

PASTAS ALIMENTICIAS LIBRES DE GLUTEN A BASE DE ARROZ: UNA REVISIÓN

Carvajal Alvarado, Luisa Fernanda

Semillero de Investigación Metabolitos – SIM, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Fundación Escuela Tecnológica de Neiva Jesús Oviedo Pérez, Km. 11 Vía Neiva - Rivera, 411080. Rivera, Huila, Colombia.

luisa-ca@hotmail.com

RESUMEN: En la actualidad aumenta progresivamente la prevalencia de la enfermedad celíaca (EC) en el mundo, la cual es una enfermedad autoinmune ocasionada por la exposición al gluten. La industria alimentaria ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo e innovación de productos que favorezcan la salud de las personas, por lo que han sustituido cereales como el trigo y lo han reemplazado por arroz en productos muy consumidos como la pasta. El arroz es un cereal que no contiene gluten, por ello, al ser utilizado en la elaboración de pastas alimenticias requiere procesos tecnológicos como la extrusión que contribuyen a la consistencia y estabilidad del producto durante la cocción. En el presente trabajo se analiza la influencia del gluten en la incidencia y desarrollo de la enfermedad celíaca y se realiza una revisión de la elaboración de pastas alimenticias libres de gluten a base de arroz, con énfasis en la influencia del proceso de extrusión en las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos.

PALABRAS CLAVE: Pasta, arroz, gluten, enfermedad celíaca, extrusión.

GLUTEN-FREE RICE-BASED FOOD PASTA, A REVIEW

ABSTRACT: At present, the prevalence of celiac disease (CD) in the world is progressively increasing. CD is an autoimmune disease caused by exposure to gluten. The food industry has played a fundamental role in the development and innovation of pasta products substituting wheat by gluten free cereals such as rice. However, the rice is used in the production of pasta, technological processes such as extrusion are required improve product consistency and stability during cooking. In this work we analyze the influence of gluten in CD incidence in the development of celiac disease and we review the preparation of gluten free rice-based pasta with emphasis on the influence of extrusion in product physicochemical and sensory properties.

KEYWORDS: Pasta, rice, gluten, celiac disease, extrusion.

INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de casos de intolerancia al gluten en todo el mundo, se ha evidenciado la marcada inclinación de las personas a adaptarse a las nuevas tendencias de alimentación saludable y a adquirir productos libres de gluten, bajos en grasas, carbohidratos y azúcar.

La enfermedad celíaca, se debe principalmente a la intolerancia permanente a las proteínas del gluten. Afecta a personas genéticamente susceptibles ocasionando una inflamación en la mucosa del intestino delgado, un aplanamiento de las vellosidades encargadas de la captación de nutrientes, generando problemas de malabsorción. El único tratamiento recomendado para evitar esta enfermedad es una alimentación libre de gluten mantenida durante toda la vida. Por lo tanto, los alimentos que opten para su dieta deben ser cuidadosamente seleccionados. El arroz es uno de los cereales que pueden consumir sin restricción. Además de ser un producto libre de gluten es una excelente fuente de energía, tiamina, riboflavina y niacina. Por ello, se la ha empleado en el reemplazo de trigo en la elaboración de pastas.

Normalmente, la pasta se produce por la mezcla de harina de trigo y agua, y en el procesamiento, el gluten es principalmente responsable de la formación de la estructura visco-elástica de la masa. Cuando el agua se agrega a la harina de trigo y se mezcla mecánicamente, la glutenina y gliadina del gluten forman un complejo de proteínas creando una especie de masa extensible y cohesiva, contribuyendo a la elasticidad y

masticabilidad en la pasta. Dado que la pasta tradicional contiene gluten, estos productos no pueden ser consumidos por la población con EC. Por ello la industria de los alimentos ha desarrollado pasta libre de gluten. Uno de los cereales más empleados con este fin es el arroz. De todos modos, 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. Otra alternativa que se ha explorado es la adición de sustancias que, pueden reemplazar parcialmente al gluten al imitar propiedades viscoelásticas. El objetivo del presente trabajo es analizar la influencia del gluten en la incidencia y desarrollo de la enfermedad celíaca y revisar el proceso de elaboración de pastas alimenticias libres de gluten a base de arroz, con énfasis en la influencia del proceso de extrusión en las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos.

DISCUSIÓN

El Gluten

Un estudio realizado por Biesiekierski [1] explica que el gluten es una mezcla compleja de cientos de proteínas, entre las que se destacan la gliadina y la glutenina que pertenecen al trigo, la secalina en el centeno, la hordeína en la cebada y la avenina en la avena. El gluten es termoestable

y tiene la capacidad de actuar como agente aglutinante y extensor usado comúnmente como aditivo en alimentos procesados como pastas y productos de panificación, con el fin de mejorar la textura, la retención de humedad y el sabor. El gluten de trigo se caracteriza principalmente por su capacidad de conferir a las masas mayor absorción de agua, cohesividad, viscosidad y la elasticidad requeridas Georgiev y Dekova [2] y Wieser[3].

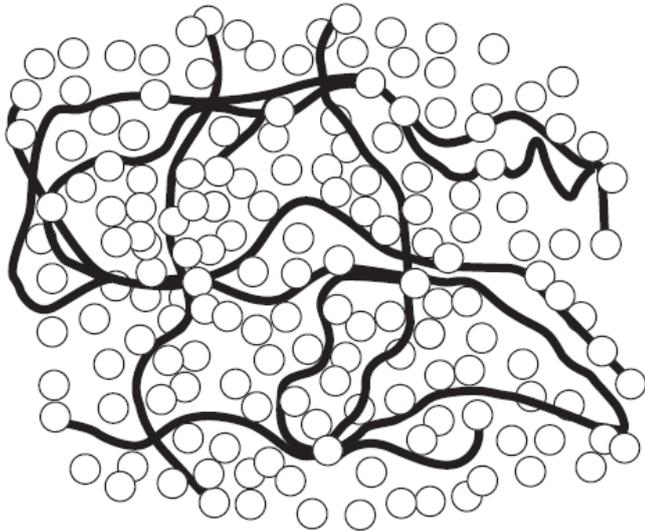


Figura 1 - Modelo simplificado del gluten a nivel molecular [4]

Enfermedad Celíaca

La enfermedad celiaca es una intolerancia de carácter permanente y se presenta en sujetos genéticamente predispuestos a padecerla [5]. Esta enfermedad induce al paciente a un proceso inflamatorio del intestino delgado, causando el aplanamiento de las vellosidades que se encargan de la absorción de nutrientes. En ciertos casos la enfermedad puede mantenerse latente o presentar manifestaciones leves, aunque en se manifiesta con síntomas gastrointestinales como diarrea, vómitos y distensión abdominal, como también retraso en el crecimiento.

Moscoso & Quera [6] y Ortiz & Valenzuela [7], afirman que la prevalencia a nivel mundial de la EC es del 0.5 - 1% de la población en general y coinciden que el gluten que contiene el trigo, la cebada, el centeno y la avena, es la causa directamente relacionada con dicha enfermedad en las que se destacan las denominadas prolaminas (gliadina, hordeína, secalina y avenina respectivamente), que poseen un alto contenido del aminoácido prolina. La avena, que contiene la proteína denominada avenina raramente desencadena la enfermedad celíaca.

Para tratar la enfermedad es conveniente que se lleve una dieta libre de gluten a lo largo de toda la vida según afirman Parada y Araya [8] en una investigación donde aclaran que dicha dieta significa que la cantidad de gluten en el alimento debe estar por debajo de 20 partes por millón (ppm). En línea con esto, el Codex Alimentarius estableció en el año 2009 a todo alimento libre gluten a aquel que contenga niveles menores de 20 miligramos por kilogramo.

La Pasta de Arroz y el Proceso de Extrusión

Walter y colaboradores [9] en su investigación bibliográfica acerca del arroz, indican que a lo largo de la existencia, el arroz se ha considerado como el alimento básico de la población a nivel mundial dado a su extensa producción y abundancia y proporciona una gran fuente de

energía, debido al alto contenido de almidón, también es un alimento que aporta lípidos, vitaminas y minerales importantes para el metabolismo del ser humano.

En un estudio realizado por Sozer [10] se afirma que uno de los alimentos seguros para los pacientes celiacos es el arroz, dado a que no posee gluten y puede ser utilizado en la producción de pasta como alternativa de alimentación saludable.

Bhattacharya y colaboradores [11] evaluaron once genotipos de arroz con diversas características de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas y viscosidad, haciendo relación a la idoneidad para elaborar pasta de arroz. Como resultado de la investigación realizada, se estableció que el contenido aparente de amilosa (AC) estuvo altamente correlacionado con la capacidad de absorción, viscosidad, masticabilidad y resistencia a la tracción.

De acuerdo al estudio realizado por Marti y colaboradores [12] los diferentes tratamientos que se aplicaron a las harinas de arroz afectaron directamente la viscosidad y el aumento en la capacidad de absorción de agua de la harina. La cocción a la que se sometía cada una de las muestras de pasta evidenció la mejoría de las características de viscosidad cuando se empleaba la extrusión como método de cocción.

Gallagher y colaboradores [13] realizan una investigación acerca de la sustitución del gluten en productos a base de cereales, lo que presenta un gran desafío tecnológico, debido a que es una proteína que forma una estructura única, necesaria para formular productos a base de cereales de alta calidad. Analizan la creciente demanda de productos sin gluten y lo asocian con el aumento aparente o real de la enfermedad celíaca u otras reacciones alérgicas / intolerancias al gluten y revisan los avances recientes en la formulación de productos sin gluten, que utilizan como materia prima el arroz, complementados con almidones, hidrocoloides, gomas y nuevos ingredientes y procesos que logren reemplazar la proteína del gluten.

Phongthai y colaboradores [14] desarrollaron un producto libre de gluten a base de arroz para probar su nivel de mejora de las propiedades de cocción al ser enriquecido con proteínas de múltiples fuentes mostradas en la Tabla 1, en donde cada proteína tiene un porcentaje de adición entre el 6% y el 9% . La sustitución del gluten sigue siendo un campo muy amplio de investigación, sin embargo, los autores afirman que, de acuerdo a los ensayos realizados en su investigación, la albúmina de huevo fue la proteína con más potencial para mejorar las propiedades viscoelásticas de la pasta sin gluten a base de harina de arroz en comparación con la proteína de suero y la proteína de soya.

Tabla 1 - Proteínas utilizadas en la formulación de pasta de arroz

Proteínas utilizadas en la elaboración de pasta de arroz			
Albúmina de huevo	Proteína de soja	Proteína de suero	Proteína de salvado de arroz

La calidad de las pastas obtenidas puede ser variable según el tipo de arroz empleado.

La obtención de pasta de arroz suele basarse en el proceso de extrusión. El mismo, es un proceso mediante el cual un producto semilíquido es transportado por medio de un cilindro y que a su vez aplica alta presión y calor en condiciones controladas y que luego es forzado a pasar a través de orificios con ciertas geometrías y es durante ese transporte que se

produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla. Tabla 2.

Tabla 2 - Parámetros del proceso de extrusión [10]

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN		
Temperatura	Presión	Humedad
110°C - 180°C	60 atm	15%

Las pastas sometidas a extrusión en las condiciones presentadas en la Tabla 2 permiten dar cuerpo y consistencia al producto final. Otra alternativa para reemplazar el gluten, consiste en la adición de estabilizantes, dentro de estas sustancias se encuentran los hidrocoloides también denominados gomas. Al igual que los almidones, las gomas contribuyen a la elasticidad, extensibilidad y cohesividad del producto. La goma guar (Figura 2), algarroba (Figura 3), los alginatos (Figura 4) y carboximetilcelulosa (CMC) (Figura 5) han sido los estabilizantes utilizados más frecuentemente. La goma guar y proteínas alternativas se pueden usar como estabilizantes junto con harina de arroz pregelatinizado al 50%.

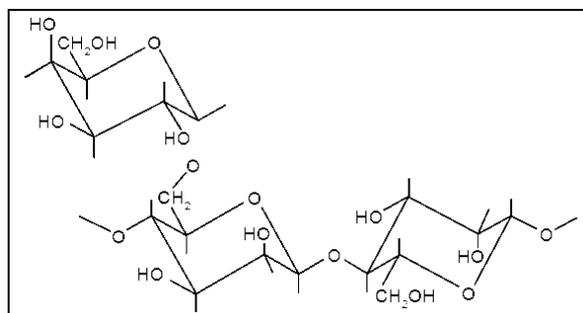


Figura 2 - Estructura molecular de la goma guar [15]

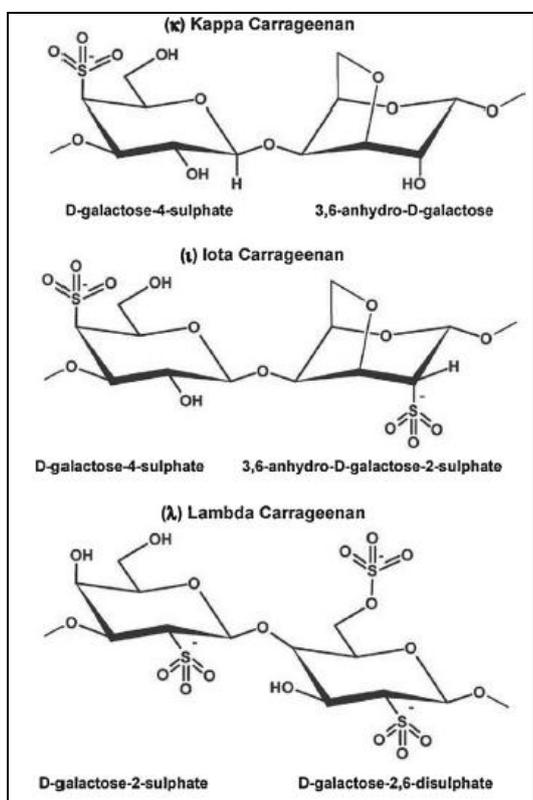


Figura 3 - Estructura molecular de las carrageninas más utilizadas en la industria de alimentos [16]

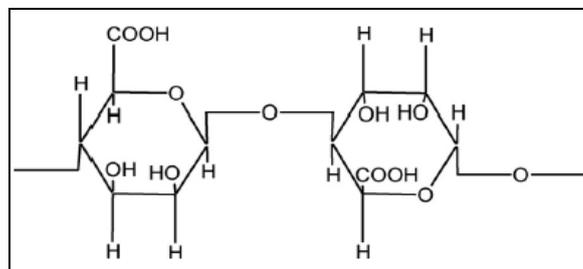


Figura 4 - Estructura molecular del alginato [17]

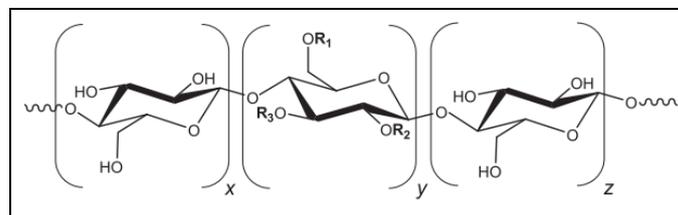


Figura 5 - Estructura molecular de carboximetilcelulosa (CMC) [18]

Huang y colaboradores[19], evaluaron otros estabilizantes y almidones estudiados para la pasta como la goma xantán, almidón modificado y goma de algarroba, dado a las capacidades de estas sustancias para alcanzar atributos sensoriales óptimos en el producto final y concluyen que también podrían ser de gran ayuda en la optimización de los procesos involucrados en el procesamiento de la pasta.

Wang y colaboradores [20] investigaron los efectos de la fibra del salvado de arroz (RBF) sobre las propiedades de la pasta obtenida por extrusión. La fibra de salvado de arroz y harina de arroz se sometieron a un proceso de extrusión (extrusora de doble tornillo) según se muestra en la Tabla 3. El uso de RBF (hasta un 15% de la premezcla inicial considerando el agua) proporcionó pasta de una calidad aceptable con atributos adecuados de color, pérdida de cocción, dureza y adhesividad.

Tabla 3 - Preparación de la pasta de arroz [20] [21]

Formulación pasta de arroz			Parámetros de extrusión		
Fibra salvado de arroz	Emulsionante monoglicérido	Humedad	Rango de temp. de extrusión	Presión	Temperatura/ tiempo de secado
5% a 25%	1%	12%	70°C a 100°C	60 atm	45°C / 1hora

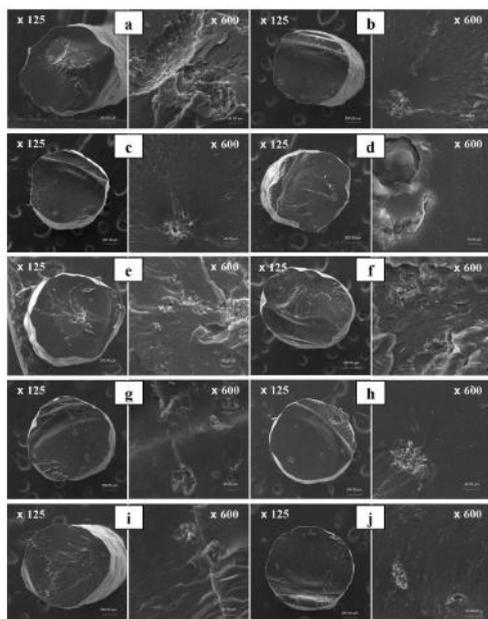
Complementando los estudios anteriores, Barallat [22] hallaron que la extrusión puede contribuir a mejorar el sabor y la textura de la pasta y con ellos la aceptabilidad. del producto; explica también que este proceso favorece la disminución de micotoxinas (metabolitos secundarios procedentes de los mohos *Fusarium*; *Aspergillus* y *Penicillium*, entre otros) como aflatoxinas, fumomisin; y antinutrientes como el ácido fítico, inhibidores de tripsina, oxalato y lectinas; debido a los procesos térmicos y de cizallamiento que se aplican en el proceso.

Estos autores también evaluaron el efecto de las proteínas del huevo y la humedad en la composición de la pasta libre de gluten sobre los atributos viscoelásticos, texturales y de calidad del producto cocido, en la cual concluyen que el equilibrio entre humedad y proteína del huevo en las formulaciones (Tabla 4) ayudaron significativamente al comportamiento viscoelástico de la pasta.

Tabla 4 - Composición de las formulaciones estudiadas. Los contenidos de proteínas y agua se expresan como porcentajes de la masa fresca total [23]

Formulación	Composición (g/100g)		
	Huevo en polvo	Albúmina en polvo	Agua
W1EP1	2,45	0,25	34,8
W2EP1	2,45	0,25	36,13
W3EP1	2,45	0,25	37,5
W2EP2	4,23	0,42	36,13
W1EP3	6	0,6	34,8
W2EP3	6	0,6	36,13
W3EP3	6	0,6	37,5

En un estudio reciente Bouasla [24], utilizaron harinas de leguminosas (guisantes, garbanzos y lentejas), como materia prima para la elaboración de pasta de arroz sin gluten. La adición de estas harinas podría incrementar el valor nutricional del producto final y proporcionar propiedades sensoriales deseables y estabilidad a la pasta. En la Figura 5 se muestra el corte transversal de la pasta seca que evidencia la estructura compacta del producto de cada formulación, por lo que, la pasta con adición de guisantes amarillos mostró mejores propiedades como textura firme, baja pegajosidad y estructura interna regular.

**Figura 5** - Corte transversal de pasta seca sin gluten a diferentes aumentos. a: pasta de arroz; b, c, d: pasta de arroz con guisantes amarillos; e, f, g: pasta de arroz con garbanzos; h, i, j: pasta de arroz con lentejas [24]

Pagani y colaboradores [25] en su nueva investigación se enfocaron en nuevas técnicas para producir pasta sin gluten a partir de granos de arroz hidratados (50 ° C, 20 min), omitiendo la etapa de molienda. Los resultados mostraron que la difusión óptima del agua se alcanzó después de 180 minutos, lo que permitió la extrusión de granos de arroz hidratados en la pasta. La hidratación en las capas externas de pasta no afectó negativamente la calidad de cocción (pérdida de cocción, energía de compresión, firmeza) del producto. El análisis de resonancia magnética proporcionó evidencia experimental para la optimización de los primeros pasos en el proceso tecnológico de los granos para la producción de pasta sin gluten.

Detchewa y colaboradores [26] aportan un estudio sobre el efecto del aislado de proteína de soja sobre las propiedades funcionales y la aceptación del consumidor de los espaguetis de arroz sin gluten. El aumento de aislado de soja disminuyó la retrogradación del almidón, mientras que el cambio de entalpía del complejo amilosa-lípido aumentó y la cristalinidad disminuyó en el producto. En conclusión, la pasta cocida que contenía 5.0% de proteína aislado de soja mostró la mejor calidad alimenticia con mayor firmeza, consistencia y resistencia a la tracción, y disminuyó la pegajosidad.

Marengo y colaboradores [27] evaluaron el perfil sensorial de los diversos productos de pasta, los cuales dependen en gran medida del tipo de enriquecimiento. En este estudio se utilizaron dos fuentes de proteínas: la batata y la soja. Las proteínas utilizadas jugaron un papel fundamental en la definición de la firmeza y absorción de agua, así como el tiempo óptimo de cocción de la pasta, además, también aportaron valores nutricionales significativos al producto final.

Bouasla y colaboradores [28] utilizaron una mezcla de harina de arroz / garbanzo (relación 2/1) para producir pasta precocida sin gluten utilizando la cocción por extrusión de un solo tornillo. Se comprobaron los perfiles de ácidos fenólicos y las propiedades de pasta seleccionadas, como propiedades de viscosidad, capacidad de absorción de agua, pérdida de cocción, características de textura, microestructura (Figura 10) y aceptabilidad general. El contenido de humedad de la masa influyó en todos los parámetros de calidad probados de la pasta precocida, excepto la firmeza. La velocidad del tornillo mostró un efecto solo en algunos parámetros de calidad. El proceso de cocción por extrusión al 30% de humedad de la masa es apropiado para obtener pasta precocida de arroz y garbanzo con alto contenido de fenoles y calidad adecuada. Estos productos de pasta exhibieron una textura firme, baja adherencia y una estructura interna regular y compacta confirmada por una alta aceptabilidad general.

Rafiq y colaboradores [29] elaboraron pasta sin gluten por extrusión (doble tornillo) a partir de arroz integral. La humedad exhibió un efecto dominante sobre la calidad de cocción de la pasta. Por su parte, el grado de gelatinización correlacionó positivamente con la humedad y temperatura del equipo extrusor. La extrusión aumentó la digestibilidad *in vitro* de proteínas y almidón. Esta también fue favorecida con la humedad del alimento.

En un estudio empleando harina de plátano verde rica en almidón resistente Sarawong y colaboradores [30] evaluaron diferentes mezclas de pasta sin gluten en base a harina de arroz y GPF (15-60% de la mezcla total). La premezcla contenía además albúmina de huevo (3,5-6,0% de la harina total) agua (36-40%) y emulsionante (monoglicérido destilado) (0.5% de la harina total). La adición de hasta 30% de plátano verde, 6% de albúmina de huevo y humedad de 38% proporcionó pasta con una calidad de cocción aceptable y un alto contenido de almidón resistente. Algunas cualidades se mejoraron aún más al agregar 30% de harinas pregelatinizadas del GPF nativo o harina de plátano verde seca (DDGBF) en combinación con la aplicación de diversos pasos de cocción y / o enfriamiento después de la extrusión. Esto sugiere que GPF, pregelatinizado podría ser un ingrediente prometedor para la producción de pasta sin gluten

Dalbhat [31] en su investigación afirma que la extrusión (Figura 6) es la tecnología de procesamiento más versátil utilizada en la industria alimentaria para desarrollar un producto con mejores características nutricionales, funcionales y sensoriales, por lo tanto, esta técnica permite

el control de los diferentes procesos, como la mezcla, el calentamiento, la cocción, el cizallamiento y la conformación estructural de los productos. Debido a las condiciones (temperatura, tiempo y presión) a las que son sometidos los alimentos en el proceso de extrusión, se favorece el aumento de la vida útil de unas pocas semanas a 9-12 meses. Por lo tanto, el proceso de cocción por extrusión, gelatiniza el almidón, degrada la proteína y forma complejos entre lípidos, almidón y proteínas que conducen a los cambios en la microestructura y las características químicas, dándose así la forma macroscópica del producto.

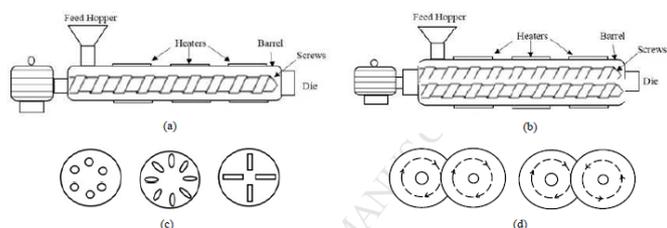


Figura 6 - Tecnología de extrusión para la producción de productos a base de arroz (a) Extrusora de un solo tornillo (b) Extrusora de doble tornillo (c) Tipos de aberturas de troquel (d) Tornillo co y contrarrotatorio.

Mariotti y colaboradores [32] evaluaron las características de los diferentes espaguetis comerciales sin gluten disponibles actualmente en el mercado, centrándose en la organización del almidón y la proteína. Teniendo en cuenta las propiedades químicas y bioquímicas de las muestras, y sus relaciones con las características físicas de estos productos, observaron cómo algunas propiedades moleculares se relacionan con la estructura final y la calidad de la pasta sin gluten. Se descubrieron que los fenómenos relacionados con la retrogradación del almidón desempeñan un papel central en la textura final de los productos. Al mismo tiempo, se descubrió que el origen de las proteínas incluidas en la formulación preside las interacciones entre proteínas, especialmente en aquellas muestras que incluyen proteínas de diferentes fuentes vegetales.

Barbioli y colaboradores [12] investigaron los cambios estructurales del almidón y las proteínas en la pasta de arroz en función de las materias primas y las condiciones de elaboración de la pasta, y evaluaron su impacto en el comportamiento de cocción y el índice glucémico. La pasta de arroz se preparó a partir de harina de arroz precocida mediante extrusión convencional o cocción por extrusión. Por otra parte, la estructura del almidón se estudió evaluando la accesibilidad del almidón a enzimas específicas (amilasa y pululanasa) y evaluando las propiedades moleculares de los fragmentos por acción enzimática. Los tratamientos individuales o en combinación tuvieron un impacto marcadamente diferente en las características estructurales de las macromoléculas en la pasta a base de arroz. La pasta hecha con arroz precocido mediante un proceso de cocción por extrusión tuvo una estructura extremadamente firme después de la cocción.

Marti y colaboradores [33] hicieron una comparación a partir del mismo arroz comercial con cáscara, utilizando dos tipos de harina. Entre la fabricación de pasta convencional y la cocción por extrusión. Los autores tomaron dos enfoques principales para lograr obtener características en la pasta similares a las que aporta el gluten; Uno se basa en los ingredientes / aditivos adecuados para producir una estructura cohesiva que puede superar la ausencia de gluten. En este sentido, utilizaron varios aditivos / ingredientes, incluidos almidones, gomas,

emulsionantes, proteínas y enzimas modificados. Un segundo enfoque se centró en el papel de las condiciones de procesamiento adecuadas para promover una nueva y eficaz organización de almidón capaz de sustituir la red de gluten en el producto final. Este procedimiento podría considerarse como una optimización tecnológica de los procesos antiguos y aún utilizados para hacer fideos de arroz de estilo oriental. En este caso, la aplicación de tratamientos repetidos de calentamiento y enfriamiento induce a fenómenos de gelatinización y retrogradación del almidón, creando una red de almidón capaz de resistir los esfuerzos de cocción. Como conclusión, observaron nuevos y diferentes (según las condiciones de extrusión) reordenamientos de la molécula de almidón en la pasta de arroz molido, lo que explica la diferente calidad de cocción. En particular, la extrusión convencional parece inducir la perfección de las pequeñas regiones cristalinas que dan como resultado una baja absorción de agua brindando buena estabilidad y consistencia en la pasta.

La pasta elaborada a base de arroz es un producto que propone nuevas formas de producción, utilizando complementos que mejoren las características fisicoquímicas y sensoriales del producto, como estabilizantes, emulsionantes y proteínas de diversas fuentes alimenticias; también, en diferentes estudios se ha planteado la extrusión como proceso físico para proporcionar a la masa de la pasta las características sensoriales deseadas, sin embargo, es importante resaltar que el estudio acerca de la calidad nutricional de la pasta elaborada a base de arroz sigue siendo un tema de amplio estudio ya que se relaciona directamente con el proceso de extrusión.

REFERENCIAS

- [1] J.R. Biesiekierski, ¿What is gluten?, *J. Gastroenterol. Hepatol.* 32, **2017**, 78–81.
- [2] S. Georgiev, T. Dekova, Gluten: A Natural Biopolymer, *Biopolym. Biomed. Environ. Appl.*, **2011**, 377–401.
- [3] H. Wieser, Chemistry of gluten proteins, *Food Microbiol.* 24 (**2007**) 115–119.
- [4] P.S. Belton, On the elasticity of wheat gluten, *J. Cereal Sci.* 29, **1999**, 103–107.
- [5] I. Polanco Allué, C. Ribes Koninckx, Enfermedad celíaca, *Pediatría Integr.* 8, **1995**, 47–54.
- [6] F. Moscoso, R. Quera, Enfermedad celíaca. Revisión, *Rev. Med. Chil.*, **2016**, 211–221.
- [7] C. Ortiz, R. Valenzuela, Y.L. A, Enfermedad celíaca, sensibilidad no celíaca al gluten y alergia al trigo: comparación de patologías diferentes gatilladas por un mismo alimento, *Soc. Chil. Pediatría.* 88, **2017**, 417–423.
- [8] A. Parada, M. Araya, El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celíaca, *Rev. Med. Chil.*, **2010**, 1319–1325.
- [9] M. Walter, E. Marchezan, L.A. de Avila, Arroz: composição e características nutricionais, *Ciência Rural.* 38, **2008**, 1184–1192.
- [10] N. Sozer, Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums, *Food Hydrocoll.* 23, **2009**, 849–855.
- [11] M. Bhattacharya, S.Y. Zee, H. Corke, Physicochemical properties related to rice noodles, *Cereal Chem.* 76, **1999**, 861–867.
- [12] A. Barbioli, F. Bonomi, M.C. Casiraghi, S. Iametti, M.A. Pagani, A. Marti, Process conditions affect starch structure and its interactions with proteins in rice pasta, *Carbohydr. Polym.* 92, **2013**, 1865–1872.
- [13] E. Gallagher, T.R. Gormley, E.K. Arendt, Recent advances in the

formulation of gluten-free cereal-based products, *Trends Food Sci. Technol.* 15, **2004**, 143–152.

[14] S. Phongthai, S. D'Amico, R. Schoenlechner, W. Homthawornchoo, S. Rawdkuen, Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta, *LWT - Food Sci. Technol.* 80, **2017**, 378–385.

[15] E. Rodríguez, A. Sandoval, A. Ayala, Hidrocoloides Naturales de Origen Vegetal, *Tecnura*. 13, **2003**, 4–13.

[16] L. Li, R. Ni, Y. Shao, S. Mao, Carrageenan and its applications in drug delivery, *Carbohydr. Polym.* 103, **2014**, 1–11.

[17] B. Hassan, S.A.S. Chatha, A.I. Hussain, K.M. Zia, N. Akhtar, Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review, *Int. J. Biol. Macromol.* 109, **2018**, 1095–1107.

[18] R. Guise, L. Filipe-Ribeiro, D. Nascimento, O. Bessa, F.M. Nunes, F. Cosme, Comparison between different types of carboxymethylcellulose and other oenological additives used for white wine tartaric stabilization, *Food Chem.* 156, **2014**, 250–257.

[19] J.C. Huang, S. Knight, C. Goad, Model prediction for sensory attributes of nongluten pasta, *J. Food Qual.* 24, **2001**, 495–511.

[20] L. Wang, W. Duan, S. Zhou, H. Qian, H. Zhang, X. Qi, Effect of rice bran fibre on the quality of rice pasta, *Int. J. Food Sci. Technol.* 53, **2018**, 81–87.

[21] M.A. Pagani, G. Dalbon, Influence of the Extrusion Process on Characteristics and Structure of Pasta, *Food Sci. Commons.* 8, **1989**, 173–182.

[22] I.B. García, Harinas extruidas en la industria alimentaria, *Univ. Complut.*, **2017**, 1–20.

[23] V. Larrosa, G. Lorenzo, N. Zaritzky, A. Califano, Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta, *LWT - Food Sci. Technol.* 70, **2016**, 96–103.

[24] A. Bouasla, A. Wójtowicz, M.N. Zidoune, Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure, *LWT - Food Sci. Technol.* 75, **2017**, 569–577.

[25] A. Marti, E.M. Ragg, M.A. Pagani, Effect of processing conditions on water mobility and cooking quality of gluten-free pasta. A Magnetic Resonance Imaging study, *Food Chem.* 266, **2018**, 17–23.

[26] P. Detchewa, M. Thongngam, J.L. Jane, O. Naivikul, Preparation of gluten-free rice spaghetti with soy protein isolate using twin-screw extrusion, *J. Food Sci. Technol.* 53, **2016**, 3485–3494.

[27] M. Marengo, I. Amoah, A. Carpen, S. Benedetti, M. Zanoletti, S. Buratti, H.E. Lutterodt, P.N.T. Johnson, J. Manful, A. Marti, F. Bonomi, S. Iametti, Enriching gluten-free rice pasta with soybean and sweet potato flours, *J. Food Sci. Technol.* 55, **2018**, 2641–2648.

[28] A. Bouasla, A. Wójtowicz, M.N. Zidoune, M. Olech, R. Nowak, M. Mitrus, A. Oniszczuk, Gluten-Free Precooked Rice-Yellow Pea Pasta: Effect of Extrusion-Cooking Conditions on Phenolic Acids Composition, Selected Properties and Microstructure, *J. Food Sci.* 81, **2016**, C1070–C1079.

[29] A. Rafiq, S. Sharma, B. Singh, Regression Analysis of Gluten-Free Pasta from Brown Rice for Characterization and In vitro Digestibility, *J. Food Process. Preserv.* 41, **2017**, 1–12.

[30] C. Sarawong, Z.C. Rodríguez Gutiérrez, E. Berghofer, R. Schoenlechner, Gluten-free pasta: Effect of green plantain flour addition and influence of starch modification on the functional properties and resistant starch content, *Int. J. Food Sci. Technol.* 49, **2014**, 2650–2658.

[31] C.G. Dalbhat, D.K. Mahato, H.N. Mishra, Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review, *Trends Food Sci. Technol.* 85, **2019**, 226–240.

[32] M. Mariotti, S. Iametti, C. Cappa, P. Rasmussen, M. Lucisano, Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products, *J. Cereal Sci.* 53, **2011**, 319–327.

[33] A. Marti, K. Seetharaman, M.A. Pagani, Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking, *J. Cereal Sci.* 52, **2010**, 404–409.