

Effects of transglutaminase on the proximal and textural properties of gluten-free bread of sorghum and quinoa

Efecto de la transglutaminasa sobre las propiedades proximales y de textura de un pan libre de gluten a base de sorgo y quinoa

Efeito da transglutaminase nas propriedades proximais e de textura de um pão sem glúten baseado em sorgo e quinoa

Guadalupe Rodríguez Castillejos^{1*}, Cristian Lizarazo Ortega², Ana González Pérez¹, Noé Montes García³ y Régulo Ruíz Salazar¹

¹Department of Food Technology, Autonomus University of Tamaulipas. Street 16 and Chapala lake, Aztlán, 88740. Reynosa, Tamaulipas, Mexico. Emails: gcastillejos@uat.edu.mx, regulo.ruiz@uat.edu.mx. ²National Polytechnic Institute. Del Maestro Boulevard, Narciso Mendoza, 88700. Reynosa, Tamaulipas, Mexico. Email: clizarazu@ipn.mx. ³National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP), Rio Bravo Experimental Station (CERIB), A.P. 172, 88900. Rio Bravo, Tamaulipas, Mexico. Email: montes.noe@inifap.gob.mx.

Abstract

Gluten is found in cereals such as wheat, barley and rye. Some people are genetically predisposed to gluten intolerance, so there is a growing demand for gluten-free bakery products with high quality proteins. Replacing gluten represents a technological challenge, as it requires the use of additives, primarily hydrocolloids or enzymes, to improve the mechanical properties of dough. In this study, we evaluated the effect of microbial transglutaminase (MTG) on the chemical properties of sorghum bread enriched with quinoa. Bread was prepared by mixing, fermenting and baking sorghum flour (80%) and quinoa flour (20%), with the addition of 0.5% MTG. Control bread with no added enzyme was prepared too. The results showed that the content of protein (14.61%), fiber (16.04%), minerals (2.45%) and carbohydrates were higher in the bread that contained

Recibido el 03-08-2017 • Aceptado el 15-03-2018

*Corresponding author. Email: gcastillejos@uat.edu.mx

transglutaminase, while the fat content was higher in the bread without the enzyme (14.14%). The analysis of textural parameters such as chewiness, gumminess and cohesiveness showed a significant difference in the MTG bread. These results suggest that adding MTG to sorghum-quinoa bread improves its nutritional properties by increasing its content of protein and fiber, resulting in a gluten-free product of high nutritional value.

Key words: bakery products, cereals, hydrocolloids, improvement.

Resumen

El gluten se encuentra en los cereales como el trigo, la cebada y el centeno. Algunas personas están genéticamente predisuestas a la intolerancia al gluten, por lo que hay una creciente demanda de productos de panadería libres de gluten y con proteínas de alta calidad. Sustituir el gluten representa un desafío tecnológico, ya que requiere el uso de aditivos, principalmente hidrocoloides o enzimas, para mejorar las propiedades mecánicas de la masa. En este estudio se evaluó el efecto de la transglutaminasa microbiana (TGM) sobre las propiedades químicas del pan de sorgo enriquecido con quinoa. El pan se preparó mezclando, fermentando y horneando harina de sorgo (80%) y harina de quinoa (20%), con la adición de 0,5% de TGM. El pan testigo, sin enzima añadida se preparó de la misma manera. Los resultados mostraron que el contenido de proteína (14,61%), fibra (16,04%), y carbohidratos (44,53%); fueron mayores en el pan que contenía transglutaminasa, mientras que el contenido de grasa fue mayor en el pan sin enzima (14,14%). El análisis de los parámetros de textura, como la masticabilidad, gomosidad y la cohesión; mostró diferencia significativa en el pan con TGM. Estos resultados sugirieron que la adición de TGM al pan de sorgo-quinoa mejoró sus propiedades nutricionales aumentando su contenido de proteína y fibra, resultando en un producto libre de gluten de alto valor nutricional.

Palabras clave: productos de panadería, cereales, hidrocoloides, mejora.

Resumo

O glúten é encontrado em cereais como trigo, cevada e centeio. Algumas pessoas estão geneticamente predispostas à intolerância ao glúten, então há uma demanda crescente por produtos de padaria sem glúten e proteínas de alta qualidade. Substituir glúten representa um desafio tecnológico, uma vez que requer o uso de aditivos, principalmente hidrocolóides ou enzimas, para melhorar as propriedades mecânicas da massa. Neste estudo, avaliou-se o efeito da transglutaminase microbiana (TGM) sobre as propriedades químicas do sorgo enriquecido com quinoa. O pão foi preparado misturando, fermentando e cozinhando farinha de sorgo (80%) e farinha de quinoa (20%), com adição de 0,5% de TGM. O pão de controle, sem enzima adicionada, foi preparado da mesma maneira. Os resultados mostraram que o teor de proteína (14,61%), fibra (16,04%)

e carboidratos (44,53%); foram maiores em pão contendo transglutaminase, enquanto o teor de gordura foi maior no pão sem enzima (14,14%). A análise de parâmetros de textura, tais como masticabilidade, elasticidade e coesão; mostrou diferença significativa no pão com TGM. Estes resultados sugeriram que a adição de TGM ao pão sorgo-quinoa melhorou suas propriedades nutricionais, aumentando seu teor de proteína e fibra, resultando em um produto sem glúten

Introduction

Gluten is a food component widely found in cereals such as wheat, barley and rye; its composition is 80% proteins (gliadin and glutenin), 5 to 10% lipids, residual starch, carbohydrates and water insoluble proteins (Villanueva-Flores, 2015). Although uncommon, gluten intolerance is found throughout the world; approximately 1% of the world population suffers from it, a chronic autoimmune intestinal disorder with a strong genetic component. The patients with symptoms resulting from gluten intake are referred to as “celiac”. Recently, a new syndrome was described as “non-celiac gluten sensitivity” (NCGS) or, simply, gluten sensitivity. The prevalence of celiac disease is high: an estimated 1:133 in the US, and up to 1:300 in Europe (Demirkesen *et al.*, 2014). However, few studies have tried to estimate the prevalence of celiac disease in Latin America. One of these studies was conducted in Argentina in 2001; it found a rate of 1:167 in the target population (Gómez *et al.*, 2001). Given that the number of diagnosed celiac patients is rising, the food industry is looking for alternatives to the use of cereals to make gluten-free products. However, wheat-based products have better textural properties due to the

Introducción

El gluten es un componente alimenticio ampliamente encontrado en cereales como el trigo, la cebada y el centeno; su composición es 80% de proteínas (gliadina y glutenina), 5 a 10% de lípidos, almidón residual, carbohidratos y proteínas insolubles en agua (Villanueva-Flores, 2015). Aunque es poco común, la intolerancia al gluten se encuentra en todo el mundo; aproximadamente el 1% de la población mundial sufre de este trastorno crónico intestinal autoinmune con un fuerte componente genético. Los pacientes con síntomas resultantes de la ingesta de gluten se conocen como “celiacos”. Recientemente, se describió un nuevo síndrome como “sensibilidad al gluten no celíaca” (NCGS, por sus siglas en inglés) o, simplemente, sensibilidad al gluten. La prevalencia de la enfermedad celíaca es alta: se estima que es de 1:133 en los EEUU. y de hasta 1:300 en Europa (Demirkesen *et al.*, 2014). Sin embargo, pocos estudios han tratado de estimar la prevalencia de la enfermedad celíaca en América Latina. Uno de estos estudios fue realizado en Argentina en 2001; encontrando una tasa de 1:167 en la población objetivo (Gómez *et al.*, 2001). Dado que el número de pacientes celíacos diagnosticados está

viscoelasticity and the ability to retain the gas conferred by gluten (Houben *et al.*, 2012).

Cooking dough made from wheat exhibits properties that improve the quality and production of a wide variety of food products such as bread, cookies and biscuits. The growing use of alternative gluten-free cereals and flours requires the use of additives to obtain the characteristics conferred by gluten. The gluten-free cereals that have been used as a substitute for wheat in bakery products include rice, corn, millet and sorghum; in these products, hydrocolloids can be used as a thickening agent (Onyango *et al.*, 2010). However, the absence of a protein network in these formulations does not provide adequate viscosity. Another alternative for improving the strength and malleability of dough, and therefore the quality of bread, is the use of enzymes. One of the most used enzymes in the bakery industry is microbial transglutaminase (MTG), which catalyzes cross-linking reactions between glutamine and lysine/glutamine or glutamine and water (Jaros *et al.*, 2006; Houben *et al.*, 2012). It is known that most cereals, such as sorghum, have low lysine content, and thus significant textural improvements cannot be achieved. In this case, the use of MTG was not very effective due the low availability of lysine residues (Renzetti *et al.*, 2008). This problem can be solved by the use of composite flours with a higher lysine content, which allows the cross-linking reaction to occur as usual; these flours are made from the mixture of a cereal and a legume. One

umentando, la industria alimentaria está buscando alternativas al uso de cereales para elaborar productos sin gluten. Sin embargo, los productos a base de trigo tienen mejores propiedades de textura debido a la viscoelasticidad y la capacidad de retener el gas conferido por el gluten (Houben *et al.*, 2012).

La masa de cocina hecha de trigo exhibe propiedades que mejoran la calidad y la producción de una amplia variedad de productos alimenticios, como pan, galletas y panecillos. El uso creciente de cereales y harinas alternativas sin gluten requiere el uso de aditivos para obtener las características conferidas por el gluten. Los cereales sin gluten que se han utilizado como sustituto del trigo en los productos de panadería incluyen arroz, maíz, mijo y sorgo; en estos productos, los hidrocoloides pueden usarse como un agente espesante (Onyango *et al.*, 2010). Sin embargo, la ausencia de una red de proteínas en estas formulaciones no proporciona una adecuada viscosidad. Otra alternativa para mejorar la resistencia y maleabilidad de la masa, y por lo tanto la calidad del pan, es el uso de enzimas. Una de las enzimas más utilizadas en la industria de la panificación es la transglutaminasa microbiana (MTG), que cataliza las reacciones de entrecruzamiento entre glutamina y lisina/glutamina o glutamina y agua (Jaros *et al.*, 2006; Houben *et al.*, 2012). Se sabe que la mayoría de los cereales, como el sorgo, tienen un bajo contenido de lisina y, por lo tanto, no se pueden lograr mejoras de textura significativa. En

of the cereals that have been evaluated as an alternative to wheat is sorghum, of which Mexico is the fourth world largest producer, with a share of 10% of the world's production. In Mexico, sorghum is used mainly for poultry and cattle feed, and it is not present in food products. As described above, sorghum has low lysine content; for this reason, sorghum flours have been enriched with additives to obtain bakery products with better properties (Osungbaro *et al.*, 2010). In this regard, quinoa represents a very good ideal alternative that can be mixed with sorghum in diverse products such as bread and pasta. The objective of this research was to evaluate the effect of MTG on the nutritional and textural properties of bread made of sorghum and quinoa flour.

Materials and methods

Bread processing

Grains of the white sorghum variety RB Paloma were harvested at the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP), located in Rio Bravo, Tamaulipas, Mexico. Quinoa and the rest of the ingredients were obtained from supermarkets in Reynosa, Tamaulipas. Sorghum and quinoa flours were obtained by grinding the ingredients in a hammer mill and sieving them until forming a fine flour. Two formulations were prepared; the only difference between them was that 0.5% of transglutaminase was added to one of them; this treatment was called SQB-Tg. Both treatments contained 80% of white sorghum flour

este caso, el uso de MTG no fue muy efectivo debido a la baja disponibilidad de residuos de lisina (Renzetti *et al.*, 2008). Este problema se podría resolver mediante el uso de harinas compuestas con un mayor contenido de lisina, lo que permite que la reacción de entrecruzamiento ocurra como de costumbre; estas harinas están hechas de la mezcla de un cereal y una leguminosa. Uno de los cereales que se ha evaluado como alternativa al trigo es el sorgo, de los cuales México es el cuarto productor mundial, con una participación del 10% de la producción mundial. En México, el sorgo se utiliza principalmente para la alimentación de aves de corral y ganado, y no está presente en los productos alimenticios. Como se describió anteriormente, el sorgo tiene un bajo contenido de lisina; por esta razón, las harinas de sorgo se han enriquecido con aditivos para obtener productos de panadería con mejores propiedades (Osungbaro *et al.*, 2010). En este sentido, la quinoa representa una muy buena alternativa ideal que se puede mezclar con el sorgo en diversos productos como el pan y la pasta. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la transglutaminasa microbiana (MTG) sobre las propiedades nutritivas y texturales del pan elaborado con sorgo y harina de quinoa.

Materiales y métodos

Procesamiento del pan

Los granos de la variedad de sorgo blanco RB Paloma se cosecharon en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Ganaderas

Table 1. Ratio of ingredients for bread.

Tabla 1. Relación de ingredientes para pan.

Ingredients	Control (% w/w)	SQB-TG (% w/w)
Sorghum flour	57.2	57.2
Quinoa flour	14.3	14.3
Sugar	5	5
Egg	5	5
Ground cinnamon	1	1
Butter	12.5	12.5
Water with anise	5	5

(RB- Paloma variety) and 20% of quinoa flour (table 1). The dough was prepared by mixing the ingredients and the enzyme in a multiprocessor and kneading for 10 min until obtaining homogeneous dough, which was then placed in previously greased oven molds. The dough was then baked in a home kitchen for 20-25 min at 200 °C.

Proximal composition analysis

After baking the loaves, a proximate composition analysis was carried out using the methods approved by the AACC (1995). Total protein content was determined by the Kjeldahl method (official method 950.36); raw fiber by official method 950.37; ashes by official method 930.22; fat by official method 935.38; and moisture by official method 935.36. Total carbohydrates were calculated by the difference.

(INIFAP), ubicado en Río Bravo, Tamaulipas, México. La quínoa y el resto de los ingredientes se obtuvieron de los supermercados en Reynosa, Tamaulipas. Las harinas de sorgo y quínoa se obtuvieron moliendo los ingredientes en un molino de martillo y tamizándolos hasta formar una harina fina. Se prepararon dos formulaciones; la única diferencia entre ellas fue que 0,5% de transglutaminasa se agregó a una de ellas; este tratamiento se llamó SQB-Tg. Ambos tratamientos contenían 80% de harina blanca de sorgo (variedad RB-Paloma) y 20% de harina de quínoa (cuadro 1). La masa se preparó mezclando los ingredientes y la enzima en un multiprocesador y amasándolo durante 10 minutos hasta obtener una masa homogénea, que luego se colocó en moldes de horno previamente engrasados. La masa se horneó en una cocina casera durante 20-25 minutos a 200 °C.

Texture profile

The texture was determined according to a procedure described by Gómez *et al.* (2007). In the double compression test, the bread loaves were compressed to 70% of their original height with a 50 mm diameter cylindrical aluminum probe at a speed of 60 mm min⁻¹, with a delay of 5 s between the first and second compression.

Statistical analysis

The data collected were subjected to analysis of variance (ANOVA). The means were analyzed by t-Student test ($P < 0.05$), using the Statistical Package GraphPad Prism v5.0.

Results and discussion

Proximate analysis

Moisture is an important parameter for food products, since the higher the moisture content, the faster the food deteriorates; in the present study, the addition of the enzyme decreased the moisture content from 15.20 to 11.98%, compared to the control loaves ($P < 0.05$). The content of protein, fiber, and carbohydrates were significantly higher ($P < 0.05$) in the loaves supplemented with enzyme (table 2). In the absence of lysine residues, water molecules react as a nucleophile, resulting in the deamidation of glutamines and an increase in water-binding capacity. The lower content of moisture in the SQB-Tg bread may be explained by this reaction, which produces glutamic acid and ammonia (Jaros *et al.*, 2006). Altındağ *et al.* (2015) reported higher moisture content in cookies

Análisis de componentes proximales

Después de hornear los panes, se llevó a cabo un análisis de composición proximal utilizando los métodos aprobados por la AACCC (1995). El contenido de proteína total se determinó mediante el método de Kjeldahl (método oficial 950.36); fibra cruda por el método oficial 950.37; cenizas por el método oficial 930.22; grasa según el método oficial 935.38; y humedad según el método oficial 935.36. Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia.

Perfil de textura

La textura se determinó de acuerdo con un procedimiento descrito por Gómez *et al.* (2007). En la prueba de doble compresión, los panes se comprimieron al 70% de su altura original con una sonda de aluminio cilíndrica de 50 mm de diámetro a una velocidad de 60 mm min⁻¹, con un retraso de 5 s entre la primera y la segunda compresión.

Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA). Las medias se analizaron mediante la prueba t-Student ($P < 0,05$), utilizando el Statistical Package GraphPad Prism v5.0.

Resultados y discusión

Análisis proximal

La humedad es un parámetro importante para los productos alimenticios, ya que cuanto mayor es el contenido de humedad, más rápido se deteriora la comida; en el presente estudio, la adición de la enzima

Table 2. Proximate composition of breads produced from sorghum and quinoa flours.**Tabla 2. Composición de los panes producidos a partir de harinas de sorgo y quínoa.**

	Control	SQB-Tg
Protein (%)	13.36 ^b ±0.36	14.61 ^a ±0.31
Fat (%)	14.14 ^a ±0.60	10.38 ^b ±0.28
Ash (%)	2.34 ^b ±0.36	2.45 ^a ±0.06
Fiber (%)	13.09 ^b ±0.20	16.04 ^a ±0.40
Moisture (%)	15.20 ^a ±0.39	11.98 ^b ±0.28

made with buckwheat, corn and rice supplemented with transglutaminase; the lower moisture content of the buckwheat and corn cookies was attributed to the lower protein content of these flours. Angioloni and Collar (2012) made sliced bread in which wheat flour was substituted with 40% of sorghum flour; the moisture content was 33.6%. The higher moisture content of this kind of bread helps preserve its sensory properties. Regarding ash content, both products was higher than 2%. It is worth noting that the mineral content of the RB variety of sorghum is 0.3%. Olaoye *et al.* (2006) made 100% wheat bread and bread with 15% soy flour, and found an ash content of 0.64 and 1.17%, respectively; soybeans are recognized for their high mineral content.

disminuyó el contenido de humedad de 15,20 a 11,98%, en comparación con los panes testigos ($P < 0,05$). El contenido de proteína, fibra y carbohidratos fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los panes suplementados con enzima (cuadro 2). En ausencia de residuos de lisina, las moléculas de agua reaccionan como un nucleófilo, dando como resultado la desamidación de las glutaminas y un aumento en la capacidad de unión al agua. El bajo contenido de humedad en el pan SQB-Tg podría explicarse por esta reacción, que produce ácido glutámico y amoníaco (Jaros *et al.*, 2006). Altındağ *et al.* (2015) indicaron un mayor contenido de humedad en galletas hechas con alforfón, maíz y arroz suplementado con transglutaminasa; el bajo contenido de humedad del

However, these values are lower than the ones found in the present study. Gluten-free products are deficient in calcium, magnesium and iron, but quinoa is rich in these minerals; thus, the result of substituting wheat flour with quinoa flour is a bread with higher nutritional value. Protein content was higher in the SQB-Tg bread than in the control bread, but it was higher in both treatments compared to other studies such as that of Hussein *et al.* (2012), who reported a protein content of 9.56 % in sorghum cakes. Adding dairy or egg ingredients to bread is easy and is used to increase its protein content (Storck *et al.*, 2013). The bread used in the present study contained egg as an ingredient, which probably increased its protein content. Transglutaminase catalyzes acyl-transfer reactions that produce cross-links between γ -carboxyamides of peptide or protein-bound glutamine and a primary amine; this improved the structure of gluten-free breads, which remained stable even during the baking process (Jaros *et al.*, 2006). The average protein content of both treatments (13 and 14%) indicates that the combination of sorghum and quinoa yields a high protein product.

The addition of MTG also has an effect on the functional properties of proteins (solubility, foaming, emulsification and gelation), improving the texture and volume of food products (Kieliszek and Misiewicz, 2014). Fat content decreased from 14.14 to 10.38% with the addition of MTG. The high fat content found in the present study could be attributed to the presence of unsaturated fatty

alforfón y las galletas de maíz se atribuyó al menor contenido proteico de estas harinas. Angioloni y Collar (2012) prepararon pan rebanado en el que se sustituyó la harina de trigo con 40% de harina de sorgo; el contenido de humedad fue 33.6%. El mayor contenido de humedad de este tipo de pan ayuda a preservar sus propiedades sensoriales. En cuanto al contenido de ceniza, ambos productos fueron superiores al 2%. Vale la pena señalar que el contenido mineral de la variedad RB de sorgo fue de 0,3%. Olaoye *et al.* (2006) prepararon pan y pan 100% de trigo con harina de soya al 15% y encontraron un contenido de ceniza de 0,64 y 1,17%, respectivamente; las semillas de soya son reconocidas por su alto contenido mineral. Sin embargo, estos valores fueron más bajos que los encontrados en el presente estudio. Los productos libres de gluten son deficientes en calcio, magnesio y hierro, pero la quinoa es rica en estos minerales; por lo tanto, el resultado de sustituir la harina de trigo con harina de quinoa es un pan con mayor valor nutricional. El contenido de proteína fue más alto en el pan SQB-Tg que en el pan testigo, pero fue mayor en ambos tratamientos en comparación con otros estudios como el de Hussein *et al.* (2012), quienes reportaron un contenido de proteína de 9,56% en tortas de sorgo. Agregar los ingredientes lácteos o de huevo al pan es fácil y se usa para aumentar su contenido de proteína (Storck *et al.*, 2013). El pan utilizado en el presente estudio contenía huevos como ingrediente, lo que probablemente incrementó su contenido de proteína.

acids in quinoa (linoleic and oleic acids), which represent 70% of the fat contained in the grain (Vega-Galvez *et al.*, 2010). Del Castillo *et al.* (2009) reported a fat content of 5.5% in flour prepared with quinoa, cassava starch and corn. Regarding fiber content, the SQB-Tg bread had 16.04%, while the control bread had 13.09%; the difference was statically significant ($P \leq 0.05$). Quinoa and white sorghum are rich in soluble and insoluble fiber (7%); gluten-free products are deficient in dietary fiber, which is important due to its prebiotic properties and other health benefits; thus, it would be beneficial to supplement these products with nutrient-rich flours such as quinoa flour. MTG is capable of cross-linking glutamine residues and water molecules, which improves the stability of macromolecules, not only of proteins (Jaros *et al.*, 2006). This may be due to the higher fiber content in the bread supplemented with enzyme; in this study, both doughs were subjected to the same baking process, but in the bread supplemented with enzyme the macromolecules were more stable and the fiber content was better preserved after baking. Table 1 shows the average carbohydrate content of all breads; the SQB-Tg bread had the highest value. Hussein *et al.* (2012) analyzed bread made of 100% sorghum flour, and reported a carbohydrate content of 80.13%, higher than that found in the present study. Carbohydrate molecules are the main component of all kinds of grains.

Texture analysis

Gluten-free products pose technological challenges for the

La transglutaminasa cataliza reacciones de transferencia de acilo que producen enlaces cruzados entre γ -carboxiamida del péptido o glutamina unida a proteína y una amina primaria; esto mejoró la estructura de los panes sin gluten, que permanecieron estables incluso durante el proceso de cocción (Jaros *et al.*, 2006). El contenido de proteína promedio de ambos tratamientos (13 y 14%) indicó que la combinación de sorgo y quinoa produjo un producto con alto contenido de proteína.

La adición de MTG también tuvo un efecto sobre las propiedades funcionales de las proteínas (solubilidad, formación de espuma, emulsificación y gelificación), mejorando la textura y el volumen de los productos alimenticios (Kieliszek y Misiewicz, 2014). El contenido de grasa disminuyó de 14,14 a 10,38% con la adición de MTG. El alto contenido de grasa encontrado en el presente estudio podría atribuirse a la presencia de ácidos grasos insaturados en la quinoa (ácidos linoleico y oleico), que representan el 70% de la grasa contenida en el grano (Vega-Galvez *et al.*, 2010). Del Castillo *et al.* (2009) reportaron un contenido de grasa de 5,5% en harina preparada con quinoa, almidón de yuca y maíz. En cuanto al contenido de fibra, el pan SQB-Tg tuvo 16,04%, mientras que el pan testigo tuvo 13,09%; la diferencia fue estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$). La quinoa y el sorgo blanco son ricos en fibra soluble e insoluble (7%); los productos sin gluten son deficientes en fibra dietética, la cual es importante debido a sus propiedades

food industry, since gluten provides viscoelastic properties that are crucial for the textural properties of bread and pasta. Table 3 shows the textural parameters of the breads studied here. The addition of the enzyme did not produce softer bread such as that reported by Ronda *et al.* (2009) in a study of a cake made of rice flour supplemented with MTG and xanthan gum. Renzetti *et al.* (2008) obtained hardness values of about 2664.5 gf in loaves made of sorghum flour supplemented with 0.1 U·g⁻¹ of MTG. This is an important parameter, since the greater the hardness, the shorter the bread's shelf life. Chewiness is determined by the gumminess and elasticity of the product; it represents the period of time necessary to chew a food at a constant rate. This parameter showed no significant differences between treatments (P≤0.05). Onyango *et al.* (2010) reported values of 973.10 gf using 0.5% of transglutaminase in a bread with cassava flour and sorghum; the addition of the enzyme increased the gumminess, which refers to the amount of movement that the food can withstand before disintegrating. Gómez *et al.* (2007) reported values

prebióticas y otros beneficios para la salud; por lo tanto, sería beneficioso complementar estos productos con harinas ricas en nutrientes como la harina de quínoa. El MTG es capaz de entrecruzar residuos de glutamina y moléculas de agua, lo que mejora la estabilidad de las macromoléculas, no solo de proteínas (Jaros *et al.*, 2006). Esto podría deberse al mayor contenido de fibra en el pan suplementado con enzima; en este estudio, ambas masas se sometieron al mismo proceso de cocción, pero en el pan suplementado con enzima las macromoléculas fueron más estables y el contenido de fibra se mejoró después de la cocción. El cuadro 1 muestra el contenido promedio de carbohidratos de todos los panes; el pan SQB-Tg tuvo el valor más alto. Hussein *et al.* (2012) analizaron pan hecho 100% con harina de sorgo y señalaron un contenido de carbohidratos de 80,13%, más alto que el encontrado en el presente estudio. Las moléculas de carbohidratos son el componente principal de todo tipo de granos.

Análisis de textura

Los productos libres de gluten plantean desafíos tecnológicos para la industria alimentaria, ya que

Table 3. Textural properties of breads.

Tabla 3. Propiedades de textura de los panes.

Treatment	Hardness (gf)	Chewiness (gf)	Gumminess (gf)	Resilience	Cohesiveness
Control	3508.56±129.45 ^a	919.80±15.12 ^a	574.28±17.56 ^b	1.59±0.01 ^a	0.21±0.01 ^b
SQB-Tg	2795.51±812.34 ^b	971.56±65.90 ^a	951.81±106.43 ^a	1.13±0.00 ^b	0.28±0.01 ^a

^{a,b} Different letters in the same column indicate significant differences (P≤0.05). Average values of five repetitions and standard deviation.

of 195-357 gf in yellow layer cakes supplemented with different hydrocolloids (alginate, carrageenan, guar or pectin, among others); the values were higher in cakes supplemented with hydrocolloids, compared to the control. Wu and Corke (2005) reported an increase in the gumminess of wheat flour noodles with increasing concentrations of MTG, which improves the firmness and elasticity of the protein network. Cohesiveness was also higher in the SQB-Tg bread; this parameter represents the limit to which food can be deformed before breaking. Onyango *et al.* (2010) found values of 0.58 in gluten-free sorghum bread with cassava supplemented with 0.5% of MTG. These textural properties are reflected in greater palatability of the finished product.

Conclusion

Sorghum is a cereal with excellent nutritional properties, comparable to wheat, while quinoa is recognized for its high protein content and for containing ten essential amino acids; both are excellent foods. Bread made of sorghum flour enriched with quinoa is a gluten-free product that can be consumed by the general population. The mixture of sorghum and quinoa flour resulted in a bakery product with high protein (13-14.5%) and fiber (13-16%) content. Regarding the texture profile, the addition of MTG increased the values of chewiness, gumminess and cohesiveness, while decreasing hardness. In conclusion, the addition of transglutaminase had positive

el gluten proporciona propiedades viscoelásticas que son cruciales para las propiedades de textura del pan y la pasta. El cuadro 3 muestra los parámetros de textura de los panes estudiados aquí. La adición de la enzima no produjo pan más blando como el reportado por Ronda *et al.* (2009) en un estudio de una torta hecha de harina de arroz suplementada con MTG y goma de xantano. Renzetti *et al.* (2008) obtuvieron valores de dureza de aproximadamente 2664,5 gf en panes hechos con harina de sorgo suplementada con 0,1 U g⁻¹ de MTG. Este es un parámetro importante, ya que cuanto mayor es la dureza, más corta es la vida útil del pan. La masticabilidad está determinada por la gomosidad y elasticidad del producto; representa el período de tiempo necesario para masticar un alimento a un ritmo constante. Este parámetro no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$). Onyango *et al.* (2010) informaron valores de 973,10 gf usando 0,5% de transglutaminasa en un pan con harina de yuca y sorgo; la adición de la enzima aumentó la gomosidad, que se refiere a la cantidad de movimiento que el alimento podría soportar antes de desintegrarse. Gómez *et al.* (2007) reportaron valores de 195 a 357 gf en tortas de capa amarilla suplementadas con diferentes hidrocoloides (alginato, carragenano, guaran o pectina, entre otros); los valores fueron más altos en tortas suplementadas con hidrocoloides, en comparación con el testigo. Wu y Corke (2005) señalaron un aumento en la gomosidad de los fideos de harina de trigo con

effects on the nutritional composition and textural properties of bread made of quinoa-sorghum flour.

Acknowledgements

The present study was carried out with resources granted by the Ministry of Public Education of Mexico, in the 2015 Call for Support to the Incorporation of new PTC (UAT-PTC-169).

Literature cited

American Association of Cereal chemists (AACC). 1995. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 9th ed. St Paul. AACC.

Altındağ, G., M. Certel, F. Erem and Ü.İ. Konak. 2015. Quality characteristics of gluten-free cookies made of buckwheat, corn, and rice flour with/without transglutaminase. *Food Sci. Technol. Int.* 21(3):213-220.

Angioloni, A. and C. Collar. 2012. Effects of pressure treatment of hydrated oat, finger millet and sorghum flours on the quality and nutritional properties of composite wheat breads. *J. Cereal Sci.* 56(3):713-719.

Del Castillo, V., G. Lescano y M. Armada. 2009. Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones. *Arch. Latinoam. Nutr.* 59(3):332-336.

Demirkesen, I., S. Kelkar, O.H. Campanella, G. Sumnu, S. Sahin, and M. Okos. 2014. Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography. *Food Hydrocoll.* 36:37-44.

Gómez, J.C., G.S. Selvaggio, M. Viola, B. Pizarro, G. la Motta and S. de Barrio. 2001. Prevalence of celiac disease in Argentina: screening of an adult population in the La Plata area. *Am. J. Gastroenterol.* 96:2700-2704.

concentraciones crecientes de MTG, lo que mejoró la firmeza y la elasticidad de la red de proteínas. La cohesión también fue mayor en el pan SQB-Tg; este parámetro representó el límite al que se podría deformar la comida antes de romperla. Onyango *et al.* (2010) encontraron valores de 0,58 en pan de sorgo sin gluten con yuca suplementado con 0,5% de MTG. Estas propiedades de textura se reflejan en una mayor palatabilidad del producto terminado.

Conclusion

El sorgo es un cereal con excelentes propiedades nutricionales, comparable al trigo, mientras que la quínoa es reconocida por su alto contenido de proteínas y por contener 10 aminoácidos esenciales; ambos son excelentes alimentos. El pan elaborado con harina de sorgo enriquecida con quínoa es un producto libre de gluten que puede ser consumido por la población en general. La mezcla de harina de sorgo y quínoa resultó en un producto de panadería con alto contenido de proteína (13 a 14,5%) y fibra (13 a 16%). En cuanto al perfil de textura, la adición de MTG aumentó los valores de masticabilidad, gomosidad y cohesión, a la vez que disminuyó la dureza. Por lo que, la adición de transglutaminasa tuvo efectos positivos sobre la composición nutricional y las propiedades de textura del pan elaborado con harina de quínoa-sorgo.

Gómez, M., F. Ronda, P.A. Caballero, C.A. Blanco and C.M. Rosell. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocoll.* 21(2):167-173.

Houben, A., A. Höchstötter and T. Becker. 2012. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *Eur. Food Res. Technol.* 235(2):195-208.

Hussein, A.M., N.A. Hegazy and T. Ibrahim. 2012. Production and evaluation of gluten-free cakes. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 6 (12):482-491.

Jaros, D., C. Partschefeld, T. Henle and H. Rohm. 2006. Transglutaminase in dairy products: chemistry, physics, applications. *J. Texture Stud.* 37(2):113-155.

Kieliszek, M. and A. Misiewicz. 2014. Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. *Folia Microbiol.* 59(3):241-250.

Onyango, C., C. Mutungi, G. Unbehend and M.G. Lindhauer. 2010. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. *J. Food Eng.* 97(4):465-470.

Olaoye, O.A., A.A. Onilude and O.A. Idowu. 2006. Quality characteristics of bread produced from composite flours of wheat, plantain and soybeans. *Afr. J. Biotechnol.* 5(11):1102-1110.

Osungbaro, T.O., D. Jimoh and E. Osundeyi. 2010. Functional and pasting properties of composite Cassava-Sorghum flour meals. *ABJNA.* 1(4):715-720.

Renzetti, S., F. Dal Bello and E.K. Arendt. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.* 48:33-45.

Agradecimiento

El presente estudio se llevó a cabo con recursos otorgados por el Ministerio de Educación Pública de México, en la Convocatoria de Apoyo a la Incorporación de nuevos PTC (UAT-PTC-169).

Fin de la versión Español

Ronda, F., M. Gómez, P.A. Caballero, P.A. Oliete and C.A. Blanco. 2009. Improvement of quality of gluten-free layer cakes. *Food Sci. Technol. Int.* 15(2):193-202.

Storck, C.R., E. da Rosa Zavareze, M.A. Gularte, M.C. Elias, C.M. Rosell and A.R.G. Dias. 2013. Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *LWT-Food Sci. Technol.* 53(1):346-354.

Vega-Gálvez, A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente and E.A. Martínez. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *J. Sci. Food Agric.* 90(15):2541-2547.

Villanueva-Flores, R. 2015. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ing. Industrial* 32:231-246.

Wu, J. and H. Corke. 2005. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase. *J. Sci. Food Agric.* 85(15):2587-2594.