

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

APLICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE “PUFFING” PARA LA OBTENCIÓN DE APERITIVOS SIN GLUTEN A PARTIR DE CEREALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO: BERNAT PERIS FUERTES

TUTORA ACADEMICA: NOELIA BETORET VALLS
COTUTORA: LUCÍA SEGUÍ GIL

Curso Académico: 2015-2016

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2016

APLICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE “PUFFING” PARA LA OBTENCIÓN DE APERITIVOS SIN GLUTEN A PARTIR DE CEREALES

Bernat Peris Fuertes, Noelia Betoret Valls¹, Lucía Seguí Gil¹.

RESUMEN

Actualmente existe una creciente demanda por los alimentos libres de gluten, debido al conocimiento de que una mayor proporción de la población sufre de celiaquía. En este sentido, los cereales libres de gluten como el arroz integral, amaranto, maíz, mijo, quinoa y trigo sarraceno, suelen consumirse para el desayuno, entre comidas o para incluirlos en otras recetas, siendo un alimento básico en la dieta de personas con intolerancia al gluten.

Para la obtención de aperitivos a partir de los cereales mencionados, y con la finalidad de reducir el contenido en grasa, se aplica el método de “*puffing*” o hinchamiento. Este método se fundamenta en el paso instantáneo de una alta presión a una baja, obteniendo como resultado la expansión de los granos y permitiendo que las semillas de los diferentes cereales sean comestibles. La operación de hinchamiento se evaluó a través del volumen expandido de los granos tras la operación, así como de su capacidad de absorción de agua y del rendimiento de la línea.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la operación de hinchamiento aumenta el volumen significativamente, reduciendo a la vez el peso de la muestra. Además la capacidad de absorción de agua aumenta tras el proceso, por lo que podrían utilizarse para reducir el endurecimiento de determinados alimentos. Por otro lado, se ha constatado que se obtienen altos rendimientos tanto en el hinchamiento como en la línea. Por todo lo anterior, se recomienda la operación de hinchamiento para la obtención de aperitivos alimentarios.

PALABRAS CLAVE: Puffing, aperitivos sin gluten, cereales, volumen

RESUM

Actualment hi ha una creixent demanda pels aliments lliures de gluten, a causa del coneixement que una major proporció de la població pateix de celiaquia. En aquest sentit, els cereals lliures de gluten com l'arròs integral, amarant, dacsà, mill, quinoa i fajol, solen consumir per esmorzar, entre

¹Instituto Universitario de Ingeniería de los Alimentos para el Desarrollo (IUIAD). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022. Valencia.

menjades o per incloure'ls en altres receptes, sent un aliment bàsic en la dieta de persones amb intolerància al gluten.

Per a l'obtenció d'aperitius a partir dels cereals esmentats, i amb la finalitat de reduir el contingut en greix, s'aplica el mètode de “*puffing*” o inflament. Aquest mètode es fonamenta en el pas instantani d'una alta pressió a una baixa, obtenint com a resultat l'expansió dels grans i permetent que les llavors dels diferents cereals siguin comestibles. L'operació d'inflament es va avaluar mitjançant el volum expandit dels grans després de l'operació, així com de la seva capacitat d'absorció d'aigua i del rendiment de la línia.

Els resultats obtinguts posen de manifest que l'operació d'inflament augmenta el volum significativament, reduint alhora el pes de la mostra. A més la capacitat d'absorció d'aigua augmenta després del procés, de manera que podrien utilitzar-se per reduir l'enduriment de determinats aliments. D'altra banda, s'ha constatat que s'obtenen alts rendiments tant en l'inflament com en la línia. Per tot l'anterior, es recomana l'operació d'inflament per a l'obtenció d'aperitius alimentaris.

PARAULES CLAU: Puffing, aperitius sense gluten, cereals, volum

ABSTRACT

Currently, there is an increasing demand for gluten-free foods, due to the knowledge that a greater proportion of the population suffers from celiac disease. In this sense, free snacks gluten like brown rice, amaranth, corn, millet, quinoa and buckwheat, are often eaten for breakfast, between meals or for inclusion in other recipes, being a reference in the diet of people with gluten intolerance.

To obtain snacks from the above grains and in order to reduce the fat content, the method applies is puffing. This method is based on the instantaneous transition from a high pressure to low, resulting in the expansion of grains and allowing the seeds of different cereals are suitable for eating. Puffing operation was evaluated through the expanded volume of the grains after the operation and their water absorption capacity and performance of the line.

The results obtained show the operation of puffing increases significantly volume, while reducing the weight of the sample. Furthermore the water absorption capacity increases after the process, so could be used to reduce caking of certain foods. On the other hand, it has been found that high yields are obtained in both the puffing and the line. Thanks all of this, puffing operation to get food snacks is recommended.

KEY WORDS: Puffing, gluten free, snacks, cereals, volume

INTRODUCCIÓN

Determinados alimentos como el trigo, la cebada o el centeno, pueden contener componentes alérgenos que provoquen a personas susceptibles a los mismos, una intolerancia que desencadene la presencia de enfermedad. En este caso, estos alimentos contienen gluten, sustancia que actúa como componente alérgico, y que desencadena la enfermedad celíaca u otras. Se estima que estas enfermedades afectan alrededor del 1% de la población mundial y, a medida que evolucionan las nuevas tecnologías de diagnóstico, existen cada vez más personas diagnosticadas (Vici et al., 2016, Foschia et al., 2016). La enfermedad celíaca o celiacía consiste en una enteropatía crónica que provoca un desorden en el organismo, mediado por el sistema inmune. Así el gluten presente en los alimentos provoca una inflamación en el intestino delgado, causando atrofia en las mucosidades y dando como resultado la no asimilación del gluten (Kirchberg et al., 2016). Los síntomas clínicos que provoca esta enfermedad son diversos, entre las que se encuentran diarreas, trastornos del crecimiento, malnutrición, estreñimiento y fatiga (Kirchberg et al., 2016), siendo el único tratamiento eficaz el seguimiento de una dieta libre de gluten (Giménez-Bastida et al., 2015). En contraposición al seguimiento de esta dieta, la no ingestión de algunos alimentos que contienen gluten podría dar una deficiencia nutricional en cuanto a proteínas, fibra dietética, minerales y vitaminas, ya que estos alimentos tienen un alto valor nutricional (Saturni et al., 2010).

Así pues, las personas que padecen esta enfermedad tienen que alimentarse de productos libres de gluten. Además de éstos, familiares y amigos junto con un sector de la población, que evocado por el interés en la salud digestiva, control de peso, valor cultural y estilo de vida, también escogen seguir esta dieta (Sharma et al., 2015). En este sentido, la ausencia de gluten en los productos, tanto originales como procesados, representa un aspecto fundamental en la seguridad alimentaria de las dietas libres de gluten. Como resultado, este mercado ha alcanzado las cifras esperadas durante los años 2013 y 2015, creciendo un 136%, y alcanzando un valor de 10 billones de euros en ventas, esperando que siga creciendo hasta alcanzar en el 2018, en el peor de los escenarios posibles, un crecimiento adicional del 20% (Foschia et al., 2016).

Este hecho representa una importante oportunidad para la industria alimentaria (Giménez-Bastida et al., 2015), por lo que en la empresa en la que se desarrolló el presente trabajo, cuya actividad principal es la obtención de aperitivos o aperitivos “*ready-to-eat*” y está situada en Londres (RU), se decidió apostar desde un principio por este mercado objetivo. Más concretamente, se quisieron conseguir aperitivos libres de gluten a partir de cereales. En este contexto, y dentro de los denominados productos preparados para comer o “*ready-to-eat*”, aparecen los granos de cereal procesados, adecuados para el consumo humano sin la necesidad de someterlos a un proceso de cocción posterior (Mariotti et al., 2006).

En este mercado, el maíz ha sido uno de los cereales más utilizados durante la historia para la producción de estos productos. El popcorn está llegando a ser uno de los aperitivos preferidos para el consumo humano (Gökmen, 2004). A continuación le sigue el arroz integral inflado, y actualmente se están introduciendo otros no tan usados pero cuyo interés está aumentando en los últimos años por sus propiedades nutricionales, entre ellos destaca el amaranto, el mijo, la quinoa y el trigo sarraceno (Mariotti et al., 2006).

Todos estos granos se hallan libres de gluten, además de contener cada uno de ellos características o propiedades que los hacen interesantes para el uso en la industria del aperitivo. En este sentido, el maíz se considera uno de los principales cereales para llevar a cabo la obtención de aperitivo mediante la operación de “*puffing*” de ahora en adelante hinchamiento (Soylu y Tekkanat, 2007). Por lo que respecta al arroz integral se trata de un cereal que presenta alto contenido de antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales (Mir et al., 2016). Por otra parte, el amaranto es un pseudocereal rico en proteínas (17% aproximadamente), cuyo contenido en aminoácidos se encuentra cerca del óptimo requerido. El contenido en grasas es del 6 al 9%, siendo una fuente rica de escualeno (Castro-Giráldez et al., 2012). En cuanto al mijo, es un cereal rico en proteínas, fibra y minerales como el hierro, calcio, fósforo, además de un alto contenido en vitaminas (Gull et al., 2015). Por lo que respecta a la quinoa, este pseudocereal presenta un alto contenido nutricional en proteínas, entre el 12 y 16%, además de un contenido en grasas del 5 al 9%, cuyo perfil es alto en ácidos grasos insaturados y componentes bioactivos como los polifenoles, cuyo contenido es de 2.7-3.8 g/kg. (Kowalski et al., 2016). Por último el trigo sarraceno es un pseudocereal considerado fuente de fibra dietética y con un contenido en proteínas del 10 al 19%, de alto valor biológico ya que se corresponden en un 92.3% con las del huevo. Además contiene lisina en grandes cantidades, cuyo aminoácido es uno de los más limitados en los cereales, y también compuestos fenólicos (Dziadek et al., 2016). En la tabla 1, se muestran el contenido en gramos de los componentes mayoritarios.

Tabla 1. Información nutricional de los granos de cereales utilizados.

Producto	Carbohidratos (g/100g)	Almidón (g/100g)	Fibra (g/100g)	Proteínas (g/100g)	Grasas (g/100g)
Amaranta	65,7	57,3	6,7	13,6	7,0
Arroz integral	77,2	72,7	3,5	7,9	2,9
Maíz	19,0	15,0	2,7	3,2	1,2
Mijo	72,9	60,3	8,5	11,0	4,2
Quinoa	64,2	52,2	7,0	14,1	6,1
Trigo Sarraceno	71,5	57,1	10	13,2	3,4

Fuente: Datos facilitados por la empresa.

La incorporación de estos cereales a las dietas libres de gluten, permite disminuir las deficiencias nutricionales causadas por el seguimiento de la misma. Pero para el consumo de estos granos, se requiere de su procesado.

En este sentido, pueden aplicarse diversas tecnologías con las que conseguirlo, pero una de las más utilizadas para la obtención de aperitivos es el método de hinchamiento o “*puffing*” (Mariotti et al., 2006).

Este método se basa en someter el producto a un cambio brusco de presión, ocasionando que el agua que contiene el grano pase de estado líquido a vapor, rompiendo el tejido externo y originando la expansión de éste, y finalmente uniéndose el endospermo al pericarpio y embrión (Castro-Giráldez et al., 2012). El proceso se inicia introduciendo las semillas en la “*puffinggun*”, de ahora en adelante, equipo de hinchamiento. Una vez introducidas, se cierra la cámara y se calienta mediante el uso de una llama, haciendo que la presión aumente dentro de la cámara, hasta conseguir la presión requerida. Alcanzada la presión, se abre la tapa de la cámara, con lo que se consigue el descenso instantáneo de la presión y obteniendo el producto final, el cual se denomina *puff* o producto hinchado. Durante el proceso de calentamiento va aumentando la temperatura y en consecuencia la presión dentro de la cámara. Esto provoca que el agua que contiene el producto en su interior no pase a estado gas y se mantenga en estado líquido, pero una vez se abre la tapa, la alta presión que se había alcanzado, decae instantáneamente, provocando que el agua que contiene el producto en el interior pase a estado gas y se produzca el hinchamiento instantáneo de las semillas (Castro-Giráldez et al., 2012).



Figura 1. Equipo de hinchamiento.

Teniendo en cuenta el proceso anteriormente descrito, la calidad final del producto se evalúa por el volumen expandido que se alcanza en el producto final, el cual, en comparación con la materia prima originaria, así como el número total de semillas que no han sido expandidas (Soylu y Tekkanat, 2007). Pero estos parámetros de calidad se ven afectados por distintos factores los cuales harán que el producto final tenga las características adecuadas para el consumidor. En este sentido, la presión del proceso es uno de los parámetros críticos para la textura final, ya que una presión demasiado baja resultaría en productos que carecen de carácter crujiente,

en contra de una presión demasiado alta que rompería el producto final. Por lo que el producto, se deja el tiempo suficiente para que el vapor sobrecalentado permita obtener el grano en estado semi-plástico, liberándose al final del proceso la presión repentinamente, para obtener el grano inflado crujiente (Mishra, 2014). Además, el contenido en agua, genotipo, propiedades físicas de las semillas, la temperatura, la cosecha y las prácticas manuales que se lleven en el grano, afectarán de distinta manera a la obtención del producto final (Gökmen, 2004).

Estos productos suelen consumirse en el desayuno, entre comidas o bien se incluyen en otras recetas, siendo un alimento básico en la dieta sin gluten de personas susceptibles al mismo. Así pues, con el presente trabajo se pretende evaluar los cambios físicos que se dan a través de la técnica de hinchamiento, evaluando las principales características de calidad del producto final, tanto para su consumo directo como para posibles aplicaciones posteriores.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materia prima

Para llevar a cabo la investigación, se utilizaron como materia prima distintas variedades de semillas. Los 6 productos que se sometieron al proceso de hinchamiento fueron: amaranto (*Amaranthus caudatus*), arroz integral (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*), mijo (*Pennisetum glaucum*), quinoa (*Chenopodium quinoa Willdenow*) y trigo sarraceno o alforfón (*Fagopyrum esculentum*). Por lo que respecta a los países de origen de las distintas semillas fueron: el amaranto procedía de India, el arroz integral de Italia, el maíz de Sudáfrica, el mijo de EEUU, la quinoa de Perú y por último el alforfón de China.

Procedimiento de *puffing* o hinchamiento

Para llevar a cabo el proceso de hinchamiento, los valores de presión se decidieron en base a pruebas preliminares que se realizaron para cada una de las semillas. Estos valores se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de las variables del proceso.

Producto	Presión (Bars)	Tamiz Inferior (mm)	Tamiz Superior (mm)
Amaranto	130-140	1	3
Arroz Integral	100±10	4	12
Maíz	110±10	10	25
Mijo	80-90	2.5	12
Quinoa	130-140	2.5	5
Trigo Sarraceno	110±10	5	12

El proceso de hinchamiento se realizó mediante el empleo del equipo de hinchamiento, el cual se muestra en la figura 1. El equipo consiste en un cilindro horizontal rotatorio, el cual tiene una longitud y diámetro exterior de 35 cm y 32 cm, respectivamente. En cuanto al interior, donde se pone el producto, la longitud es de 30 cm y el diámetro de 26 cm. Este cilindro consta de una base y una tapa, cerrándose en el lado de la tapa mediante una tapa de hierro fundido para poder alcanzar la presión deseada. El otro lado se encuentra cerrado herméticamente por una base de hierro metálico.

Para llevar a cabo el proceso de hinchamiento, se introducen las semillas directamente en la equipo de hinchamiento sin adicionar ningún otro ingrediente, a excepción del amaranto, para el cual además se introduce un 9% de agua del total del producto. La adición de agua en este caso se realiza ya que, según estudios anteriores de la empresa, ésta ayuda a aumentar el volumen de expansión y a evitar que los granos se peguen y se quemen durante el proceso, debido a que se trata de un grano muy pequeño y no se comporta de la misma manera que los otros durante el proceso de hinchamiento. La variable que se controla durante el procesado es la presión, cuyos valores están indicados en la tabla 2 para cada uno de los granos. Alcanzada la presión dentro de la máquina, se abre la tapa obteniendo el producto final hinchado.

Posteriormente, se lleva a cabo la tamización del producto mediante un tamiz vibratorio rotatorio (figura 2), separando las semillas que no han explotado o no han alcanzado el tamaño adecuado, del producto totalmente hinchado. La luz de paso de los diferentes tamices utilizados para cada uno de los cereales se muestra en la tabla 2. En esta se muestra tanto el tamaño del tamiza superior como el del inferior. Posteriormente al tamizado, el producto se empaqueta y se almacena.

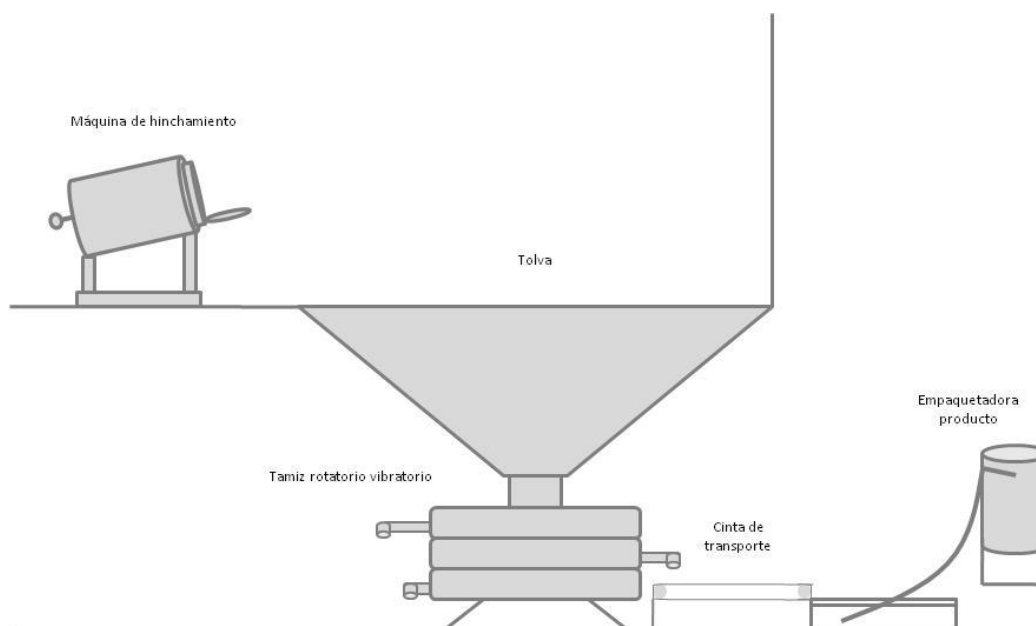


Figura 2. Esquema de la línea de hinchamiento.

Determinaciones experimentales

VOLUMEN EXPANDIDO

Para la determinación del volumen expandido, se siguieron las especificaciones aportadas por Mukhopadhyay et al. (2015), realizándose distintas pruebas relacionadas con el volumen de expansión del producto. Esta medida permite observar el cambio que se produce en el volumen, cuando se alcanza el producto final respecto del inicial.

Volumen expandido 1

Tiene en cuenta el volumen del producto tras el proceso de hinchamiento en el que se incluían las semillas que habían hinchado así como las que no lo habían hecho.

$$VE1 = \frac{\text{Volumen final de las semillas tras hinchamiento (mL)}}{\text{Volumen inicial de las semillas (mL)}} \quad (1)$$

Volumen expandido 2

Para esta medida solo se tienen en cuenta las semillas que habían hinchado, excluyendo de esta medida las semillas que no habían hinchado.

$$VE2 = \frac{\text{Volumen total semillas hinchadas (mL)}}{\text{Volumen inicial de las semillas (mL)}} \quad (2)$$

Volumen expandido 3

Esta medida tiene en cuenta solo las semillas que habían hinchado, al igual que en VE2, en comparación del volumen inicial de las semillas que había hinchado.

$$VE3 = \frac{\text{Volumen total semillas hinchadas (mL)}}{\text{Rendimiento hinchamiento} \cdot \text{Volumen inicial de las semillas (mL)}} \quad (3)$$

TAMAÑO DE HINCHAMIENTO

Para calcular el tamaño de las semillas una vez hinchadas, se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de las semillas} = \frac{\text{Volumen total de semillas hinchadas (mL)}}{\text{Nº de semil las hinchadas}} \quad (4)$$

MASA DE LOS GRANOS

Se pesaron mil unidades sin procesar y hinchados en una balanza técnica de precisión de 0,001 g (TM1600, Gibertini, Milano, Italy). Los resultados realizados por triplicado, son expresados en gramos (Mariotti et al., 2006).

HUMEDAD

La humedad de las muestras se determinó tanto para las semillas como para el producto final. Se realizó mediante el método estándar oficial de la AACC 44-15 (AACC 2005), el cual consiste en método gravimétrico consistente en medir la pérdida de peso que hay en alrededor de 5 g de muestra, al ser sometido a calentamiento en estufa a $130\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en porcentaje.

DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de los granos y el producto final se analizó como define Mariotti et al. (2006), calculando el volumen de una muestra de peso conocido. En este caso, las muestras se introducen en un cilindro graduado, llenándolo hasta los 500 mL. Los resultados se expresan como g/L.

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA

La capacidad de absorción de agua se calcula como detalla Mariotti et al. (2006). Se añadieron 200 mL de agua destilada a 10 g de muestra, dejándose a temperatura ambiente ($25 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 20 h para los granos (se realizaron medidas a los 30 min, 120 min, 180 min, 360 min y 1200 min), y 1 h para el producto final (se realizaron medidas a los 30 s, 1,5 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 30 min y 60 min). Transcurrido el tiempo, se escurrieron mediante un tamiz de 1 mm durante 1,5 minutos y a continuación se pesaron. En esta medida, se asume que toda la diferencia de peso se debe a ganancia de agua, no habiendo pérdida de sólidos solubles del cereal.

$$CA = \frac{W_{gh} - W_g}{W_g} \cdot 100 \quad (6)$$

donde: w_{gh} = masa granos hidratados; w_g = masa granos originales.

RENDIMIENTO DE HINCHAMIENTO

Según Singh y Srivastava (1993), el rendimiento de hinchamiento (RH, %), proporciona el conocimiento de qué porcentaje de semillas han hinchado, y se calculó de la siguiente manera:

$$RH = \frac{N^{\circ} \text{ final de semillas hinchadas}}{N^{\circ} \text{ total de semillas}} \cdot 100 \quad (7)$$

RENDIMIENTO DE LA LÍNEA

El rendimiento de la línea o productividad, se calculó a partir del producto que se perdía tanto en el momento del hinchamiento, como en el tamizador rotatorio vibratorio. Calculando así cuantos kg de producto se obtenía al completar todo el proceso.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con todos los datos obtenidos, se llevó a cabo un análisis con el programa StatgraphicsCenturion XVI.II. Se realizó análisis de la varianza (ANOVA) simple para evaluar las diferencias entre los productos elaborados, con un nivel de confianza del 95%. Todas las medidas se llevaron a cabo por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las muestras

La tabla 3 muestra el volumen promedio de semilla y *puff*, además de la densidad aparente para cada uno de los cereales. Para todos los casos, se observa que a la vez que aumentan su volumen, disminuyen su densidad aparente. Esto se debe a que el proceso de hinchamiento permite expandir el grano, creando cámaras de aire en el interior de este, por lo que el volumen de cada uno de ellos será mayor respecto al de la semilla.

Tabla 3. Parámetros volumen y densidad aparente de los distintos granos estudiados, antes y después del proceso de hinchamiento. Media \pm desviación estándar de 3 repeticiones.

Producto	Volumen (cm ³ /muestra)		Densidad Aparente (g/L)	
	Semilla	Puff	Semilla	Puff
Amaranto	0,000792 \pm 0,000011 ^a	0,0051 \pm 0,0002 ^c	913 \pm 16 ⁱ	129,8 \pm 1,5 ^d
Arroz Integral	0,0242 \pm 0,0003 ^e	0,161 \pm 0,005 ^g	826 \pm 3 ^{g,h}	121,84 \pm 4 ^{c,d}
Maíz	0,2207 \pm 0,0012 ^h	4,13 \pm 0,09 ^j	856 \pm 6 ^h	36,5 \pm 0,8 ^a
Mijo	0,0065 \pm 0,0003 ^d	0,062 \pm 0,004 ^c	780 \pm 80 ^f	75 \pm 2 ^{a,b}
Quinoa	0,00327 \pm 0,00012 ^b	0,0221 \pm 0,0010 ^c	739 \pm 8 ^e	123 \pm 7 ^{c,d}
Trigo Sarraceno	0,0307 \pm 0,0003 ^f	0,243 \pm 0,013 ⁱ	786 \pm 8 ^{f,g}	88 \pm 2 ^{b,c}

a,b,c... letras diferentes para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

En cuanto a la densidad aparente, los resultados revelan lo que se esperaba, ya que, tras el procesado del producto, la cantidad por dm³, es mucho menor que cuando se encuentra como semilla. Este resultado muestra que, a la hora de tener en cuenta el espacio de almacenamiento de la fábrica, el producto final ocupará más espacio que la materia prima.

Concretamente, para los granos de arroz integral, maíz, mijo y trigo sarraceno, la densidad se sitúa en torno a los 800 g/L de media, siendo el amaranto el que alcanza una cifra superior, mientras que la quinoa algo inferior. El intervalo en el que sitúan los granos se halla en torno a los 200 g/L. Sin embargo, cuando se someten al proceso de hinchamiento disminuye esta cifra, detectando únicamente una variación de 100 g/L alcanzándose una mayor uniformidad respecto a este valor entre todos los productos finales.

Asimismo, cabe señalar, que el maíz sufre una marcada disminución, mientras que la quinoa es el producto que menos acusa proporcionalmente el proceso de hinchamiento respecto a los demás granos.

Por otro lado, en la tabla 4 se muestra la masa de 1000 unidades, además de la humedad de los cereales estudiados y los distintos *puffs* obtenidos. Los resultados reflejan una reducción de la masa de los cereales durante el proceso de hinchamiento, debido a que la expansión conlleva una pérdida de agua, lo cual hace disminuir la masa del producto final. Además, existe una pérdida de las capas más externas de las semillas, contribuyendo así al menor peso del producto final.

Tabla 4. Parámetros de masa de 1000 unidades y humedad de los distintos granos estudiados, antes y después del proceso de hinchamiento. Media \pm desviación estándar de 3 repeticiones.

Producto	Masa de 1000 unidades (g)		Humedad (%)	
	Semilla	Puff	Semilla	Puff
Amaranto	0,72 \pm 0,02 ^a	0,67 \pm 0,02 ^a	8,8 \pm 0,5 ^c	9,29 \pm 0,02 ^d
Arroz Integral	20,1 \pm 0,3 ^d	19,56 \pm 0,05 ^d	10,4 \pm 0,2 ^e	6,46 \pm 0,09 ^a
Maíz	189 \pm 2 ^h	150,6 \pm 0,6 ^g	10,2 \pm 0,5 ^e	8,7 \pm 0,4 ^c
Mijo	5,1 \pm 0,4 ^c	4,67 \pm 0,15 ^c	13,28 \pm 0,04 ^g	7,68 \pm 0,07 ^b
Quinoa	2,41 \pm 0,06 ^b	2,20 \pm 0,04 ^b	11,71 \pm 0,05 ^f	7,64 \pm 0,07 ^b
Trigo Sarraceno	24,11 \pm 0,4 ^f	21,4 \pm 0,5 ^e	13,67 \pm 0,12 ^g	7,62 \pm 0,18 ^b

^{a,b,c...} letras diferentes para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

En esta misma tabla (tabla 4) se muestran la humedad del grano como del *puff*. Estos resultados confirman la menor humedad del *puff* con respecto a la semilla original, lo cual se debería, según se ha indicado anteriormente, a que el agua del producto al pasar de estado líquido a gaseoso, ayuda a la expansión de la semilla, resultando en un producto final con un menor contenido en agua. Este hecho no se constata con el amaranto, que como ya se ha mencionado, para la expansión del producto mediante el método de hinchamiento, es necesaria la incorporación de agua dentro de la máquina. En el caso del amaranto, los resultados reflejan una mayor humedad del *puff* frente a la semilla, lo que estaría indicando que al romper la presión dentro del equipo de hinchamiento, la cantidad de agua que pasa a estado gas es menor que la que habría absorbido el grano durante el proceso.

Volumen Expansión

Con la medida del volumen de expansión, se determinó la influencia que tenía el proceso de hinchamiento sobre cada una de las semillas. Además, se determinaron diferentes volúmenes, para observar si había influencia del rendimiento o de las semillas que no habían hinchado sobre el volumen final del producto, ya que en VE2 como muestra la ecuación 2, solo se tiene en cuenta el volumen de las semillas que han hinchado, y VE3 proporciona una

medida más exacta del volumen de expansión de los distintos cereales. Los resultados de los volúmenes de expansión se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de los volúmenes de expansión de los distintos granos estudiados. Media \pm desviación estándar de 3 repeticiones.

Producto	VE1	VE2	VE3
Amaranto	6,7 \pm 0,3 ^a	6,5 \pm 0,3 ^a	7,3 \pm 0,3 ^b
Arroz Integral	6,7 \pm 0,3 ^{a,b}	6,6 \pm 0,3 ^a	7,2 \pm 0,3 ^b
Maíz	18,8 \pm 0,5 ^g	18,7 \pm 0,5 ^g	19,16 \pm 0,5 ^g
Mijo	9,6 \pm 0,4 ^f	9,5 \pm 0,4 ^f	10,14 \pm 0,4 ^f
Quinoa	6,8 \pm 0,5 ^{a,b}	6,8 \pm 0,5 ^{a,b}	7,3 \pm 0,6 ^{b,c,d}
Trigo Sarraceno	7,9 \pm 0,5 ^{d,e}	7,9 \pm 0,5 ^{c,d,e}	8,16 \pm 0,5 ^e

^{a,b,c...} letras diferentes para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

En primer lugar, la semilla que mayor ve incrementado su volumen tras el proceso de hinchamiento es el maíz, alcanzando un valor de expansión próximo a 20 veces su volumen inicial. Esta duplica el incremento en el volumen de expansión del mijo, siguiente cereal que presenta mayor expansión. Tanto el maíz como el mijo, no presentan diferencias significativas entre sus diferentes volúmenes de expansión, dando a conocer que el volumen final no se veía influenciado tanto si se incluían como si no se incluían las semillas que habían explotado o, por otra parte, si se tenía en cuenta el rendimiento de hinchamiento. En ambos cereales se esperaba obtener estos resultados, ya que al ser los productos finales 20 veces su volumen inicial para el maíz y 10 para el mijo, junto con los altos valores de rendimiento que presenta como se verá más adelante, no habrá tanta diferencia entre los volúmenes.

Tras estos granos, se encuentra el trigo sarraceno, con valores alrededor de 8, el cual es significativamente diferente a todos los otros granos, y cuyos valores de expansión no son significativamente diferentes entre sí mismos.

Por último, se encuentran el amaranto, el arroz integral y la quinoa, los cuales presentan valor de expansión entre 6,6 y 7,3. Cada una de las medidas no es significativamente diferente entre los granos, así como para los distintos volúmenes. En cambio, tanto el amaranto como el arroz integral, el VE2 que no tiene en cuenta el volumen de las semillas que no han expandido, es significativamente diferente al VE3, el cual tiene en cuenta el rendimiento del proceso respecto al volumen de expansión de las semillas, permitiendo establecer que si el rendimiento de hinchamiento en estas dos semillas fuera más alto, podría ver incrementado su volumen significativamente.

Capacidad de absorción

La capacidad de absorción de agua, es un parámetro de calidad que indica la facilidad con la que el producto puede absorber agua, debiéndose tener en cuenta en la determinación de las condiciones de almacenamiento, así como en el uso del producto para aplicaciones posteriores. En este sentido, la cinética de capacidad de absorción de agua de los granos se muestra en la figura 3.

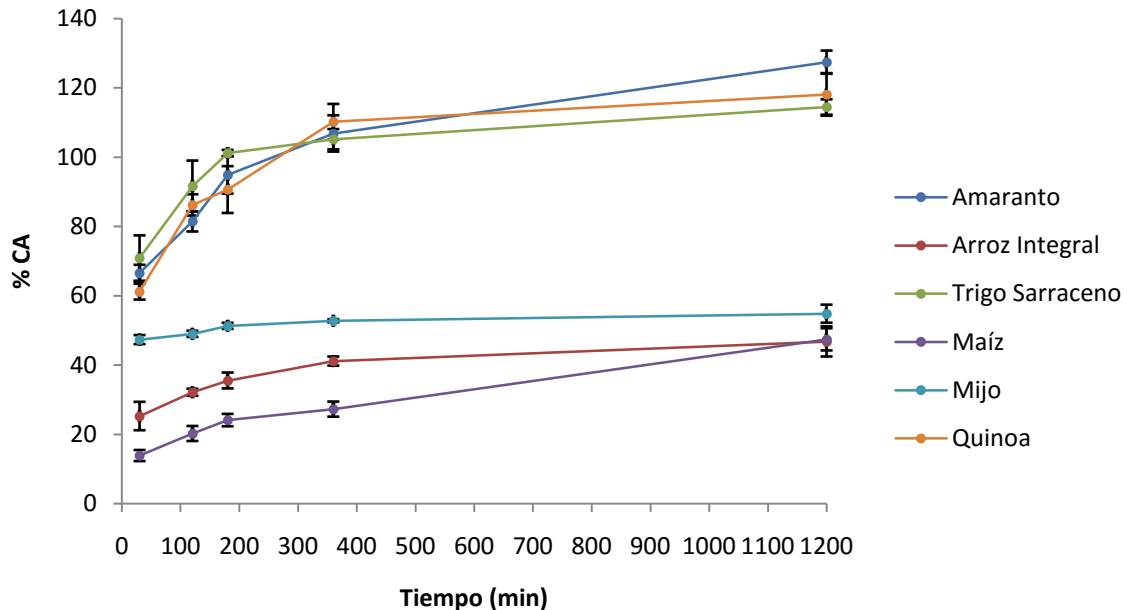


Figura 3. Capacidad absorción de agua (%CA) de las semillas.

Como se puede observar, estas semillas se pueden clasificar en dos grupos diferentes. Por un lado, se encuentra el amaranto, la quinoa y el trigo sarraceno, mientras que por otro lado se haya el mijo, el arroz integral y el maíz. El primer grupo mencionado, muestra una alta capacidad de absorción de agua, tanto en términos de ratio como de cantidad absorbida tras las 20 h (tabla 6). Estas tres semillas, muestran un comportamiento muy similar durante todo el análisis: en las 2 primeras horas, han absorbido aproximadamente el 90-100% del agua respecto a su peso inicial y durante las 2 h siguientes, la capacidad de absorción aumenta un 10%, permaneciendo en niveles similares tras las 20 h de la prueba, pero cuyos niveles poseen una diferencia significativa respecto a la medida anterior.

En cuanto al otro grupo de granos, se puede observar que el mijo absorbe en la primera media hora la mayor cantidad de agua, absorbiendo el 46% de agua, y permaneciendo estable en valores de 54% durante todo el desarrollo de la prueba, poniendo de manifiesto que el 90% del agua que se absorbe en los primeros 30 min. Por otra parte, el arroz integral alcanza a las 4 h toda el agua que puede absorber, mientras que el maíz es el grano cuya absorción de agua va aumentando más lentamente en las primeras horas, pero que tras las 20 h alcanza el mismo valor que el arroz integral.

Como aportó Mariotti et al. (2006), estos diferentes comportamientos se ven influenciados tanto por las particulares de la superficie de los granos como por la estructura del endospermo. Esto quiere decir que, el grano captará mayor o menor cantidad dependiendo de si su superficie es porosa como de si hay una elevada área de contacto entre el agua y la superficie. Además también se verá influenciado por la compactación del grano, es decir, si presenta mayor o menor número de cavidades.

En este sentido, para investigaciones posteriores, se recomendaría obtener imágenes por microscopio electrónico (SEM) de la superficie como del interior de los granos, para poder atribuir en qué medida influye cada una de estas características en la absorción de agua.

Tabla 6. Capacidad de absorción de agua de los granos de los distintos granos estudiados. Media \pm desviación estándar de 3 repeticiones.

Producto	CA 30 min	CA 120 min	CA 180 min	CA 360 min	CA 1200 min
Amaranto	67 \pm 2 ^{k,l}	81 \pm 3 ^m	95 \pm 5 ^o	107 \pm 5 ^{p,q}	127 \pm 3 ^t
Arroz Integral	25 \pm 4 ^{b,c}	32,1 \pm 1,0 ^{d,e}	36 \pm 2 ^{e,f}	41,1 \pm 1,3 ^{f,g}	47 \pm 4 ^{g,h}
Maíz	13,8 \pm 1,6 ^a	20 \pm 2 ^b	24,1 \pm 1,8 ^{b,c}	27 \pm 2 ^{c,d}	47 \pm 3 ^{h,i}
Mijo	47,3 \pm 1,3 ^{h,i}	48,9 \pm 0,9 ^{h,i,j}	51,3 \pm 0,9 ^{h,i,j}	52,7 \pm 0,5 ^{i,j}	55 \pm 2 ^j
Quinoa	61 \pm 2 ^k	86 \pm 3 ^{m,n}	91 \pm 6 ^{n,o}	110 \pm 5 ^{q,r}	118 \pm 6 ^s
Trigo Sarraceno	70 \pm 7 ^l	92 \pm 7 ^{n,o}	101,1 \pm 0,9 ^p	105 \pm 3 ^{p,q}	114 \pm 2 ^{r,s}

^{a,b,c...} letras diferentes para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

La cinética de absorción del *puff* se muestra en la figura 4. Esta figura muestra que la operación de hinchamiento cambia por completo la capacidad de absorción de agua de los distintos productos. Como aportó Mariotti et al. (2006), la operación de hinchamiento proporciona al producto una nueva organización de las capas más externas y una alta porosidad de la matriz, lo que dota al producto hinchado de la posibilidad de una rápida hidratación, así como una gran capacidad de absorción. Además tras la operación de hinchamiento, la superficie de los cereales carece de tegumentos, permitiendo que la absorción de agua sea mucho más rápida. Puede observarse que a los 30 s de contacto entre el producto hinchado y el agua, todos los productos han alcanzado valores entre 200% y 300%, los cuales no se han podido alcanzar con las semillas iniciales tras las 20 h de hidratación. Además, tras los 30 min, comparando ambas figuras, los valores de capacidad de absorción de los productos hinchados son 4 veces mayores que las de los respectivos granos.

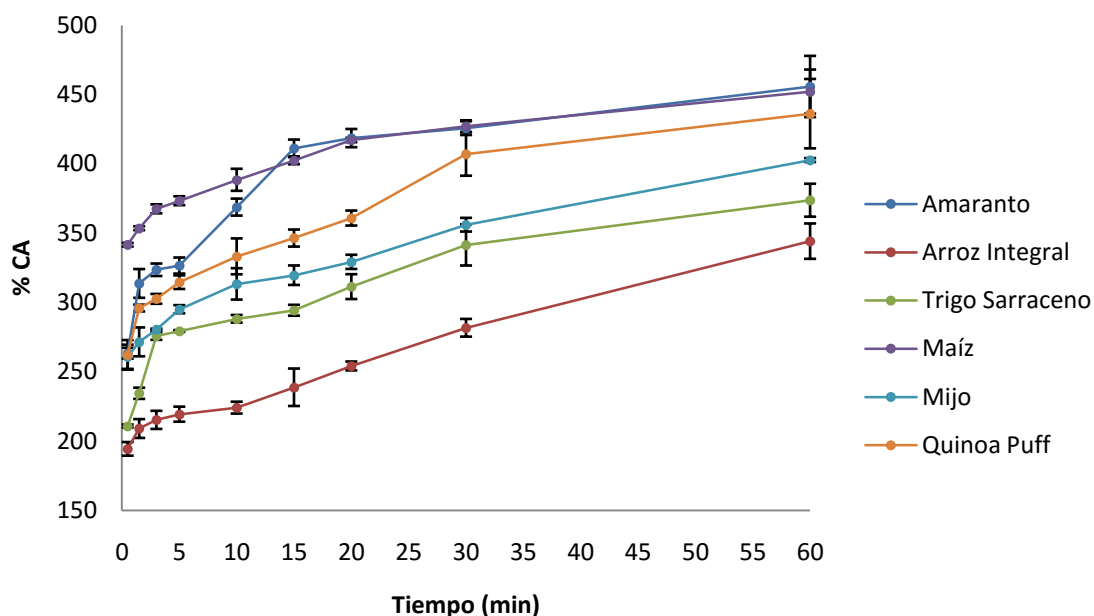


Figura 4. Capacidad absorción agua (%CA) de los productos hinchados.

En cuanto a los productos hinchados, el amaranto, y la quinoa son los productos que más agua son capaces de absorber, pudiendo absorber entre 400 y 500% de agua. En primer lugar, el maíz pasa de ser uno de los productos que menos capacidad de absorción posee, a ser uno de los que más absorbe tras el hinchamiento de la semilla, ocurriendo lo opuesto en el trigo sarraceno, cuya capacidad de absorción es una de las mayores como semilla, pero por el contrario, cuando se somete al proceso de hinchamiento es una de las que menor capacidad de absorción de agua posee.

Como también señala Mariotti et al. (2006), este comportamiento es debido a la existencia de cavidades de aire situados a lo largo del embrión dentro de los granos hinchados. Esta estructura produce un efecto similar al de una esponja, permitiendo absorber grandes cantidades de agua.

Por último, los cambios de presión y altas temperaturas que se alcanzan durante el proceso de hinchamiento generan niveles muy altos de almidón dañado. Como aportó Mariotti et al. (2006), el resultado del almidón dañado o gelatinizado tras el hinchamiento alcanza valores entre el 72 y 87% del almidón total. Esta consecuencia hace que el almidón pase a ser más higroscópico, por lo que la absorción de agua será mayor tras el hinchamiento.

Así pues, la absorción de agua se verá afectada tanto por las cámaras de aire creadas, como por las interacciones de los componentes internos del producto, los cuales harán que haya una mayor penetración de agua en el producto final.

Como resultado, estos productos pueden tener un efecto en el contenido en humedad y de la transferencia de humedad, controlando la migración de

agua en otros alimentos. En este sentido, el uso de estos productos como ingredientes contribuiría a ralentizar el fenómeno de endurecimiento, de modo que el producto estaría más suave durante un período de tiempo más largo.

Tabla 7. Resultados de la capacidad de absorción de los productos hinchados de los distintos granos estudiados. Media \pm desviación estándar de 3 repeticiones.

Producto	CA 30 s	CA 1 min 30 s	CA 3 min
Amaranto	263 \pm 4 ^{f,g,h}	313 \pm 10 ^{n,o,p}	323 \pm 4 ^{o,p,q}
Arroz Integral	194 \pm 5 ^a	209 \pm 7 ^b	215 \pm 7 ^{b,c}
Maíz	341,6 \pm 1,3 ^{r,s,t}	353,5 \pm 1,4 ^{t,u,w}	368 \pm 3 ^{x,y}
Mijo	260 \pm 9 ^{f,g}	271 \pm 10 ^{g,h,i}	280,3 \pm 0,7 ^{i,j}
Quinoa	262 \pm 11 ^{f,g,h}	296 \pm 2 ^{l,m}	303 \pm 4 ^{m,n}
Trigo Sarraceno	210,7 \pm 1,1 ^{b,c}	234 \pm 4 ^{d,e}	276 \pm 3 ^{h,i,j}
Producto	CA 5 min	CA 10 min	CA 15 min
Amaranto	326 \pm 6 ^{p,q}	369 \pm 6 ^{x,y}	411 \pm 6 ^{1,2}
Arroz Integral	219 \pm 5 ^{b,c}	224 \pm 4 ^{c,d}	239 \pm 14 ^e
Maíz	373 \pm 3 ^y	388 \pm 8 ^z	403 \pm 3 ¹
Mijo	295 \pm 3 ^{k,l,m}	313 \pm 11 ^{n,o,p}	320 \pm 7 ^{o,p,q}
Quinoa	314 \pm 5 ^{n,o,p}	333 \pm 13 ^{q,r,s}	346 \pm 6 ^{s,t,u}
Trigo Sarraceno	279,3 \pm 0,7 ^{i,j}	288 \pm 3 ^{j,k,l}	294 \pm 4 ^{k,l,m}
Producto	CA 20 min	CA 30 min	CA 60 min
Amaranto	418 \pm 7 ^{2,3}	426 \pm 5 ^{3,4}	456 \pm 22 ⁵
Arroz Integral	254 \pm 3 ^f	282 \pm 6 ^{i,j,k}	344 \pm 13 ^{s,t,u}
Maíz	417,1 \pm 1,6 ^{2,3}	427 \pm 4 ^{3,4}	452 \pm 16 ⁵
Mijo	329 \pm 5 ^{q,r}	356 \pm 5 ^{u,w,x}	402,7 \pm 1,3 ¹
Quinoa	360 \pm 5 ^{w,x,y}	407 \pm 16 ^{2,3}	436 \pm 25 ⁴
Trigo Sarraceno	311 \pm 9 ^{n,o}	342 \pm 15 ^{r,s,t}	374 \pm 12 ^y

a,b,c... letras diferentes para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

Rendimiento del proceso

Por último, en la tabla 8 se muestra el rendimiento de hinchamiento y el rendimiento de línea. Estos rendimientos son distintos, ya que el rendimiento de hinchamiento expresa las semillas que han hinchado tras aplicarse el proceso, y el rendimiento de línea expresa cuantos kg se obtienen de producto final en comparación con los kg de producto inicial, tras el proceso de hinchamiento y tras el paso de este producto hinchado por el tamiz rotatorio vibratorio.

En cuanto al rendimiento de hinchamiento, todos los valores están por encima del 90%, lo cual indica que prácticamente se obtiene como producto final la totalidad del producto inicial. Esto demuestra que la técnica empleada para la obtención de este producto es adecuada.

Por último, el rendimiento de línea muestra como ya se ha dicho antes, los kg finales obtenidos. En este rendimiento, se tiene que tener en cuenta el agua que se pierde tras el hinchamiento del producto, además del rendimiento de hinchamiento de cada uno de los productos. Teniendo estas variables en cuenta, se puede señalar que muy poco producto final no cumple las especificaciones de tamaño, alcanzando un elevado rendimiento.

Tabla 8. Resultados de los rendimientos de los distintos granos estudiados. Media \pm desviación estándar de 3 repeticiones.

Producto	Rendimiento Hinchamiento (%)	Rendimiento Línea (%)
Amaranta	90,10 \pm 1,01 ^a	82,6% \pm 0,3 ^a
Arroz Integral	92 \pm 2 ^b	86% \pm 2 ^{a,b,c}
Maíz	98 \pm 0,7 ^d	90,2% \pm 1,7 ^d
Mijo	93,9 \pm 0,2 ^c	88% \pm 4 ^{c,d}
Quinoa	92,4 \pm 0,9 ^b	85% \pm 3 ^{a,b}
Trigo Sarraceno	97,3 \pm 0,9 ^d	87% \pm 6 ^{b,c,d}

^{a,b,c...} letras diferentes para un mismo parámetro indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

CONCLUSIONES

Se ha demostrado la factibilidad de la aplicación de la operación de hinchamiento (*puffing*) a semillas de cereales sin gluten (amaranto, arroz integral, maíz, mijo, quinoa y trigo sarraceno) para la obtención de semillas hinchadas que puedan ser consumidas directamente como aperitivos o utilizadas como ingredientes de otros productos. Esto permite diversificar y aumentar la oferta de alimentos que enriquezcan las dietas sin gluten, previniendo posibles deficiencias nutricionales.

Los resultados obtenidos muestran que, en todos los casos la operación de hinchamiento va asociada a una pérdida de agua y a cambios estructurales que repercuten en un importante aumento del volumen de las semillas, produciendo en todos los casos una disminución de la densidad aparente. De forma particular el maíz y el mijo sufren aumentos de volumen mayores que el trigo sarraceno, amaranto, arroz integral y quinoa.

Las características estructurales de las semillas iniciales determina su capacidad de absorción de agua, pudiéndose distinguir dos grupos diferenciados: el maíz, el mijo y el arroz integral absorben menos cantidad de agua y a menor velocidad que el amaranto, la quinoa y el trigo sarraceno. Los cambios estructurales inducidos por la operación de hinchamiento resultan en una mayor homogeneidad de comportamiento durante el proceso de absorción de agua, si bien siguen existiendo diferencias significativas entre las semillas.

Cabe destacar que los rendimientos tanto de hinchamiento como de la línea, alcanzan valores muy altos, demostrándose la adecuación de las condiciones de operación establecidas.

REFERENCIAS

- Castro-Giráldez, M.; Fito, P.J.; Prieto, J.M.; Andrés, A. 2012. Study of the puffing process of amaranth seeds by dielectric spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 110 298–304.
- Dziadek K.; Kope A.; Pastucha E.; Piatkowska E.; Leszczynska T.; Pisulewska E.; Witkowicz R.; Francik R. 2016. Basic chemical composition and bioactive compounds content in selected cultivars of buckwheat whole seeds, dehulled seeds and hulls. *Journal of Cereal Science* 69 1-8.
- Foschia, M.; Horstmann, S.; Arendt E. K.; Zannini, E. 2016. Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. *International Journal of Food Microbiology* xxx xxx–xxx.
- Giménez-Bastida, J. A.; Pisku, M.; Zielinski, H. 2015. Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. *Trends in Food Science & Technology* 44 58-65.
- Gökmen, S. 2004. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. *Journal of Food Engineering* 65 357–362.
- Gull A.; Prasad K.; Kumar P. 2015. Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta. *Food Science and Technology* 63 470-474.
- Kirchberg, F. F.; Castillejo, G.; Vriezinga, S. L.; Werkstetter, K. J.; Korponay-Szabo, I. R.; Koletzko, B.; Uhl, O.; Polanco, I.; Mearin, M. L.; Auricchio, R.; Ribes-Koninckx, C.; Hellmuth, C. 2016. Investigating the early metabolic fingerprint of celiac disease - a prospective approach. *Journal of Autoimmunity* xxx 1-7.
- Kowalski R. J.; Medina-Meza I. G.; Thapa B. B.; Murphy D. M.; Ganjyal G. M. 2016. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science* 70 91-98.
- Mariotti, M.; Alamprese, C.; Pagani, M. A.; Lucisano, M. 2006. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *Journal of Cereal Science* 43.47–56.
- Mir S. A.; Don Bosco S. J.; Shah M. A.; Mir M. M. 2016. Effect of puffing on physical and antioxidant properties of brown rice. *Food Chemistry* 191 139–146.
- Mishra, G.; Joshib, D. C.; Pandaa, B. K. 2014. Popping and puffing of cereal grains: a review. *Journal of Grain Processing and Storage*. July-December, Vol 1 Issue 2 Pages 34-46.
- Mukhopadhyay, S. P.; Blanchard, C. L.; Wood, J. A.; Carr, B. T.; Saliba, A. J.; Prenzler, P. D. 2015. Evaluation of puffing quality of Australian desi chickpeas by different physical attributes. *LWT - Food Science and Technology* 64 959-965.
- Saturni, L.; Ferretti, G.; Bacchetti, T. 2010. The Gluten-Free Diet: Safety and Nutritional Quality. *Nutrients* 2, 16-34; doi:10.3390/nu2010016.
- Sharma, G. M.; Pereira, M., Williams, K. M., 2015. Gluten detection in foods available in the United States – A market survey. *Food Chemistry* 169 120–126.

Soylu S.; Tekkanat A. 2007. Interactions amongst kernel properties and expansion volume in various popcorn genotypes. *Journal of Food Engineering* 80 336–341.

Vici, G.; Belli, L.; Biondi, M.; Polzonetti, V. 2016. Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review. *Clinical Nutrition* xxx 1-6.