millet based pasta as affected by depigmentation. In *CURRENT SCIENCE* (Vol. 115, Issue 6). <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/115/06/1191.pdf>

Jalgaonkar, K., Jha, S. K., Mahawar, M. K., & Yadav, D. N. (2019). Pearl millet based pasta: optimization of extrusion process through response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1134–1144. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03574-3>

Khatri, M., Singh, A., Singh, R., Kamble, D. B., Dar, A. H., & Sharma, A. (2023). Optimization and evaluation of quinoa and chia based gluten free pasta formulation. *Food and Humanity*, 1, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.05.009>

Kuang, J., Xu, K., Dang, B., Zheng, W., Yang, X., Zhang, W., Zhang, J., & Huang, J. (2023). Interaction with wheat starch affect the aggregation behavior and digestibility of gluten proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(127066), 127066. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127066>

Kumar, C. T., Sabikhi, L., Singh, A. K., Raju, P. N., Kumar, R., & Sharma, R. (2019). Effect of incorporation of sodium caseinate, whey protein concentrate and transglutaminase on the properties of depigmented pearl millet based gluten free pasta. *LWT*, 103, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.071>

Kumari, M., Arya, P., Khatkar, S. K., & Kumar, P. (2023). Development and characterization of apple pomace and finger millet-based pasta enriched with encapsulated micronutrient. *Food Chemistry Advances*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100551>

Long, D. Q., Doan, T. B. N., Ton, N. M. N., Tran, T. T. T., & Le, V. V. M. (2024). Quality of durum wheat pasta fortified with different ratios of turmeric residue powder. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16(101220), 101220. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101220>

López, S., de Kairuz, M. N., & Fátima Nader-Macias, M. E. (2008). Evaluación nutricional, microbiológica y sensorial de mijo y productos elaborados a partir de harina de mijo. *La Alimentación Latinoamericana*, 273, 54-59.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2020). La quinua en Colombia es uno de los cultivos con gran potencial de crecimiento. Finagro. <https://www.finagro.com.co/noticias/quinua-colombia-uno-los-cultivos-gran-potencial-crecimiento>

Montoya, S. E. B. (2019). Desarrollo y formulación de pasta libre de gluten. Escuela Agrícola Panamerica, Zamorano Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a1e9a242-56ae-4d2f-bf69-aaebee1c25bdc/content>

Monzón ME, Milde LB, Olivera JE, Garrido RB, Fajardo MA. Development and consumer acceptance of gluten-free pasta enriched with *Pyropia columbina* seaweed. Physical, textural and nutritional properties. *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2022; 26(Supl. 1): 1510. doi: 10.14306/renhyd.26.S1.1510.

Mordor Intelligence Research & Advisory. (2023, June). Tamaño del mercado de pasta sin gluten y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-gluten-free-pasta-rice-market-industry>

Moreno, A. (2019). Trastornos relacionados con el consumo de gluten: sensibilidad al gluten. Universidad Complutense. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ANA%20ISABEL%20MORENO%20GRIMA.pdf>

Morillo Coronado, A. C., Manjarres Hernández, E. H., Morillo Coronado, Y., González Mendoza, L. A. (2021). Una mirada al cultivo de la quinua en el departamento de Boyacá. Colombia: Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC.

Moscoso, F., & Quera, R. (2015). ENFERMEDAD CELIACA: REVISIÓN. *Revista médica Clínica Las Condes*, 26(5), 613–627. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2015.09.007>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 1995. El sorgo y el mijo: en la nutrición humana. (Colección FAO: Alimentación y nutrición N°27) ISBN 92-5-303381-9

Paiva, C. L., Queiroz, V. A. V. Garcia, M. A. V. T. (2019). Características tecnológicas, sensoriais e químicas de massas secas sem glúten à base de farinhas de sorgo e milho. *Brazilian journal of food technology*, 22, e2018095. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.09518>

Palavecino, P. M., Bustos, M. C., Heinzmann Alabí, M. B., Nicolazzi, M. S., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2017). Effect of Ingredients on the Quality of Gluten-Free Sorghum Pasta. *Journal of Food Science*, 82(9), 2085–2093. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13821>

Palavecino, P. M., Curti, M. I., Bustos, M. C., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2020). Sorghum Pasta and Noodles: Technological and Nutritional Aspects. In *Plant Foods for Human Nutrition* (Vol. 75, Issue 3, pp. 326–336). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00829-9>

Parada, A., Araya, M. (2010). El gluten: Su historia y efectos en la enfermedad celíaca. *Revista médica de Chile*, 138 (10), 1319-1325. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872010001100018>

Pessanha, K. L. F., Santos, M. B., de Grandi Castro Freitas-Sá, D., Takeiti, C. Y., & Carvalho, C. W. P. (2023). Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free pasta. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6), 1738–1748. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05714-2>

Remes-Troche, J. M., Uscanga-Domínguez, L. F., Aceves-Tavares, R. G., Calderón de la Barca, A. M., Carmona-Sánchez, R. I., Cerda-Contreras, E., Coss-Adame, E., Icaza Chávez, M. E., López-Colombo, A., Milke-García, M. P., Morales-Arámbula, M., Peláez-Luna, M., Ramos Martínez, P., Sánchez-Sosa, S., Treviño-Mejía, M. C., Vázquez-Frías, R., Worona-Dibner, L. B., Zamora-Nava, L. E., & Rubio-Tapia, A. (2018). Guía clínica para diagnóstico y tratamiento de la enfermedad celíaca en México. *Revista de gastroenterología de Mexico*, 83(4), 434–450. <https://doi.org/10.1016/j.rgm.2018.05.005>

Rodríguez, R. (2023). La FAO fomenta la producción sostenible de millo, un "nutricereal". *Radio Nacional de Colombia*. <https://www.radionacional.co/actualidad/campo-colombiano/millo-cereal-con-altos-nutrientes-que-se-cultiva-en-atlantico>

Romano, A., Ferranti, P., Gallo, V., & Masi, P. (2021). New ingredients and alternatives to durum wheat semolina for a high quality dried pasta. *Current Opinion in Food Science*, 41, 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.07.005>

Romero, H., Santra, D., Rose, D., & Zhang, Y. (2017). Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour. *Journal of Cereal Science*, 74, 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.014>

Salazar N.J., González G., Rouzaud O. & Robles M. (2018). Tecnologías aplicadas al sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]: cambios en los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. *Food Science and Technology*. 38(3): 1-14. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612018000300369

Schmid, T., Loschi, M., Hiltbrunner, J., & Müller, N. (2023). Assessment of the suitability of millet for the production of pasta. *Applied Food Research*, 3(1), 100247. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100247>

Sciarini L.S.; M.E. Steffolani and A.E. León. (2016). The role of gluten in breadmaking and the challenge of elaborating gluten-free bread. *Agriscientia* 33(2): 61-74. <http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v33n2/v33n2a01.pdf>

Solano, D., & Quesada, D. (2020). Enfermedad celíaca y desarrollo de patologías secundarias. *Dialnet*, 24(4), 291-305.

Torres Vargas, O. L., Lema González, M., & Galeano Loaiza, Y. V. (2020). Optimization study of pasta extruded with quinoa flour (*Chenopodium quinoa* willd). *CYTA - Journal of Food*, 19(1), 220–227. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1883116>

Torres, Olga L., Lema, Mariana, Galeano, Yessica V. (2021). Effect of Using Quinoa Flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) on the Physicochemical Characteristics of an Extruded Pasta, *International Journal of Food Science*, 8813354, 8 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/8813354>

United States Department of Agriculture. (2018). Detalles de alimentos de FoodData Central. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/170554/nutrients>

Vega, G. (2021). Productos “sin TACC”: aumenta la oferta ante la demanda. *THE FOOD TECH - Medio de noticias líder en la Industria de Alimentos y Bebidas*. <https://thefoodtech.com/nutricion-y-salud/productos-sin-tacc-aumenta-la-oferta-ante-la-demanda/>

Villanueva Flores, Rafael. (2014). El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. Universidad de Lima, Perú. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337432679010>

Wu, X., Qian, L., Liu, K., Wu, J., & Shan, Z. (2021). Gastrointestinal microbiome and gluten in celiac disease. *Annals of Medicine*, 53(1), 1797–1805. <https://doi.org/10.1080/07853890.2021.1990392>

Zingale, S., Cimini, A., Guarnaccia, P., Reguant-Closa, A., Lagioia, G., Nemecek, T., Moresi, M., & Ingrao, C. (2024). Durum wheat pasta cooking: A combined assessment of the relevant quality, energy and environmental indicators. *Environmental Impact Assessment Review*, 109(107640), 107640. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107640>