

## Capítulo 22

### Alimentos sin gluten derivados de cereales

Cristina Molina-Rosell

Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC). España

[crorell@iata.csic.es](mailto:crorell@iata.csic.es)

Doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.27>

#### Referenciar este capítulo

Molina-Rosell C. *Alimentos sin gluten derivados de cereales*. En Rodrigo L y Peña AS, editores. *Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca*. Barcelona, España: OmniaScience; 2013. 447-461.

## Resumen

En las últimas décadas se ha incrementado la necesidad por los productos libres de gluten o sin gluten como consecuencia del aumento del número de enfermos celíacos diagnosticados. Los celíacos buscan productos libres de gluten que posean la misma apariencia que los productos con gluten, sin olvidar los aspectos nutricionales de los mismos.

El presente capítulo pretende aportar información sobre diversos aspectos relacionados con el diseño y desarrollo de alimentos sin gluten derivados de cereales, sus características tecnológicas, nutricionales y sensoriales. La presencia de productos sin gluten disponibles en el mercado ha experimentado un crecimiento exponencial durante la última década. Inicialmente, el desarrollo de estos productos buscaba obtener productos económicamente viables y sensorialmente aceptables. Sin embargo, actualmente el interés creciente por la alimentación saludable, también se extiende a los alimentos sin gluten.

Los alimentos sin gluten derivados de cereales son ricos en hidratos de carbono y grasas, y deficientes en algunos macronutrientes y micronutrientes. Es por ello, que las dietas libres de gluten pueden ocasionar a largo plazo dietas desequilibradas con deficiencia en algún nutriente. La incorporación de otros ingredientes/nutrientes como aceites omega-3, proteínas específicas, fibras, probióticos y prebióticos se vislumbra como alternativa para mejorar la composición nutricional de los alimentos libres de gluten.

## Abstract

In the last decades, the demand of gluten free products has been increased due to the raise of diagnosed celiac patients. Celiac population looks for gluten free products with resemblance to gluten products, even with similar nutritional quality.

The present chapter aims to provide information about the design and development of cereal based gluten free products, and also their technological, nutritional and sensory characteristics. During the last decade there has been an exponential increase of the gluten free products launched to the market. Initially, the development of these products was focused on making economically viable and sensorial acceptable products. However, currently the awareness for a healthy diet also applies to gluten free foods.

Gluten-free foods derived from grains are rich in carbohydrates and fats, and deficient in some macronutrients and micronutrients. It is for this reason that gluten free diets can cause long-term unbalanced diets deficient in some nutrient. The addition of other ingredients / nutrients like omega-3 oils, specific proteins, fibers, probiotics and prebiotics is seen as an alternative to improve the nutritional composition of gluten free foods.

## 1. Introducción

Los cereales constituyen la base de la alimentación para una gran parte de la población mundial, y ocupan un lugar indiscutible en la base de la pirámide nutricional recomendada por las distintas guías nutricionales. Sin embargo, pese a los beneficios del consumo de cereales estos pueden causar alergias e intolerancias alimenticias, siendo de especial interés la intolerancia al gluten y la celiaquía. Se entiende por “gluten” una fracción proteínica del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas y derivados de los mismos, que algunas personas no toleran y que es insoluble en agua y en 0,5M NaCl.<sup>1</sup>

El gluten está presente en cereales como trigo (*Triticum aestivum*), centeno (*Secale cereale*), espelta (*Triticum spelta*), kamut (*Triticum turgidum*), triticale (*Triticum spp x Secale cereale*) y algunas variedades de avena (*Avena sativa*).<sup>2</sup>

Actualmente el colectivo celíaco tiene como único tratamiento una terapia nutricional que restringe la alimentación de los celíacos a productos libres de gluten, y por tanto se excluye el consumo de cereales como el trigo, centeno, cebada y alimentos que contengan estos cereales. Concretamente, el Reglamento CE N 41/2009<sup>1</sup> define "productos alimenticios para personas intolerantes al gluten", aquellos productos alimenticios destinados a una alimentación particular elaborados, tratados o preparados especialmente para responder a las necesidades nutricionales particulares de las personas intolerantes al gluten.

Los límites en la composición y el etiquetado de los alimentos libres de gluten establecidos por el Reglamento CE N 41/2009<sup>1</sup> apropiados para personas con intolerancia al gluten son:

- Los productos alimenticios para personas con intolerancia al gluten, constituidos por uno o más ingredientes procedentes del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas, que hayan sido tratados de forma especial para eliminar el gluten, no contendrán un nivel de gluten que supere los 100 mg/kg en los alimentos tal como se venden al consumidor final. El etiquetado, la publicidad y la presentación de los productos mencionados llevarán la mención “contenido muy reducido de gluten”. Pueden llevar el término “exento de gluten” si el contenido de gluten no sobrepasa los 20 mg/kg en total, medido en los alimentos tal como se venden al consumidor final.
- La avena contenida en alimentos para personas con intolerancia al gluten debe ser producida, preparada o tratada de forma especial para evitar la contaminación por el trigo, el centeno, la cebada, o sus variedades híbridas y su contenido de gluten no debe sobrepasar los 20 mg/kg.
- Los productos alimenticios para personas con intolerancia al gluten constituidos por uno o más ingredientes que sustituyan el trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas, no contendrán un nivel de gluten que supere los 20 mg/kg en los

alimentos tal como se venden al consumidor final. El etiquetado, la presentación y la publicidad de esos productos deberá llevar la mención “exento de gluten”.

La categoría de alimentos más afectada por esta limitación es el pan y los productos de panadería procedentes del trigo. Por ello este capítulo se centra principalmente en este tipo de alimentos y las diversas alternativas tecnológicas que se han desarrollado para mimetizar la funcionalidad del gluten en los productos de panadería. Existen otros alimentos que pueden contener ‘gluten invisible’, es decir, el trigo o derivados de gluten puede aparecer entre los ingredientes por utilizarse como espesante o película protectora. En este último grupo se incluyen hamburguesas, salsas, sopas en polvo, quesos procesados, etc.

En general, los productos libres de gluten son de inferior calidad que sus correspondientes homólogos con gluten, debido a que su estructura se disgrega con facilidad y poseen textura muy seca.

## **2. Ingredientes para la fabricación de alimentos derivados de cereales sin gluten**

El gluten representa casi un 80% de las proteínas que se encuentran en el trigo, es el que confiere a la harina sus propiedades elásticas, y dota de consistencia y esponjosidad al pan. La composición del gluten, mayoritariamente proteica formada por gluteninas y gliadinas, explica su cohesividad y propiedades viscoelásticas. La fracción de gliadinas contribuye a las propiedades viscosas y a la extensibilidad de la masa panaria, mientras que las gluteninas confieren elasticidad y fuerza a la masa. Las proporciones relativas de gliadinas y gluteninas afectan a las propiedades funcionales de las masas panarias.

La eliminación del gluten, especialmente en las formulaciones de pan, origina masas líquidas que generan panes con textura disgregable y otros defectos de calidad asociados al color y sabor. Por ello, la fabricación de productos de panificación libres de gluten requiere el uso de ingredientes poliméricos que mimeticen la funcionalidad del gluten durante el proceso de panificación.

### **2.1. Cereales y otros granos sin gluten**

Los cereales libres de gluten disponibles para la fabricación de panes sin gluten son el arroz, maíz, trigo sarraceno, teff y kamut®. Se ha observado un notable incremento del uso de harina de arroz en la formulación de productos libres de gluten por sus características organolépticas y su hipoalergenicidad,<sup>3</sup> aunque es necesario el uso de algún hidrocoloide, emulgente, enzima o proteínas para conferir propiedades viscoelásticas.<sup>4</sup> Numerosos estudios se han centrado en obtener productos libres de gluten tipo pan con harina de arroz, en los cuales se ha analizado el impacto de la harina integral de arroz,<sup>5</sup> el efecto de hidrocoloides,<sup>6</sup> las mezclas con otras harinas y almidones,<sup>7-10</sup> o bien con otras proteínas.<sup>11-12</sup> Estos estudios confirman la importancia de las características de la harina, el resto de los ingredientes y el proceso en las características instrumentales y sensoriales de los productos obtenidos.

Brites et al.<sup>13</sup> describieron el proceso de panificación de pan de maíz basándose en la tecnología de la producción de broa (pan tradicional portugués). También se ha descrito la producción de pan de sorgo.<sup>14-15</sup> Las harinas de cereales, entre ellos el arroz y otros granos no convencionales tales como leguminosas, musáceas, raíces y tubérculos, se perciben como potenciales ingredientes en el desarrollo de numerosos productos a nivel mundial, e inclusive existen muchos productos tradicionales en diversos países.

Los pseudocereales como el sorgo, mijo, quinoa, amaranto y trigo sarraceno, también se están introduciendo como ingredientes en la formulación de productos libres de gluten. En el norte de América se pueden localizar diversos panes basados en amaranto, con el cual se consigue mejorar la composición nutricional dado que posee mayor cantidad de proteínas, fibra y minerales.<sup>16</sup> Las harinas procedentes del trigo sarraceno y el mijo son más ricas en proteínas y minerales, por ello se han propuesto para el desarrollo de productos alternativos nutritivamente más enriquecidos.

## **2.2. Otros ingredientes, aditivos y coadyuvantes tecnológicos**

Otros ingredientes generalmente presentes en la fabricación de panes sin gluten son el almidón, derivados lácteos, huevo, proteína de soja e hidrocoloides. La presencia de cierta cantidad de almidón mejora significativamente la calidad de los panes sin gluten. Con este propósito se usan preferiblemente los almidones de arroz, patata o tapioca.

### *Hidrocoloides*

Los hidrocoloides son aditivos esenciales en la producción de panes libres de gluten, puesto que pueden mimetizar en cierta medida la funcionalidad del gluten, a través de la viscosidad que confieren o de sus propiedades viscoelásticas. En la industria de la panificación estos compuestos contribuyen a mejorar la textura de los alimentos, su capacidad de retención de agua, retrasar su envejecimiento y en general incrementar la calidad de los productos durante su almacenamiento.<sup>17</sup>

Hidrocoloides como la goma de garrofin, la goma guar, la goma xantana y el agar se han utilizado como sustitutos del gluten en el desarrollo de panes de harina de arroz dirigidos a la población celíaca o con intolerancia al gluten.<sup>6,18-19</sup> El volumen específico de estos panes aumentó en presencia de hidrocoloides excepto en el caso de la goma xantana. Sin embargo, Gambus et al.<sup>20</sup> obtuvieron mayor volumen en el pan libre de gluten en presencia de xantana, la cual también disminuyó la dureza de la miga del pan fresco y almacenado 72 horas. Asimismo, estos autores concluyeron que la combinación de goma xantana, pectina y goma de guar originaba los productos de mejor calidad.

Las características de la miga también se ven modificadas por la presencia de hidrocoloides, concretamente, se ha obtenido mayor porosidad en presencia de 1% carboximetilcelulosa (CMC) y  $\beta$ -glucanos o 2% de pectina. Entre los derivados de celulosa, la hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) es un adecuado agente estructurante, y por tanto sustituto del gluten, con buena capacidad de retener gas.<sup>21</sup> La goma de xantana y el HPMC han destacado como buenos mejorantes reemplazantes de gluten<sup>22</sup> (Figura 1). Respecto al mecanismo de actuación, se ha descrito que la adición de HPMC a la harina de arroz, incrementa significativamente las

propiedades viscoelásticas de las masas, siendo el efecto global un reforzamiento de la masa de harina de arroz.<sup>21</sup>

En general, se recurre a combinaciones de aditivos y/o coadyuvantes tecnológicos para obtener productos sin gluten sensorialmente aceptables.



Figura 1. Efecto del HPMC sobre el volumen de un pan de arroz (Foto: C. Marco).

### *Proteínas*

Los panes libres de gluten son en general deficientes en proteínas si se comparan con sus homólogos fabricados con harina de trigo. Por ellos se han propuesto distintas estrategias para incrementar el contenido proteico de los panes y otros productos sin gluten derivados de cereales. El enriquecimiento de galletas de harina de arroz con harina de soja (25%) permite aumentar el valor proteico con reducido costo y además mejorar las características sensoriales.<sup>23</sup> Marco y Rosell<sup>24</sup> describieron que la mezcla resultante de la combinación de harina de arroz con 13 g/100 g de aislado proteico de soja y 4 g/100 g de HPMC origina un pan sin gluten con un aporte energético de 220,31 kcal/100 g de pan y cuyo perfil de composición (42,38% de hidratos de carbono, 10,56% de proteínas y 0,95% de lípidos) se asemeja al de los productos panarios con gluten. La adición de sólidos lácteos, inulina y surimi de pescado se ha propuesto como alternativa para aumentar el contenido en fibra dietética y proteína en los panes libres de gluten.<sup>25</sup> El uso de las harinas de legumbres en la formulación de productos libres de gluten se está incrementando debido a su alto contenido en proteínas. Con dicho objetivo se han utilizado harinas de guisante, lentejas, judías y garbanzos.<sup>26</sup>

### *Fibra dietética*

El enriquecimiento de los productos de panificación libres de gluten con fibra dietética confiere textura, capacidad gelificante, espesante, emulgente y estabiliza las propiedades de los alimentos libres de gluten. Entre las fibras que se han propuesto para el enriquecimiento de panes sin gluten se pueden citar las procedentes de trigo, maíz, avena y cebada.<sup>27</sup> La adición de estas fibras hasta 6 g/100 g mejora el perfil nutricional del producto sin alterar considerablemente sus características sensoriales. Cuando se adicionan niveles de 9 g/100 g se consiguen productos con un contenido en fibras 218% superior a los panes de referencia, pero se deteriora significativamente la calidad sensorial.

Stojceska et al.<sup>28</sup> aumentaron el contenido total de fibra dietética en productos libres de gluten aplicando la extrusión y la incorporación de distintas frutas y vegetales como manzana, remolacha, zanahoria, cranberry y harina de teff. Estos autores incorporaron hasta un 30% a una

formulación libre de gluten constituida por harina de arroz, almidón de patata, almidón de maíz, leche en polvo y harina de soja. Mediante la optimización de las condiciones de extrusión se podían obtener productos libres de gluten enriquecidos en fibra dietética.

### *Enzimas*

Otra alternativa para mejorar la calidad de los panes sin gluten es el uso de enzimas o coadyuvantes tecnológicos.<sup>29</sup> Amilasas, proteasas, hemicelulasas, lipasas, transglutaminasa y oxidasas son enzimas que se han utilizado para mejorar la calidad de los productos de panificación. Algunas de estas enzimas se han utilizado como coadyuvante tecnológicos para mejorar la calidad de los panes libres de gluten. Entre las diversas enzimas disponibles la transglutaminasa y la glucosa oxidasa han permitido mejorar la textura de los panes sin gluten, aunque el efecto depende en gran medida de la harina utilizada en la formulación.<sup>30-31</sup> Ambas enzimas forman enlaces intra e intermoleculares entre las proteínas del arroz originando una red proteica. Sin embargo, la red proteica generada por estas enzimas no mimetiza completamente la funcionalidad del gluten, y es necesario la presencia de hidrocoloides<sup>30-31</sup> La acción de la transglutaminasa también se puede potenciar mediante la adición de otras proteínas que incrementen la cantidad de residuos de lisina que son los limitantes de la acción de entrecruzamiento enzimático. Moore et al.<sup>32</sup> estudiaron el impacto de la transglutaminasa en la formulación de panes libres de gluten conteniendo proteínas de soja, de leche o huevo. El efecto más notable fue una reducción del volumen de pan debido a la polimerización de las proteínas.

### *Masas madre*

El uso de masas madre representa una alternativa muy atractiva para mejorar la calidad de los panes libres de gluten. Las masas madre son iniciadores naturales de la fermentación que se han usado en la fermentación de numerosos alimentos. Estas masas se obtienen al mezclar harina, agua y otros ingredientes y ser fermentadas por bacterias ácido-lácticas y levaduras presentes de forma natural. Estos microorganismos proceden principalmente de las harinas y del ambiente, pero la microbiota específica de cada masa madre depende de factores exógenos como la temperatura, y tiempo de fermentación. El uso de masas madre en panificación está muy extendido por los efectos positivos que confiere a la calidad de los productos de panadería. Entre ellos merece destacar la mejora de la textura, aroma y sabor, el incremento del valor nutritivo y vida media más prolongada. Por ello su uso se ha extendido a alimentos horneados libres de gluten. Existe escasa información sobre el uso de masas madre en la formulación de productos de panadería libres de gluten. Crowley et al.<sup>33</sup> realizaron un estudio comparativo sobre la influencia de masas madre constituidas por diversas bacterias ácido-lácticas sobre la textura en productos libres de gluten. En los últimos años se han publicado distintas patentes centradas en el uso de diversas bacterias ácido-lácticas para la fabricación de productos de panificación libres de gluten dirigidos a mejorar la calidad y reducir la toxicidad del gluten residual que pueda estar presente.<sup>34-35</sup>

### 3. Procesos para la obtención de productos sin gluten derivados de cereales

La producción de alimentos sin gluten derivados de cereales se enfrenta con numerosos inconvenientes tecnológicos derivados de la ausencia de la funcionalidad del gluten. Esta ausencia ha obligado a adaptar formulaciones y procesos de fabricación para la obtención de panes, galletas, bizcochos, pizzas, pastas y otros productos derivados de cereales, con características sensoriales lo más similares posible a sus homólogos con gluten.

#### 3.1. Proceso de fabricación de panes libres de gluten

Tipo pan	Composición cualitativa
Pan de molde	Almidón de maíz, agua, azúcar, huevo, margarina vegetal, acidulante, conservante, levadura, espesante, sal, gasificantes, antioxidantes
Pan Rústico	Almidón de maíz, agua, margarina vegetal, acidulante, conservante, antioxidantes, aromas, colorantes, huevos, azúcar, levadura, emulgente, dextrosa, humectantes, estabilizantes, sal
Pan Carré	Almidón de maíz, agua, margarina vegetal, acidulante, conservante, antioxidantes, aromas, colorantes, huevos, azúcar, levadura, emulgente, dextrosa, humectante, estabilizante, sal
Panecillo redondo	Almidón de patata, almidón de maíz, agua, caseinatos, azúcar, aceite vegetal, harina de maíz, levadura, proteína de soja, estabilizantes, sal, conservantes
Brioches	Almidón de maíz, agua, azúcar, huevo, margarina vegetal, acidulante, conservante, aromas, colorante, espesante, levadura, emulgente, sal, gasificantes, anís, canela, antioxidantes
Pan Carré	Almidón de maíz, harina de arroz, agua, aceite vegetal, azúcar, espesante, proteína de altramuz, levadura, sal, fibra vegetal, aromas, emulgente
Pan de Molde	Almidón de maíz, agua, azúcar, huevo, margarina vegetal, acidulante, conservante, aromas, colorante, levadura, espesante, emulgente, sal, gasificantes, antioxidante
Baguette precocido	Almidón de maíz, agua, azúcar, levadura, espesantes, sal, gasificantes, acidulante, conservante, aroma, colorante
Baguette precocido	Almidón de maíz, agua, azúcar, espesante, emulgente, sal, levadura, conservante, gasificantes, antioxidante
Barra de pan	Almidón de maíz, margarina vegetal, sal, azúcar, emulgente, gasificantes, antioxidante, espesante, conservante y levadura
Pan de Molde	Almidón de maíz, margarina vegetal, sal, azúcar, emulgente, gasificantes, antioxidante, espesante, conservante y levadura

Tabla 1. Ingredientes y aditivos presentes en la formulación de panes comerciales libres de gluten.

La producción de los panes libres de gluten difiere significativamente del método de panificación tradicional de los panes de trigo, en el que los ingredientes sólidos se amasan con el agua, seguido de la fermentación en masa, división, boleado, fermentación y horneado. Las formulaciones son generalmente muy complejas y consisten en mezclas de los ingredientes anteriormente citados y diversos aditivos (Tabla 1). La mayoría de panes libres de gluten se



fabrican con un elevado contenido de agua, y las masas que originan son muy fluidas. Además se requieren amasados y fermentaciones muy cortos. Respecto a la formulación, en numerosas ocasiones se ha recurrido a la metodología de superficie de respuesta para optimizar la concentración de cada uno de los ingredientes.<sup>21</sup> Un aspecto importante es la búsqueda de parámetros característicos de las masas sin gluten que permitan predecir la calidad del producto horneado.

Matos y Rosell<sup>36</sup> describieron correlaciones estadísticamente significativas entre la consistencia de la masa, la consistencia de la masa sometida a calentamiento y enfriamiento y la dureza de la miga, por lo que estos parámetros podrían utilizarse para predecir la calidad final del producto.

### **3.2. Proceso de fabricación de galletas libres de gluten**

La fabricación de galletas libres de gluten no conlleva dichos problemas, puesto que la red de gluten se desarrolla mínimamente y los constituyentes esenciales en este tipo de productos son el almidón y el azúcar. Para la fabricación de galletas libres de gluten se han utilizado almidones de maíz, mijo, trigo sarraceno, arroz y patata, combinados con grasas (aceite de palma, grasa microencapsulada, sólidos lácteos con bajo contenido en grasa). Las combinaciones de arroz, maíz, patata y soja con grasa microencapsulada originan galletas libres de gluten con calidad comparable a las obtenidos con harina de trigo.<sup>37</sup> Las galletas tipo *cookies* también se han podido obtener sustituyendo harina de trigo por harina de arroz. Una formulación optimizada para conseguir estos productos incluía harina de arroz integral (70%), harina de soja (10%), almidón de maíz (10%) y almidón de patata (10%).<sup>37</sup>

### **3.3. Proceso de fabricación de bizcochos libres de gluten**

El bizcocho es el producto obtenido por amasado y cocción procedente de las masas preparadas con harinas, almidón y féculas. En los bizcochos la red de gluten no es necesaria y el constituyente más importante es el almidón, que determina la estructura del bizcocho. Se han propuesto numerosas formulaciones para la fabricación de bizcochos sin gluten. Gularte y Pallarés<sup>38</sup> compararon las características de bizcochos libres de gluten (elaborados con harina de arroz) y bizcochos con gluten. Ambos bizcochos no presentaron diferencias significativas respecto a color, textura y masticabilidad. Incluso se han formulado bizcochos sin gluten enriquecidos en proteínas mediante la adición de harinas de legumbres<sup>26</sup> o bien en diversas fibras dietéticas.<sup>39</sup>

### **3.4. Fabricación de pasta y productos extruídos sin gluten**

La producción de pasta incluye la preparación de una masa obtenida al mezclar la harina de trigo duro (semolina) con agua y posteriormente la extrusión de la misma para obtener la forma y dimensión de la pasta deseada. En la pasta libre de gluten la ausencia de gluten se puede contrarrestar con la mezcla de almidón pregelatinizado y harina de maíz antes de adicionar el agua, o bien pregelatinizando parte del almidón durante el mezclado o la extrusión. Otra alternativa ha sido la utilización de altas o ultra altas temperaturas durante el proceso de secado de la pasta para desnaturalizar las proteínas y mantener la integridad de la pasta durante la cocción. Los pseudo-cereales también se han utilizado en la formulación de la pasta libre de gluten. La combinación de trigo sarraceno, amaranto y quinoa en presencia de albúmina de

huevo, emulgentes y enzimas ha permitido obtener pasta, tipo *noodles*, libre de gluten con adecuadas características de calidad.<sup>40</sup> El trigo sarraceno es el que origina los *noodles* de mejor calidad, con una adecuada firmeza. También se han utilizado mezclas de harina de maíz y quinoa, o bien mezclas de quinoa y harina de arroz para la obtención de espaguetis libres de gluten.<sup>41</sup>

## **4. Productos de panificación libres de gluten**

### **4.1. Calidad de productos de panificación libres de gluten**

Tradicionalmente, los productos dirigidos a la población celíaca se diseñaban atendiendo únicamente a la ausencia de alérgenos, utilizando mezclas de polímeros que pudieran originar productos con características sensoriales similares a sus homólogos con gluten. En los últimos años, el colectivo celíaco ha atraído la atención de las empresas de alimentación y tecnólogos de alimentos, y se han desarrollado una gran variedad de productos sin gluten. En el caso de productos de panadería, la diversidad de productos comerciales obedece principalmente a la introducción de numerosos formatos y presentaciones más que al diseño de nuevos productos con características sensoriales y/o nutricionales distintas. Los productos de panadería sin gluten disponibles en el mercado se caracterizan por estar constituidos por mezclas de almidones y harina de cereales sin gluten. La calidad y características de los panes sin gluten dependen principalmente de los ingredientes utilizados en su fabricación (Figura 2). Así, los panes de maíz poseen un intenso aroma y sabor. En 2002, Arendt et al.<sup>42</sup> revisaron la calidad de los panes libres de gluten comerciales, detectando una baja calidad debido a su rápido envejecimiento, textura seca y disgregable e intenso aroma desagradable. Los panes libres de gluten tienden a envejecer rápidamente, debido a la alta cantidad de almidón en las formulaciones. Además debido a la ausencia de gluten existe mayor cantidad de agua disponible que origina cortezas blandas y un rápido endurecimiento de la miga. En los últimos años se han realizado numerosos estudios para mejorar la calidad de estos productos mediante la adición de masas madre, hidrocoloides, enzimas, emulgentes, y proteínas.

Dado que la calidad es un término totalmente subjetivo, se han realizado algunas investigaciones para establecer relaciones entre los atributos sensoriales y parámetros tecnológicos determinados con instrumentación analítica. Matos y Rosell<sup>36</sup> han establecido algunas correlaciones entre las propiedades de hidratación de la miga de pan sin gluten y la cohesividad y capacidad de recuperación de la miga.

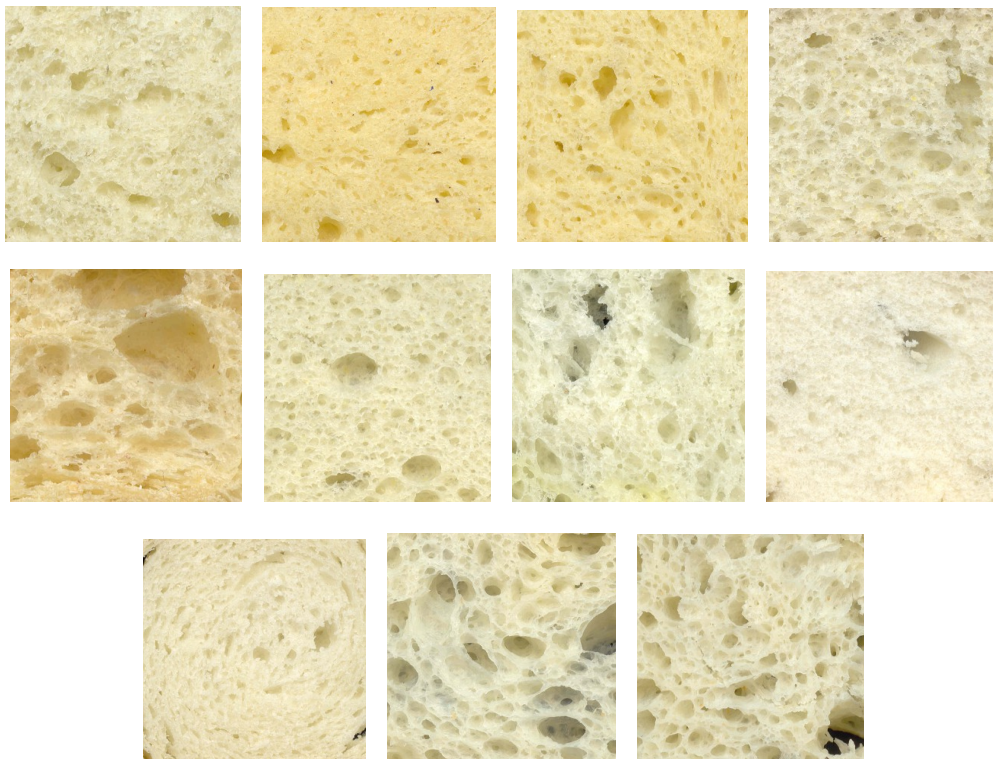


Figura 2. Imagen digital de distintas migas de pan sin gluten comercial (30x30 mm) (Foto: M.E. Matos).

#### 4.2. Aspectos nutricionales de los productos libres de gluten

Los productos libres de gluten generalmente no se enriquecen o fortifican, y frecuentemente se obtienen de harinas refinadas o almidones. Como consecuencia estos productos no tienen la misma cantidad de nutrientes que sus homólogos con gluten. En un estudio realizado por Matos y Rosell<sup>43</sup> se evaluaron nutricionalmente 11 tipos diferentes de panes sin gluten comerciales disponibles en los supermercados de España. La composición nutricional de los panes sin gluten comerciales varió entre 40-62% de hidratos de carbono, 0-8% de proteínas, 1-11% de grasas y cantidades muy variables de fibras (0-6%) (Tabla 2). Este perfil difiere considerablemente de los productos de panadería con gluten que, a pesar de los diversos formatos existentes, poseen una composición nutricional muy similar entre ellos, la cual varía entre 41-56% de hidratos de carbono, 8.0-13.0% de proteínas y 2.0-4.0% de grasas, entre sus constituyentes mayoritarios. Estos datos ponen de manifiesto las diferencias nutricionales que pueden ocasionar la ingesta continuada de los panes sin gluten si no se produce una modificación en la ingesta de nutrientes procedente de otros alimentos.

Estas divergencias en el perfil nutricional de los productos sin gluten y sus homólogos con gluten han propiciado una reformulación de los productos sin gluten dirigida a conseguir productos nutricionalmente equilibrados y que proporcionen los nutrientes necesarios para las personas que se ven obligadas a seguir estas pautas terapéuticas. Así, se han diseñado panes sin gluten

enriquecidos en calcio e inulina para combatir deficiencias de calcio y aportar una mayor ingesta de fibra dietética.<sup>44</sup>

Producto	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Minerales (%)	Hidratos de Carbono totales (%)
1	29.63	3.16	8.51	2.12	86.21
2	31.63	6.94	16.91	1.10	75.05
3	29.50	7.31	16.56	1.66	74.47
4	27.17	15.05	7.33	1.85	75.76
5	26.27	5.13	10.64	2.01	82.22
6	41.66	4.92	4.86	2.03	88.18
7	33.60	3.96	8.28	4.53	83.22
8	21.10	1.01	2.00	4.03	92.96
9	31.33	0.91	2.03	5.43	91.63
10	36.13	1.91	26.10	3.57	68.42
11	42.03	2.80	18.32	3.98	74.91
Media	31.82	4.83	11.05	2.94	81.18

*Tabla 2. Composición química, expresada en g/100 g de materia seca, de 11 tipos de panes libres de gluten comerciales.<sup>43</sup>*

## Agradecimientos

Se agradece la financiación recibida del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y de la Generalitat Valenciana a Grupos de Excelencia Científica (Proyecto Prometeo 2012/064), así como a la Asociación de Celíacos de Madrid (España).

## Referencias

1. Reglamento (CE) nº 41/2009 de la Comisión, de 20 de enero de 2009, sobre la composición y etiquetado de productos alimenticios apropiados para personas con intolerancia al gluten. Diario Oficial nº L 016 de 21/01/2009 pp. 0003-5.
2. Comino I, Real A, de Lorenzo L, Cornell H, López-Casado MA, Barro F et al. *Diversity in oat potential immunogenicity: basis for the selection of oat varieties with no toxicity in coeliac disease*. Gut. 2011; 60: 915-22. <http://dx.doi.org/10.1136/gut.2010.225268>
3. Rosell CM, Gómez M. *Rice*. In: Bakery products: Science and Technology. Ed Y.H. Hui. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. ISBN: 978-0-81-380187-2. 2006. pp. 123-133. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470277553.ch6>
4. Rosell CM, Marco C. *Rice*. In: Gluten free cereal products and beverages. Ed E.K. Arendt, F. dal Bello. Elsevier Science, UK. ISBN: 978-0-12-373739-7. 2008. pp. 81-100. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-012373739-7.50006-X>
5. Kadan RS, Robinson MG, Thibodeux DP, Pepperman AB. *Texture and other physiochemical properties of whole rice bread*. Journal Food Science. 2001; 66: 940-4. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08216.x>
6. Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N, Biliaderis CG. *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations*. Journal of Food Engineering. 2007; 79: 1033-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
7. Pruska-Kędzior A, Kędzior Z, Gorący M, Pietrowska K, Przybylska A, Spsychalska K. *Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations*. European Food Research Technology. 2008. 227: 1523-36. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-008-0875-1>
8. Sciarini LS, Ribotta PD, León AE, Pérez GT. *Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality*. Food Bioprocess Technology. 2010; 3: 577-85. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-008-0098-2>
9. Matos ME, Rosell CM. *Quality indicators of rice based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics*. Food Bioprocess Technology. 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0903-9>
10. Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. *Rheological properties of gluten-free bread formulations*. Journal of Food Engineering. 2010. 96: 295-303. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004>
11. Marco C, Rosell CM. *Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours*. Journal of Food Engineering. 2008; 88(1): 94-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.018>
12. Marco C, Rosell CM. *Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties*. Journal of Food Engineering. 2008; 84(1): 132-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.003>
13. Brites C, Trigo MJ, Santos C, Collar C, Rosell CM. *Maize based gluten free bread: influence of production parameters on sensory and instrumental quality*. Food Bioprocess Technology: An International Journal. 2010; 3(5): 707-15. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-008-0108-4>

14. Taylor JRN, Dewar J. *Developments in sorghum food technologies*. In: Taylor, S. Ed. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43. San Diego, CA. Academic Press, 2001. pp. 217-64. [http://dx.doi.org/10.10186/S1043-4526\(01\)43006-3](http://dx.doi.org/10.10186/S1043-4526(01)43006-3)
15. Taylor JRN, Schober T, Bean SR. *Non-traditional uses of sorghum and pearl millet*. *Journal of Cereal Science*. 2006; 44: 252-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.009>
16. Gambus H, Gambus F, Sabat R. *The research on quality improvement of gluten-free bread by Amaranthus flour addition*. *Zywnosc*. 2002. 9: 99-112.
17. Molina-Rosell C. *Hidrocoloides en panadería*. *Molinería y Panadería*. 2011; 16-23.
18. Kang MY, Choi YH, Choi HC. *Interrelation between physicochemical properties of milled rice and retrogradation of rice bread during cold storage*. *Journal Korean Society Food Science Technology*. 1997; 26: 886-91.
19. Cato L, Gan JJ, Rafael LGB, Small DM. *Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums*. *Food Australia*. 2004. 56: 75-8.
20. Gambus H, Sikora M, Ziobro R. *The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free bread*. *Acta Scientiarum Polonorum-Technologia Alimentaria*. 2007; 6: 61-74.
21. Gujral HS, Guardiola I, Carbonell JV, Rosell CM. *Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51(13): 3814-8. <http://dx.doi.org/10.1021/jf034112w>
22. Anton AA, Artfield SD. *Hydrocolloids in gluten-free breads: a review*. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2008. 59: 11-23. <http://dx.doi.org/10.1080/09637480701625630>
23. Jaekel LZ, Schons PF, Rodrigues RS, Silva LH. *Caracterização físico-química e avaliação sensorial de biscoito tipo "cookies" com grãos de soja*. En: *Congresso de Iniciação Científica*, 8. Anais CD Rom. Pelotas: UFPel. 2004.
24. Marco C, Rosell CM. *Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads*. *European Food Research and Technology*. 2008; 227(4): 1205-13. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-008-0838-6>
25. Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. *Recent Advances in the Formulation of Gluten-free Cereal-based Products*. *Trends Food Science Technology*. 2004; 15: 143-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>
26. Gularte MA, Gómez, M. Rosell CM. *Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes*. *Food Bioprocess Technology: An International Journal*. 2012; 5: 3142-50. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0642-3>
27. Sabanis D, Lebesi D, Tzia C. *Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread*. *LWT-Food Science and Technology*. 2009; 42: 1380-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.010>
28. Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, Ibanolu S. *The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products*. *Food Chemistry*. 2010; 121: 156-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.024>
29. Rosell CM, Collar C. *Effect of various enzymes on dough rheology and bread quality*. In: *Recent Research Developments in Food Biotechnology. Enzymes as Additives or Processing Aids*. Ed R. Porta, P. Di Pierro and L. Mariniello. Research Signpost, Kerala, India. ISBN: 978-8-13-080228-2. 2008. pp. 165-83.

30. Gujral HS, Rosell CM. *Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase*. Journal of Cereal Science. 2004; 39(2): 225-30.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2003.10.004>
31. Gujral H, Rosell CM. *Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase*. Food Research International. 2004; 37(1): 75-81.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2003.08.001>
32. Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. *Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase*. Cereal Chemistry. 2006. 83: 28-36. <http://dx.doi.org/10.1094/CC-83-0028>
33. Crowley P, Schober T, Clarke C, Arendt E. *The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread*. European Food Research and Technology. 2002; 214: 489-96. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-002-0500-7>
34. Gallo G, De Angelis M, McSweeney PLH, Corbo MR, Gobetti M. *Partial purification and characterization of an X-prolyl dipeptidyl aminopeptidase from Lactobacillus sanfranciscensis CB1*. Food Chemistry. 2005; 9: 535-44.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.047>
35. Sikken D, Lousche K. *Starter preparation for producing bakery products*. European Patent EP13611796. 2003.
36. Matos ME, Rosell CM. *Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads*. European Food Research Technology. 2012; 235: 107-17. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-012-1736-5>
37. Schober TJ, O'Brien CM, McCarthy D, Darnedde A, Arendt EK. *Influence of gluten free flour mixes and fat powders on the quality of gluten free biscuits*. European Food Research and Technology, 2003; 216: 369-76.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-003-0694-3>
38. Gularte MA, Pallares MG. *Reología y características físicas de bizcochos de harina de arroz*. En: Simposio Latino Americano de Ciencia de Alimentos, 5. Anais CD Rom. Montevideo: Suctal. 2003.
39. Gularte MA, de la Hera E, Gómez M, Rosell CM. *Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties*. LWT-Food Science and Technology. 2012; 48: 209-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.015>
40. Schoenlechner R, Jurackova K, Berghofer E. *Pasta production from the pseudo-cereals amaranth, quinoa and buckwheat*. Proceedings of the 12th ICC Cereal and Bread Congress, 2004. Harrogate, UK.
41. Ramírez JL, Silva Borges JT, Euzebio do Nascimento R, Ramirez Ascheri DP. *Functional properties of precooked macaroni of raw quinoa flour (Chenopodium quinoa Wild) and rice flour (Oryza sativa L)*. Alimentaria. 2003; 342: 71-5.
42. Arendt EK, O'Brien CM, Schober TJ, Gallagher E, Gormley TR. *Development of gluten free cereal products*. Farm Food. 2002; 21-7.
43. Matos Segura ME, Rosell CM. *Chemical composition and starch digestibility of different gluten-free breads*. Plant Foods for Human Nutrition. 2011; 66(3): 224-30.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11130-011-0244-2>
44. Krupa U, Rosell CM, Sadowska J, Soral-Smietana M. *Bean starch as ingredient for gluten-free bread*. Journal of Food Processing and Preservation. 2010; 34(Suppl. 2): 501-18. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00366.x>