



Uso del sorgo (*Sorghum bicolor*) en la elaboración de productos libres de gluten

Melissa Rodríguez España, Claudia Yuritzi Figueroa Hernández,
Patricia Rayas-Duarte, Mirna Leonor Suarez Quiroz, Zorba Josué Hernández Estrada
Unidad de Investigación y desarrollo en Alimentos, TecNM campus Veracruz
Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779 Formando Hogar, C.P. 91897 Veracruz, Veracruz
zorba.he@veracruz.tecnm.mx

Resumen

La demanda de productos panificados libres de gluten ha generado la necesidad de nuevas materias primas e ingredientes proteicos que le puedan otorgar la funcionalidad necesaria a dichos productos. Dentro de las propuestas más comunes para remplazar al gluten se han reportado la utilización de mezclas de almidones, hidrocoloides, emulsificantes, fibras e ingredientes proteicos que le puedan otorgar la funcionalidad tecnológica necesaria al pan. El sorgo es una fuente de carbohidratos, proteínas, ácidos fenólicos, minerales (como el magnesio, hierro y zinc) y vitaminas, principalmente del complejo B (ej. tiamina, riboflavina y niacina). El sorgo se considera un sustituto adecuado para la harina de trigo en las dietas celiacas, debido a que no contiene gluten. No obstante, el sorgo presenta limitaciones nutricionales y tecnológicas, debido a la ausencia de gluten y la presencia de ciertos compuestos como los taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsinas, que dan como resultado productos rígidos, con texturas irregulares y quebradizas. Para contrarrestar estas desventajas se han explorado algunos pretratamientos

del sorgo que permiten la reducción de los compuestos antinutricionales, incrementan la disponibilidad de compuestos como el almidón y las proteínas, favorecen la creación de redes que capturan el CO₂ y mejoran las características tecnológicas y sensoriales del pan. En el presente artículo se aborda una revisión sobre el efecto de diferentes tratamientos en el sorgo, analizando las ventajas y desventajas a las que se enfrenta la utilización de este grano en la industria de la panificación.

Palabras clave:

Sorgo, pretratamientos, propiedades reológicas, productos libres de gluten

Introducción

El gluten es un conjunto de proteínas de almacenamiento que se encuentran en el endospermo de algunos cereales como trigo, centeno y cebada. El gluten es una mezcla compleja de proteínas (75 – 85 %) unidas por puentes disulfuros, principalmente gliadinas y gluteninas (Figura 1), 5 – 10 % de lípidos y el resto de almidón residual [1].

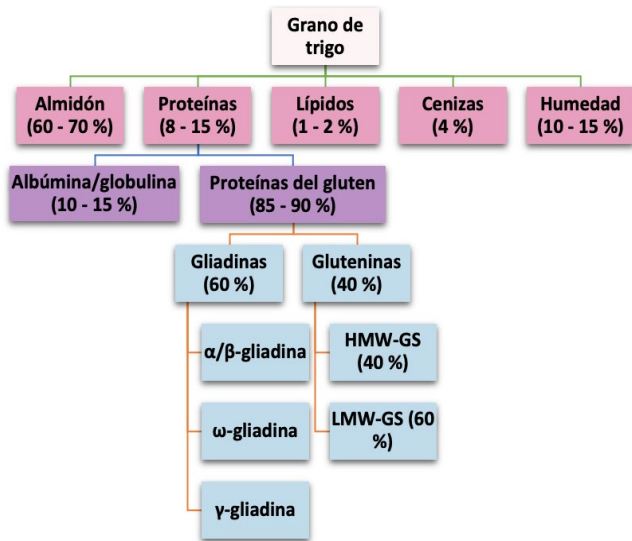


Figura 1. Composición del grano de trigo y su clasificación de proteínas. HMW-GS: Gluteninas de alto peso molecular; LMW-GS: Gluteninas de bajo peso molecular. Adaptado de [1, 2]

Las gliadinas y gluteninas son proteínas denominadas prolaminas, ricas en glutamina (38 %) y residuos de prolina (20 %), solubles en etanol acuoso (70/30, v/v) e insolubles en agua. Las prolaminas resultan de gran importancia tecnológica dentro de la industria alimenticia, porque al combinarse con el almidón y agua durante la hidratación y mezclado de la harina, forman redes tridimensionales. En esta mezcla compleja el gluten actúa como agente aglutinante y extensible, propiciando el desarrollo de masas fuertes, cohesivas, maleables (flexibles) y viscoelásticas (Figura 2A). Esto favorece la retención de agua y gases, productos de la fermentación, mejorando las cualidades sensoriales, que dan calidad al pan y a otros productos horneados como pasteles, pastas y galletas. Debido a lo anterior, los productos sin gluten presentan menor volumen, mayor dureza, estructuras de migas no deseables, entre otras, lo que da en consecuencia una baja aceptación del consumidor [3].

A pesar de la importancia tecnológica para los productos de panificación, en los últimos años el incremento de personas con patologías relacionadas a las proteínas del gluten ha abierto la búsqueda de nuevos productos libres de gluten. Dentro de los principales trastornos relacionados se encuentran las alergias y sensibilidad al gluten, además de trastornos autoinmunes que abarcan desde dermatitis herpetiforme y ataxia por gluten, hasta la enfermedad celíaca. La enfermedad celíaca o intolerancia permanente al gluten es una enfermedad autoinmune sistémica que se caracteriza por una absorción intestinal deficiente, seguida de la inflamación crónica y la atrofia de la mucosa del intestino delgado, la cual se manifiesta tras la ingesta del gluten en la dieta en ciertos individuos predispuestos genéticamente (Figura 2B). La Organización Mundial de Gastroenterología reporta que la prevalencia de la enfermedad celíaca en la población a nivel mundial varía entre 0.3 - 1 % pero solo una fracción (30 - 50 %) ha sido diagnosticada apropiadamente; mientras que en México se ha reportado que un 0.7 % de la población padece esta enfermedad. Algunos de los síntomas relacionados son la incapacidad para ganar peso, anorexia, anemia, desnutrición, distensión abdominal, diarrea, entre otras más graves como desórdenes autoinmunes (ej. diabetes tipo 1, osteoporosis, infertilidad), desarrollo de síndrome linfoproliferativo autoinmune y cáncer gastrointestinal [4]. Actualmente, el único tratamiento eficaz que existe es una dieta estricta libre de gluten de por vida.

Por otro lado, las dietas libres de gluten carecen de compuestos como aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, y suelen presentar excesos de azúcares, lípidos

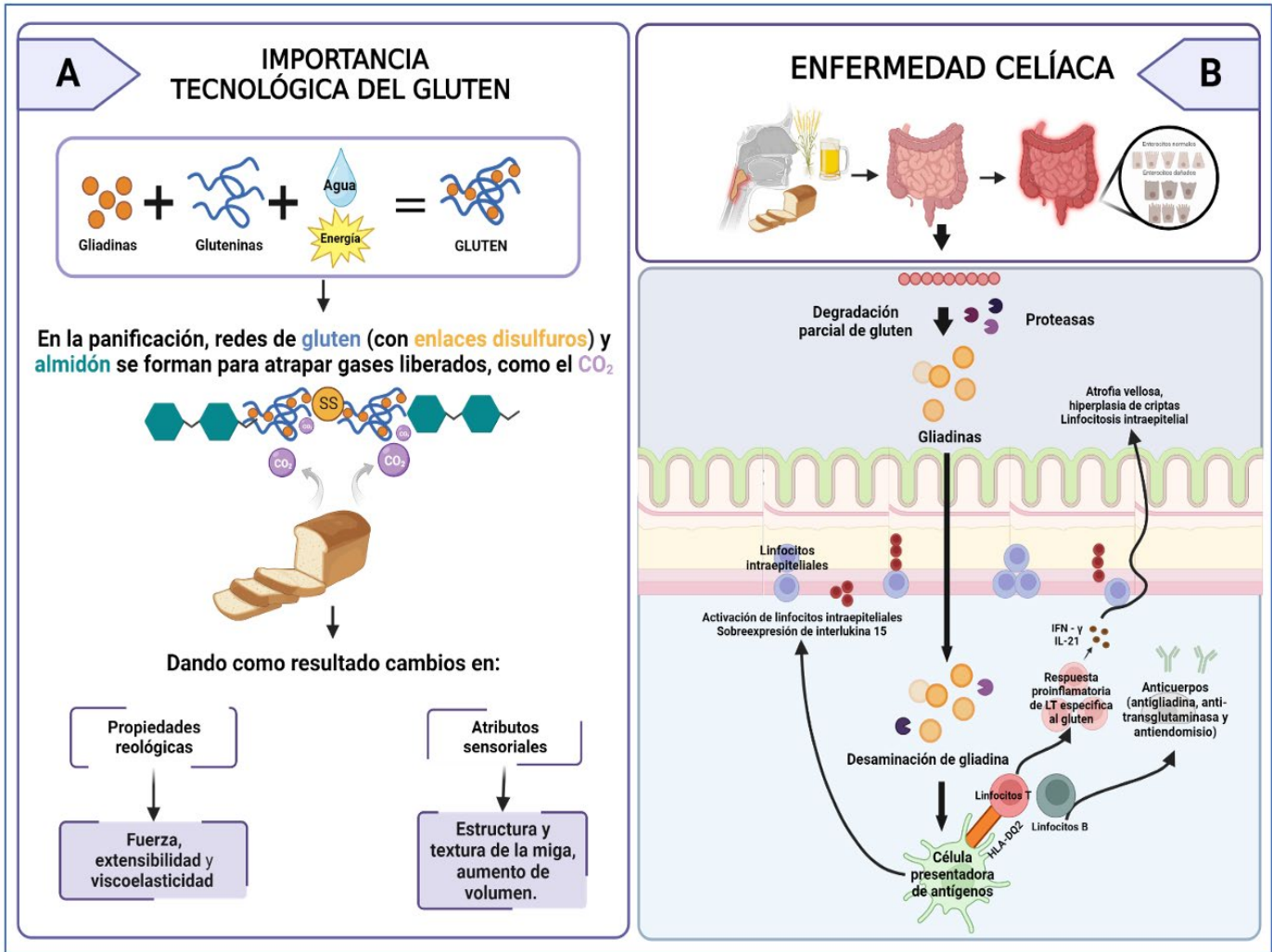


Figura 2A. Composición del gluten y su importancia a nivel tecnológico. 2B. Mecanismo de acción del gluten en la enfermedad celíaca

y sodio, causando un desequilibrio en el contenido nutricional. Es por ello que, actualmente, las materias primas para el desarrollo de productos libres de gluten se ha enfocado al uso de otros cereales (ej. arroz, maíz, mijo y sorgo), los cuales permiten aumentar la retención de agua y ejercer un efecto positivo sobre los parámetros nutricionales y tecnológicos de la masa como textura, volumen y calidad de la miga, y pseudocereales (amaranto, garbanzo y trigo sarraceno) los cuales aportan, principalmente, aminoácidos y ácidos grasos esenciales y minerales [5].

“Actualmente, las dietas libres de gluten son el único tratamiento para la enfermedad celíaca”.

El cereal

El sorgo es el 5° cereal más importante del mundo. Al igual que el maíz y la caña de azúcar, el sorgo es una planta clasificada como C4. La ruta metabólica C4 permite que el CO₂ de la atmósfera sea capturado y fijado en dos compartimentos diferentes: primero dentro de células especializadas llamadas mesofílicas, en donde es fijado como HCO₃⁻ por la anhidrasa carbónica,

Perfil nutricional del sorgo



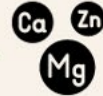
Fuente de vitaminas, principalmente del complejo B



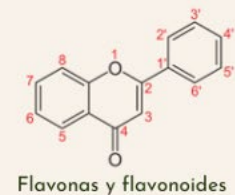
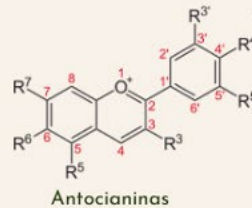
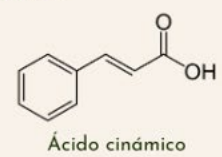
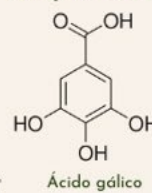
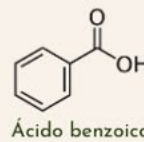
Alto contenido de fibra dietética, almidón resistente y proteínas



Fuente de calcio, hierro, zinc, magnesio y potasio.



Fuente de compuestos fenólicos



Beneficios a la salud

Capacidad antioxidante

Prevención del cáncer

Capacidad antiinflamatoria

Índices glucémicos bajos

Prevención de diabetes y obesidad

Prevención de enfermedades cardiovasculares



Aplicaciones

Alimentos y bebidas

Biocombustibles

Alimento para ganado

para ser tomado por la enzima PEPc, la cual permite incorporar el carbono en un ácido C4. Posteriormente, el C4 es transportado por los ATP al segundo compartimiento y da lugar a la descarboxilación de este, generando una alta concentración de CO₂ en las células de la planta e inhibiendo de

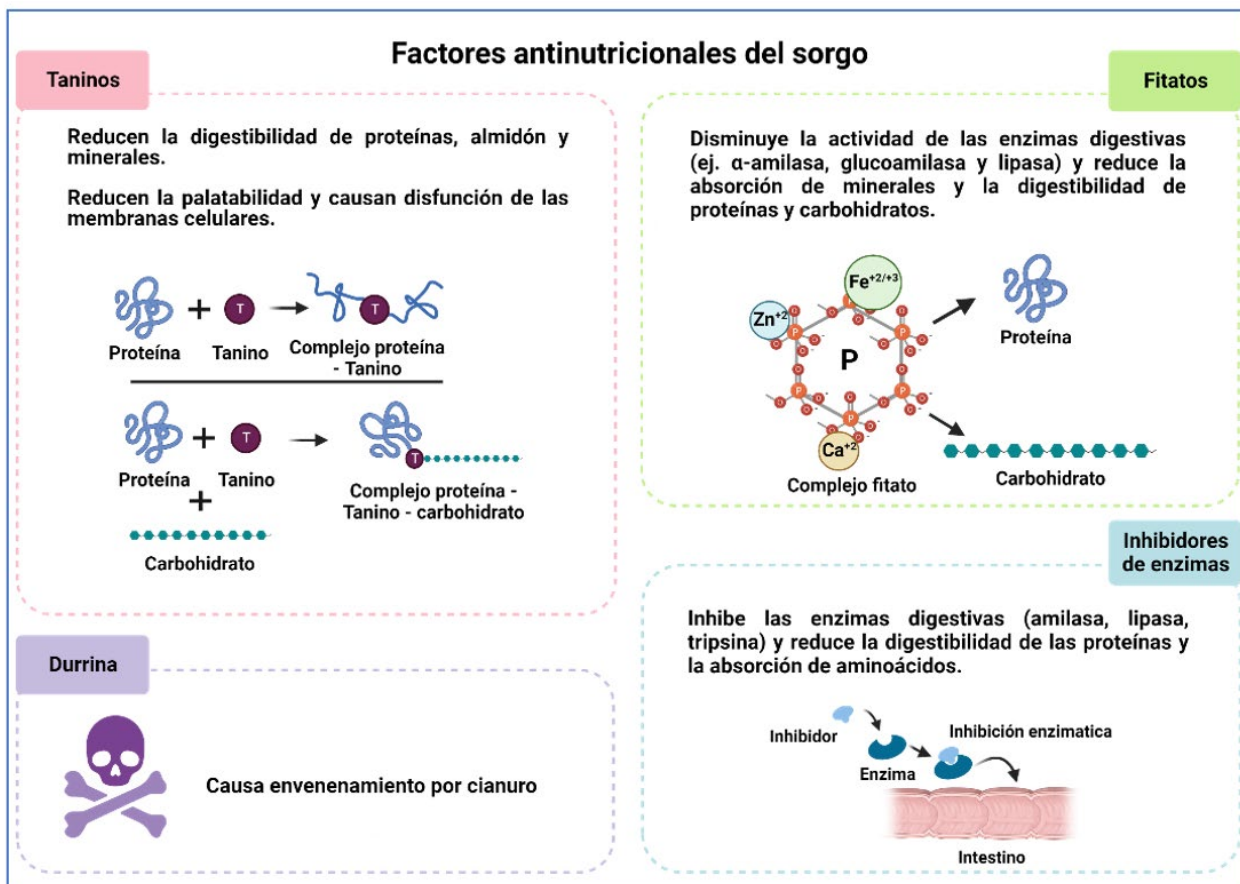
esta manera la fotorrespiración. Esta clasificación permite que el sorgo crezca en climas cálidos con una alta intensidad de luz, soporte el estrés hídrico y presente mayor eficiencia en términos de agua y utilización de CO₂ [6, 7].

A nivel mundial, la producción total de sorgo está destinada un 31 % a la producción de alimentos y bebidas, y el resto a la producción de alimento para animales, biocombustibles y fertilizantes. El sorgo es una excelente fuente de carbohidratos (75 – 79 %), proteínas (9.1 – 14.1 %), compuestos fitoquímicos (ej. ácidos fenólicos y flavonoides), vitaminas, principalmente del complejo B (ej. tiamina, riboflavina y niacina) y minerales (ej. calcio, magnesio, hierro, potasio y zinc) [8]. Dicha composición nutricional, junto a su perfil fenólico rico en compuestos como el ácido benzoico, ácido cinámico, flavonas y proantocianidinas, le confieren al sorgo múltiples beneficios a la salud como prevención de diabetes y obesidad, reduc-

ción de colesterol, prevención de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Figura 3) [9-11].

“El sorgo puede ser un sustituto del trigo en las dietas de pacientes celíacos debido a que no contiene gluten”.

Sin embargo, el sorgo presenta limitaciones nutricionales y tecnológicas, debido a la presencia de ciertos compuestos como los taninos, ácido fítico, inhibidores de tripsinas y durrina, los cuales forman complejos que disminuyen la digestibilidad, biodisponibilidad y solubilidad de compuestos de interés (ej. proteínas) en las matrices alimentarias (Figura 4).



Tecnologías aplicadas para la reducción de factores antinutricionales en el sorgo

Para contrarrestar estas desventajas se ha explorado la implementación de diferentes tecnologías tales como tratamientos con calor, hidrólisis, germinación, fermentación (acidoláctica, alcohólica, y ácido-acética), entre otras. En la Figura 5 se presentan algunas de las tecnologías mayormente utilizadas, las cuales ejercen un efecto positivo sobre las propiedades nutricionales del sorgo; Además de permitir desarrollar productos alimenticios que puedan ser competitivos en el mercado [10, 12].

La inmersión de granos en agua (soaking) y la germinación son métodos que permiten la activación de enzimas endógenas presentes de forma natural en los cerea-

les (como las fitasas) y con ello ejercer un efecto positivo sobre la estructura de los alimentos, disminuyendo compuestos antinutricionales, como el ácido fítico, taninos y oxalato en un 40, 16 y 49 % respectivamente, aumentando la biodisponibilidad de compuestos, como las proteínas y minerales (como el hierro y el zinc).

Aunque la molienda es siempre necesaria para la elaboración de la harina, se necesita enfatizar que harinas con menor tamaño de partícula suelen producir panes con mayor volumen, y estructura de la miga, color y textura más aceptable. Si eliminamos el pericarpio, también removeremos antinutrientes como el ácido fítico y taninos, con la desventaja de eliminar compuestos de interés como minerales, fenoles y fibra dietética, que se encuentran en el pericarpio [13, 14].

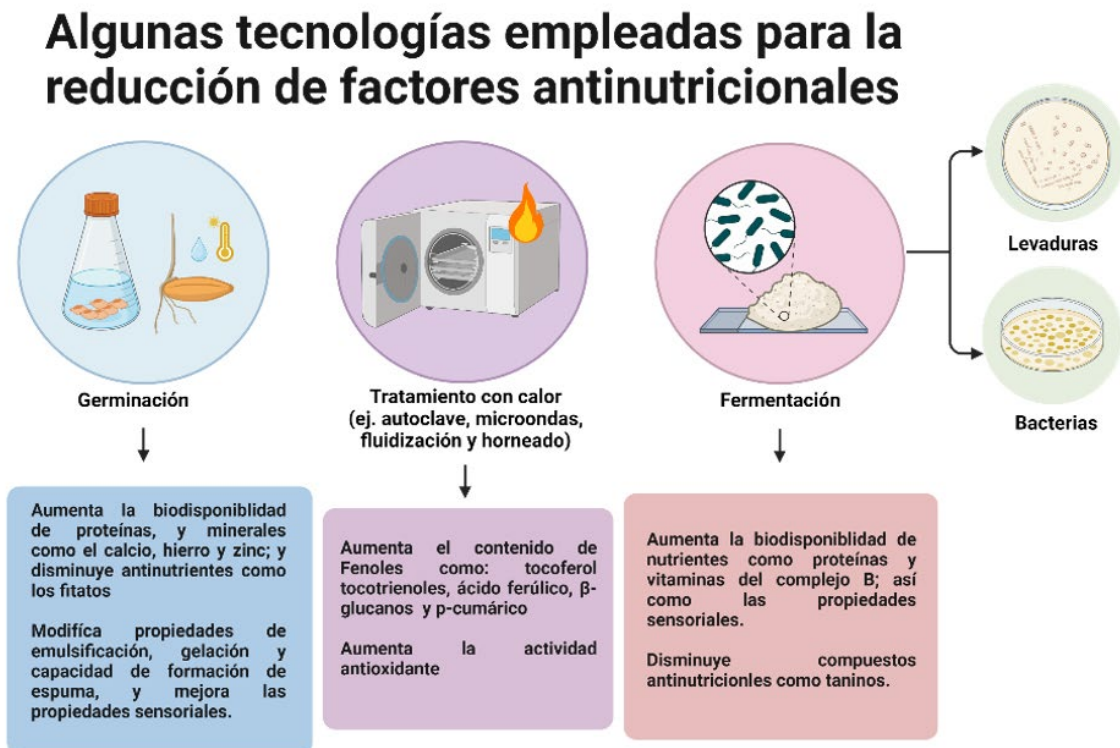


Figura 5. Algunas tecnologías aplicadas para la reducción de factores antinutricionales en el sorgo

Los métodos de calor, como la autoclave y cocción son, por su parte, métodos que de igual forma permiten la activación de enzimas (ej. fitasas), reducción de compuestos antinutricionales (ej. taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina), incrementan la calidad y digestibilidad de compuestos como proteínas y almidón, y aumentan la acidez del grano [15].

La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, siendo el producto final un compuesto orgánico. Es uno de los métodos más utilizados para aumentar la digestibilidad de los alimentos y mejorar su perfil de aminoácidos. Se ha reportado que la fermentación del sorgo activa enzimas exógenas y endógenas como la fitasa y tanasa, que permiten disminuir antinutrientes como inhibidores de tripsina, inhibidores de amilasa, taninos y ácido fítico hasta un 58, 75, 56.9 y 50 % respectivamente, y aumentar la biodisponibilidad de minerales (ej. Zn^{+2} , $Fe^{+2/+3}$ y Ca^{+2}). En consecuencia, los productos fermentados presentan mejores propiedades reológicas, tecnológicas y sensoriales respecto a los productos no fermentados. Dentro de los microorganismos que juegan un papel importante en la fermentación de cereales se encuentran las bacterias ácido lácticas, como *Lactobacillus spp.*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum* y *Streptococcus spp.*, y levaduras, como *Saccharomyces cerevisiae* [16, 17].

Aplicación del sorgo en la industria alimentaria

El sorgo se ha utilizado como materia prima en África y Asia para la fabricación de alimentos tradicionales (ej. papillas) y bebidas (ej. cervezas tradicionales, vino, y bebidas no alcohólicas). La incorporación de niveles significativos de la harina de sorgo en

las masas con y sin gluten se ha utilizado para la formulación de productos a base de cereales. Sin embargo, debido a la falta de proteínas de gluten, la incorporación del sorgo también ocasiona una estructura de la miga no uniforme (celdas de aire muy pequeñas y una mayor densidad del pan), altos niveles de dureza, menor volumen y características sensoriales no atractivas para el consumidor [18].

Debido al desafío que esto conlleva se han estudiado diferentes formulaciones y estrategias tecnológicas que permitan superar los inconvenientes asociados a la falta del gluten en los productos panificados. Entre las estrategias evaluadas se encuentra la adición de hidrocoloides (ej. goma xantana, derivados de celulosa), enzimas (ej. α -amilasa), emulsificantes, almidones nativos (ej. almidón de papa), almidones pregelatinizados, harinas (ej. harina de arroz, harina de maíz), ingredientes libres de gluten (ej. proteína de leche, huevo), y la utilización de harinas extruidas, germinadas y/o fermentadas con bacterias ácido-lácticas (ej. masa madre), entre otros [19].

Dentro de los usos del sorgo en la industria de la panificación se ha evaluado el efecto de diferentes proporciones de harina de sorgo para la producción de panes libres de gluten junto con otros cereales (ej. maíz, arroz), almidones (ej. maíz, tapioca, entre otros) y aditivos (ej. hidroxipropilmetilcelulosa, goma xantana) y se ha observado que los panes elaborados con un porcentaje de harina de sorgo de hasta el 70 % presentaban niveles aceptables de volumen específico y textura de la miga. Estas características fueron atribuidas al contenido de proteínas solubles, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón.

También se ha observado que este tipo de panes libres de gluten tienen mayor absorción, por lo que requieren un mayor contenido de agua y la adición de estabilizadores e hidrocoloides. Asimismo, se ha estudiado el uso de harina de sorgo como una alternativa más económica y saludable para la

elaboración de pastas y tallarines libres de gluten. Se ha reportado que, debido a las características de gelatinización y retrogradación del almidón del sorgo, sus propiedades de extrusión resultan ser excelentes y similares a las reportadas para el maíz y el arroz. También se resalta que debido

a que el sorgo es rico en vitaminas B, fibras dietéticas y aminoácidos, como lisina (6.01 %) e histidina (3.04 %) y aminoácidos que contienen azufre (5.41 %), se ha evaluado el uso de sorgo en la preparación de alimentos para bebés [20].

Otros productos que se han reportado a base de harina de sorgo son: tortillas, pastas y galletas. Actualmente, marcas como Bob's Red Mill® han incluido la harina de sorgo dentro de sus formulaciones comerciales para productos libres de gluten. En la Figura 6 se presenta una receta propuesta por la marca para la elaboración de pan de caja o pan de sándwich libre de gluten a base de harina de sorgo y arroz, y aditivos como goma xantana y polvo para hornear.

Receta:
Pan De Sándwich libre de Gluten

1 1/4 TAZA AZUCAR
1/2 TAZA DE AGUA TIBIA
4 CUCARADITAS DE LEVADURA
MEZCLAR Y REPOSAR DURANTE 5 MINUTOS,

2 2 1/2 TAZAS DE HARINA DE SORGO
1/2 TAZA DE HARINA DE ARROZ INTEGRAL
3 CUCARADAS DE GOMA XANTANA
2 CUCARADITAS DE POLVO DE HORNEAR
1 1/4 CUCARADITA SAL
MEZCLAR

3 4 HUEVOS
1/4 TAZA DE ACEITE DE OLIVA
BATIR DURANTE 5 MINUTOS CON LA MEZCLA PASO 1.
AGREGAR 1/2 TAZA DE AGUA TIBIA DE SER NECESARIO PARA OBTENER UNA MASA PEGAJOSA

4 FERMENTAR A TEMPERATURA CÁLIDA HASTA QUE DUPLIQUE SU TAMAÑO

5 HORNEAR A 206 °C DURANTE 45 MINUTOS

6 ¡DISFRUTA TU PAN!

Figura 6. Receta del pan de Sándwich sin gluten utilizando harina de sorgo y harina de arroz

Conclusión

El sorgo es un sustituto prometedor de la harina de trigo en las dietas libres de gluten para pacientes con enfermedad celiaca y enfermedades afines. Se ha observado que la aplicación de pretratamientos tiene un efecto positivo sobre la composición nutricional, aumentando la biodisponibilidad de compuestos como proteínas, almidones, minerales, y reduciendo sus compuestos antinutricionales, como los taninos, ácido fítico e inhibidores de enzimas. Esto, a su vez, presenta un efecto positivo sobre las características tecnológicas y sensoriales de los productos finales. Tras ello, se han encontrado resultados positivos en la adición del sorgo en matrices de productos como panes, pastas, galletas y alimentos infantiles. Sin embargo, aún es necesario seguir explorando la aplicación del sorgo pretratado en diferentes formulaciones con otros cereales, pseudocereales e ingredientes tales como almidones, gomas e hidrocoloides, y evaluar no solo sus características fisicoquímicas, reológicas, tecnológicas y sensoriales, sino que también presenten una composición nutricional adecuada para las dietas de pacientes celíacos.

Referencias

1. Biesiekierski, J.R., What is gluten? *Journal of gastroenterology and hepatology*, 2017. 32: p. 78-81.
2. Islam, S., et al., Wheat gluten protein and its impacts on wheat processing quality. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2019. 6(3): p. 279-287.
3. El Khoury, D., S. Balfour-Ducharme, and I.J. Joye, A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients*, 2018. 10(10).
4. Ohlund, K., et al., Dietary shortcomings in children on a gluten-free diet. *J Hum Nutr Diet*, 2010. 23(3): p. 294-300.
5. Abdel-Aal, E. and E. Gallagher, *Gluten-free food science and technology. Functionality of Starches And Hydrocolloids in Gluten-Free Foods*, Wiley-Blackwell, Chichester, 2009: p. 200-224.
6. Abah, C.R., et al., *Sorghum Grains: Nutritional Composition, Functional Properties and Its Food Applications*. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 2020: p. 101-111.
7. Serna-Saldivar, S.O., *Cereal grains. Properties, Processing, and Nutritional Attributes*. 1st ed, ed. G.V. Barbosa-Cánovas. 2010, Boca Raton: CRC Press.
8. Rooney, L.W., W.L. Rooney, and S.O. Serna Saldivar, Sorghum, in *Reference Module in Food Science*. 2016, Elsevier.
9. Dykes, L. and L.W. Rooney, Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 2006. 44(3): p. 236-251.
10. Aruna, C. and K.B.R.S. Visarada, Other industrial uses of sorghum., in *Breeding sorghum for diverse end uses*, C. Aruna, et al., Editors. 2018, Woodhead Publishing. p. 271-292.
11. Dai, J. and R.J. Mumper, Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 2010. 15(10): p. 7313-52.
12. Taylor, J.R.N. and K.G. Duodu, in *Sorghum and Millets (Second Edition)*, J.R.N. Taylor and K.G. Duodu, Editors. 2019, AACC International Press. p. xiii-xiv.
13. Gupta, R.K., S.S. Gangoliya, and N.K. Singh, Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micro-nutrients in food grains. *J Food Sci Technol*, 2015. 52(2): p. 676-84.
14. Kumari, D., A. Chandrasekara, and F. Shahidi, Bioaccessibility and antioxidant activities of finger millet food phenolics. *Journal of Food Bioactives*, 2019. 6.
15. Rehman, Z.-u. and W. Shah, Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food chemistry*, 2005. 91(2): p. 327-331.
16. Kaur, K.D., et al., Significance of coarse cereals in health and nutrition: a review. *J Food Sci Technol*, 2014. 51(8): p. 1429-41.
17. Ray, M., et al., Folk to functional: an explorative overview of rice-based fermented foods and beverages in India. *Journal of Ethnic Foods*, 2016. 3(1): p. 5-18.
18. Taylor, J.R., T.J. Schober, and S.R. Bean, Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of cereal science*, 2006. 44(3): p. 252-271.
19. Collar, C., Chapter 11 - Gluten-Free Dough-Based Foods and Technologies, in *Sorghum and Millets (Second Edition)*, J.R.N. Taylor and K.G. Duodu, Editors. 2019, AACC International Press. p. 331-354.
20. Adiamo, O.Q., O.S. Fawale, and B. Olawoye, Recent trends in the formulation of gluten-free sorghum products. *Journal of Culinary Science & Technology*, 2018. 16(4): p. 311-325.