

## Desarrollo de una formulación optimizada de galletas para celíacos utilizando harina desgrasada de avellana chilena (*Gevuina avellana, Mol*) y harina de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*)

Mario Villarroel, Carolina Huiriqueo, Julia Hazbun, Diego Carrillo

Departamento de Ingeniería Química. Facultad. de Ingeniería, Unidad Tecnológica y Procesos. Centro Genómica Nutricional Agro-Acuícola. Departamento de Nutrición. Facultad de Medicina. Universidad de La Frontera. Temuco. Chile

**RESUMEN.** Se desarrolló una formulación optimizada de galletas en base a harina desgrasada de avellana chilena (HDA) y harina de quinoa (HQ) ambas exentas de gluten teniendo como objetivo incrementar las opciones nutricionales de la población celíaca, utilizando la metodología Taguchi. Se trabajó con cuatro factores de control HDA, HQ, bicarbonato de amonio (BA) y tiempo de horneado (TH) a tres niveles de trabajo cada uno para determinar sus efectos en la calidad sensorial (C.S) y señal ruido (S/R) del producto optimizado. Para determinar los niveles óptimos de trabajo de cada factor de control así como la influencia relativa de los efectos de cada parámetro se utilizó el arreglo ortogonal  $L_9 3^4$  con nueve puntos de diseño y dos replicaciones cada uno totalizando 18 puntos experimentales. Los resultados fueron analizados estadísticamente cuantificando la magnitud de diferencia de promedios por factor y nivel de trabajo y análisis de varianza (ANOVA) Las características de calidad a obtener fueron la máxima C.S y S/R del producto utilizando el concepto “mayor es mejor” según la metodología Taguchi. La combinación óptima de las variables independientes resultó ser HDA 24,3%, HQ 7,1%, BA 0,6% y TH 22 minutos. Entre las características químicas de la galleta optimizada destacaron su contenido de proteínas (8,9%) y fibra cruda (12,7%). Por su parte la concentración de prolaminas de 1,5 ppm fue inferior al límite máximo recomendado por CODEX (20 ppm) catalogándolo como un producto exento de gluten. En cuanto a la vida útil, se demostró que es un producto estable a la rancidez alcanzando una concentración de dienos conjugados de 3,6% bajo condiciones de almacenamiento de 45 días a una temperatura de 30°C. Finalmente se obtuvo un 100 % de aceptabilidad del producto por parte de los consumidores celíacos, distribuida en 75% para “Me agrada mucho” y 25% para “Me agrada”, además el 100 % de las personas celíacas encuestadas en este estudio manifestaron su intención de comprar este producto. **Palabras clave:** Galletas para celíacos, metodología Taguchi, optimización, harina desgrasada de avellana chilena, harina de quinoa, calidad sensorial.

**SUMMARY.** Development of a cookie formulation for celiac people using defatted Chilean hazel nut (*Gevuina avellana, Mol*) flour and quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) flour. The present investigation deals with the optimization of a cookie formulation based on defatted Chilean hazel nut flour (DCHF) and quinoa flour (QF) characterized for being gluten free resources, aimed to increment the nutritional options of the celiac population using Taguchi methodology. Four independent variables DCHF, QF, ammonium bicarbonated (AB) and baking time (BT) at three levels each one were considered in order to evaluate their effects on the sensory quality (SQ) and signal to noise ratio (S/N) of the optimized product. To determine the optimum levels and relative magnitude of the effects of each parameter  $L_9 3^4$  orthogonal array with nine design points and two replications each totalizing eighteen experimental runs was used. Results were analyzed using differences between the average values of each factor according to the working level and also analysis of variance (ANOVA). The desired characteristics were the maxima SQ and S/R responses, so Taguchi “the larger the better” performance formula was used. Optimum conditions turn out to be DCHF 24,3%; QF 7,1%; AB 0,6%; BT 22 minutes. Among the chemical characteristics highlighted components such as protein (8,9%) and fiber (12,7%). Regarding the prolamine content of 1,5 ppm its result was under the limit considered for CODEX (20 ppm) classifying this product as gluten free. On the other hand, the shelf life study expressed as conjugated dienes (CD) was 3,6% after 45 days at 30°C storage conditions proving this product is stable to rancidness. Hedonic test data shown 100% approval, splitted as follow 75% (like very much) and 25% (like). Finally 100% of celiac peoples inquired in this study were well disposed to buy this product. **Key words:** Cookie formulation for celiac, Taguchi methodology, optimization, defatted Chilean hazelnut flour, quinoa flour, sensory quality.

## INTRODUCCION

El desarrollo de nuevos productos está en estrecha relación con las necesidades y/o tendencias de consumo de la población, lo que trae como consecuencia que industrias de alimentos y centros de investigación deban responder con rapidez a los cambios que se detectan en el mercado consumidor (1). Sin duda en la formulación de nuevos productos destacan los alimentos funcionales destinados a personas con problemas cardiovasculares, hipertensión, diabetes, obesidad mórbida, intolerancia al gluten (2,3). En Estados Unidos estadísticas actuales (2008) relacionadas con el boom de estos alimentos reportan que tan solo en bebidas este incremento representa el 42% de ventas seguido por los cereales de desayuno, pastas y productos de panadería con un 21% y productos lácteos con un 17% de las ventas (4)

La enfermedad celiaca es una enteropatía crónica que causa mala absorción de los alimentos, debido a determinadas proteínas (prolaminas) que están presentes en algunos cereales como trigo, cebada, centeno, que resultan tóxicas para estos individuos, generando atrofia del intestino delgado.(5,6). Es la enfermedad crónica intestinal más frecuente en determinados países del globo principalmente en el continente europeo, a menudo denominada enteropatía por sensibilidad al gluten causada por una reacción a la gliadina. La estimación global promedio a nivel mundial es de 1:250 individuos. En Latinoamérica, hay estudios poblacionales en Argentina y Brasil donde se estiman prevalencias de 1:167 y 1:360 individuos. En Suecia es de 1 en 250 habitantes y 1 en 4000 en Dinamarca. En Chile se ha calculado una incidencia de 1 por cada 1500 a 2000 nacidos vivos (7).

Tomando en cuenta estos antecedentes se pretende en este estudio entregar una alternativa nutricional a este segmento de la población enfrentados a una realidad en que la oferta de productos orientados a satisfacer sus necesidades es muy reducida y poco variada. Entre los recursos naturales exentos de gluten figura la HDA, subproducto de la extracción de aceite de esta semilla oleaginosa., con una producción anual cercana a las 30.000 ton, rica en proteínas (19%) y fibra (16%) y de una amplia gama de posibilidades de aprovechamiento (8,9). Por su lado, la HQ es un cultivo muy interesante por su potencial nutricional, que se produce en varios países sudamericanos principalmente andinos destacando por su aporte en proteínas de buena calidad (10). Por ello, en esta investigación se pretende aplicando la metodología Taguchi desarrollar una galleta optimizada exenta de gluten utilizando como principales ingredientes HDA y HQ.

## MATERIALES Y METODO

### Materias primas

Harina desgrasada de avellana chilena y quinoa que se utilizaron como principales materias primas exentas de gluten en la elaboración de galletas para celíacos fueron donadas

por el Instituto de Agroindustrias de la Universidad de La Frontera. Ambos componentes fueron cernidos usando un sistema de matices ASTM seleccionando la fracción de tamaño de partícula de 0,18mm El resto de los ingredientes empleados en la formulación fueron: almidón de papa, azúcar, bicarbonato de amonio, bicarbonato de sodio, canela molida, chocolate granulada, esencia de limón, huevos, leche semidescremada, margarina, ralladura de limón y sorbato de potasio fueron adquiridos en el comercio local.

Tanto los ingredientes de la formulación de la galleta experimental como la selección de las variables de control y los niveles de trabajo se obtuvieron revisando la literatura especializada y experiencias preliminares en base a prototipos. El proceso de elaboración de las formulaciones experimentales estuvo de acuerdo a la combinación de los niveles de trabajo de los factores de control propuestos. La masa formada por la mezcla de los ingredientes fue colocada en moldes y horneadas según condiciones definidas en el diseño experimental a una temperatura de 250°C.

### Diseño experimental. Metodología Taguchi

El desarrollo de nuevos productos puede considerarse una estrategia de optimización teniendo como meta identificar variables de control significativas sean estos ingredientes de la formulación o variables de proceso, sus niveles de trabajo y la mejor combinación de éstos para obtener una óptima respuesta (11). En este contexto la metodología Taguchi (12) ha sido aplicada exitosamente en varios campos de la actividad industrial y de la investigación tanto de diseño de productos como de procesos. La finalidad de esta metodología se basa en abaratar costos, reducir el número de experimentos y simultáneamente disminuir los tiempos de los ensayos, sin descuidar la robustez de la respuesta que se consigue disminuyendo al mínimo su variabilidad (12,13).

Este método utiliza arreglos ortogonales que permite hacer una evaluación matemática e independiente del efecto de cada uno de los factores presentes en el diseño. En este caso particular se empleó el arreglo ortogonal  $L_9 3^4$ , cuatro variables independientes (HDA, HQ, bicarbonato de amonio (BA) y tiempo de horneado (TH) con tres niveles de trabajo c/u y 9 puntos de diseño (Tablas 1 y 2). Para determinar los efectos de las fuentes de variación no controladas cada ensayo experimental se replicó dos veces totalizando 18 corridas experimentales. La metodología Taguchi también permite obtener una estimación teórica de la respuesta calculando la magnitud de diferencias entre el promedio de los niveles óptimos de los factores que afectan significativamente la respuesta y el promedio total, los que se suman o restan al promedio total dependiendo si la respuesta es mayor es mejor o menor es mejor. Este resultado debe validarse experimentalmente preparando una muestra con los mejores niveles de trabajo de los factores de control. El resultado obtenido debe ser equivalente al teórico calculado.

TABLA 1  
Factores de control y niveles de trabajo (g/100g)

Factores de Control	Niveles		
	1	2	3
Harina desgrasada de avellana	17,5	21,3	24,3
Harina de quinoa	1,3	7,1	11,6
Bicarbonato de amonio	0,4	0,6	0,7
Tiempo de horneado (min)	15	22	30

TABLA 2  
Valores promedios de calidad sensorial y señal/ruido de las formulaciones experimentales

Punto de diseño	Factores de control				C.S.	S/R
	HDA	HQ	BA	TH		
1	1	1	1	1	3,29*	10,43**
2	1	2	2	2	3,78	11,60
3	1	3	3	3	3,68	11,37
4	2	1	2	3	3,90	11,87
5	2	2	3	1	3,60	11,19
6	2	3	1	2	3,76	11,57
7	3	1	3	2	3,93	11,96
8	3	2	1	3	3,84	11,74
9	3	3	2	1	3,67	11,35
			Promedio total		3,71	11,45

Promedio n = 2; \*\*log: Niveles de trabajo 1= menor; 2= Central; 3= Mayor

### Análisis sensorial

Para la determinación de la CS. se aplicó el test de puntaje compuesto (14) con una escala analítico descriptiva de cinco puntos donde 1= Mala a 5 = Muy buena. El panel sensorial estuvo compuesto por 12 jueces entrenados. Se programaron sesiones de trabajo bajo la modalidad de panel abierto, donde fueron definidas las características: Apariencia (A), Color (C), Textura (T), Sabor a avellana (SA) y Sabor dulce (SD) determinándose los porcentajes de influencia relativo de cada una, quedando la C.S expresada de la siguiente manera:

$$C.S = 0,21*A + 0,14*C + 0,14*T + 0,25*SA + 0,26*SD$$

### Caracterización química

La galleta optimizada (GO) para celíacos fue sometida a una caracterización química siendo comparada con una galleta comercial (GC) de acuerdo a los procedimientos estándares de la AOAC (15). Se cuantificó además la densidad calórica aplicando los coeficientes de Atwater. El contenido de gluten se determinó utilizando el método inmuno enzimático de doble anticuerpo ELISA sándwich R5 basado en un soporte de poliestireno recubierto con un anticuerpo monoclonal (AcM) que reconoce específicamente las

prolaminas. Tras una etapa de lavado para eliminar el material no adherido, se añade el mismo AcM esta vez conjugado con peroxidasa, que se unirá a la prolamina. Tras otro paso de lavado la presencia del AcM peroxidasa se producirá una reacción colorimétricamente medible (16).

### Características físicas

Muestras de GO y galletas control (GCo) sin HDA ni HQ fueron sometidas a análisis comparativos de color usando el método CIELAB que define un espacio de coordenadas rectangulares ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) (17). Muestras de cada tipo de galletas fueron colocadas en una cámara oscura provista de un sistema especial de iluminación (4 lámparas fluorescentes ubicadas en ángulo de 45° respecto a la muestra). La imagen se capturó con una cámara digital Cannon A-85. Finalmente la imagen se analizó con el software Adobe Photoshop, que permite determinar los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . En cuanto a las características peso, diámetro, altura, índice de extensibilidad, volumen y volumen específico se aplicaron procedimientos estándares de la AACC. (18).

### Ensayos de vida útil

Con el objetivo de determinar la estabilidad a procesos oxidativos de los lípidos, muestras de GO se almacenaron durante 45 días a una temperatura de 30°C. A intervalos de 7 días se extrajeron muestras para determinar la oxidación primaria midiendo la formación de dienos conjugados (DC) (19,20). Pesos de muestras entre 0.05 a 0.5g fueron diluidas con isooctano. Absorbancias a 233 nm de las muestras fueron contrastadas contra un blanco de isooctano. El valor de DC fue calculado relacionando el valor de la absorbancia con la dilución de la muestra diluida.

### Ensayo de aceptabilidad

Para determinar la aceptabilidad del producto desarrollado a nivel de consumidores se aplicó el test sensorial hedónico (14), a un grupo de 35 consumidores celíacos rango de edad 10 a 70 años procedentes de las ciudades de Temuco, Angol, Rancagua y Santiago de Chile, usando una escala sensorial de 5 puntos donde 1 = Me desagrada mucho, 5 = "Me agrada mucho".

### Análisis estadístico

Los resultados de C.S y S/R. fueron sometidos a un análisis estadístico de diferencia de magnitud de promedios por factor de control y nivel de trabajo. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el grado de significancia de los factores de control ( $p < 0.05$ ). Finalmente se determinó la ecuación teórica optimizada, con el propósito de encontrar los valores máximos de C.S y S/R del producto optimizado. Para la ejecución de los análisis se utilizó el software Qualitek-4. Para el análisis de las características físicas de las galletas se utilizó el test de student.

## RESULTADOS

### Optimización mediante metodología Taguchi

La Tabla 1 muestra los factores de control seleccionados para este estudio y sus respectivos niveles de trabajo mientras que la Tabla 2 presenta el arreglo ortogonal  $L_9,3^4$  con 9 corridas experimentales y los resultados de C.S y S/R. En la Tabla 3 se muestran los resultados correspondientes al análisis de diferencias de promedios por factor y nivel de trabajo para determinar el impacto sobre la magnitud de cambio de las respuestas, que permitieron identificar cuales variables inde-

pendientes producían efectos significativos, donde el factor tiempo produjo la mayor magnitud de respuestas. Por su lado, la Tabla 4 muestra los resultados de influencia de las cuatro variables independientes sobre la C.S y S/R tras la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) destacando el aporte superior al 50% del factor de control tiempo de horneado. Terminado el análisis estadístico y el test confirmatorio se logró identificar los mejores niveles de trabajo de las variables independientes con mayor impacto sobre la calidad sensorial información con los siguientes resultados: niveles 2 para HQ, BA y TH y nivel 3 para HD.

TABLA 3  
Magnitud de diferencia de promedios por factor y nivel de trabajo para calidad sensorial y señal/ruido

Factores de control	Niveles de trabajo C.S				Niveles de trabajo S/R			
	1	2	3	Delta	1	2	3	Delta
Harina desgrasada de avellana	3,58	3,75	3,81	0,17	11,13	11,54	11,68	0,41
Harina de quinoa	3,71	3,74	3,70	0,04	11,42	11,46	11,43	0,03
Bicarbonato amonio	3,63	3,78	3,74	0,15	11,25	11,61	11,51	0,36
Tiempo de horneo	3,52	3,82	3,80	0,30	10,99	11,71	11,66	0,72

TABLA 4  
Análisis de varianza de las fuentes de variación para las respuestas calidad sensorial y señal/ruido

Fuente de variación	g.l.	CS			R <sup>2</sup>	g.l.	S/R	
		Varianza	F	R <sup>2</sup>			Varianza	R <sup>2</sup>
Harina desgrasada de avellana	2	0,086	12,38*	25,98	2	0,49	29,15**	
Harina de quinoa	2	0,002	0,30	0,60	2	0,01	0,87	
Bicarbonato amonio	2	0,035	5,26*	10,73	2	0,21	12,32*	
Tiempo de horneo	2	0,175	25,20*	53,02	2	0,97	57,66*	

\* significativo  $p < 0.05$

### Análisis químico

La Tabla 5 muestra el análisis comparativo de la composición química proximal de la galleta optimizada para celíacos (GO) y una galleta comercial (GC), destacando los aportes de fibra y proteínas de la GO.

### Contenido de gluten

Para confirmar que las galletas pueden considerarse como un producto exento de gluten se determinó su contenido en el producto optimizado dando como resultado una concentración de 1,5 ppm. (16).

### Propiedades físicas

Resultados del análisis de color de GO y Gco mostraron que no se encontraron diferencias importantes entre los parámetros L (80 y 86) y a (6 y 7), excepto el parámetro b (25 y 45) donde la GO presentó un color dorado acentuado mien-

tras que la GCo presentó un color café pálido. En cuanto a las propiedades de peso, altura, diámetro, índice de extensibilidad, volumen y volumen específico (ver Tabla 6) en todos estos parámetros los resultados de la GO fueron menores a las GCo, excepto el índice de extensibilidad. Al aplicarse el test de student se demostró que todas las características eran significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

### Ensayos de vida útil

En este caso particular se trata de un producto que contiene ingredientes grasos que pueden sufrir reacciones de peroxidación (21) afectando su calidad y consumo. La cantidad inicial de dienos conjugados a tiempo cero fue de 0,44%, alcanzando finalmente un 3.63%, valor adecuado pues equivale a una concentración de peróxido cercano a 4 meq/kg materia grasa, valor inferior al límite máximo permitido por la reglamentación chilena (22).

TABLA 5  
Composición proximal de la galleta optimizada  
y galleta comercial

Parámetros	Galleta	
	Optimizada (g/100g)	Control (g/100g)
Humedad	10,14	10,65
Proteínas*	8,89	6,21
Cenizas	2,64	1,31
Grasa	12,01	12,03
Fibra cruda	12,68	8,67
Extracto no nitrogenado**	53,64	6,10
Contenido energético Kcal. /100 g]	358,2	377,5

\*: N x 6,25 \*\*: por diferencia

TABLA 6  
Características físicas de galleta optimizada y control

Parámetro	Galleta	
	Optimizada	Control
Peso (g)	2,67	2,85
Diámetro (cm)	6,60	7,10
Altura (cm)	0,66	1,61
Índice de extensibilidad	10,00	4,40
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2,26	6,37
Volumen específico (cm <sup>3</sup> /g)	0,85	2,24

### Ensayo de aceptabilidad

Finalizado el test de aceptabilidad de la galleta optimizada su resultado fue bastante bueno pues se obtuvo un 100% de aceptabilidad entre las respuestas “Me agrada mucho” y “Me agrada” con 72% y 28% respectivamente (Figura 1).

FIGURA 1  
Porcentaje relativo de aceptabilidad de la galleta optimizada para celíacos



### DISCUSION

La matriz ortogonal muestra los valores promedios de C.S. y S/R de las nueve formulaciones experimentales de galletas para celíacos, con dos repeticiones por punto de diseño. Se puede observar claramente que los mejores resultados de C.S. y S/R. se obtuvieron en los puntos de diseño 4 y 7, con respuestas promedios para C.S. de 3,92 y 11,92 para S/R, calificaciones equivalentes a “Buena” de acuerdo a la escala sensorial empleada, cuya descripción corresponde a apariencia atractiva, superficie uniforme, lisa, leve resistencia a la masticación, color dorado uniforme, sabor a avellana pronunciado fácilmente identificable y dulzor adecuado. En estos puntos de diseño los niveles de trabajo para las variables HDA, BA y TH fluctuaron entre el nivel medio y mayor, coincidiendo en el valor menor de HQ. Por su parte la peor combinación correspondió al punto de diseño 1, con una calificación promedio para C.S. de 3,29 y 10,43 para S/R, equivalentes a “Regular”, y cuya descripción corresponde a superficie rugosa, color café dorado tenue, medianamente resistente a la masticación, sabor a avellana aún identificable y medianamente dulce, debido a que los factores de control se encontraban en sus mínimos niveles. El promedio total de C.S. de las distintas formulaciones fue 3,71 y 11,75 para la S/R. De acuerdo a estos valores los puntos de diseño 1, 5 y 9 quedaron bajo este promedio, caracterizados por una textura de un producto parcialmente crudo, color desvanecido y sabor deficiente. Como una forma de explicar este comportamiento, estas corridas experimentales tenían en común una temperatura de horneado baja (mínimo nivel) y por lo tanto insuficiente. Hay que tener en cuenta que este factor demostró tener una influencia muy significativa sobre la respuesta (ver Tabla 4, ANOVA). Con respecto al análisis de diferencias de promedios se encontró que las mayores diferencias en orden decreciente fueron para TH (nivel 2), HDA (nivel 3) y BA (nivel 2) con valores deltas de 0,30, 0,17 y 0,15 para C.S. y 0,72, 0,41 y 0,36 para S/R, teniendo en cuenta que mientras mayor sea este valor mayor será la influencia de los factores de control sobre la respuesta. Analizando las tendencias de las respuestas C.S. y S/R se observa que la conducta de la HDA es creciente, claramente lineal conforme se incrementan sus niveles de trabajo. Este comportamiento se puede explicar porque la HDA favorece las características color, aroma y sabor del producto. Este comportamiento no ocurre con las variables TH y BA donde la tendencia es no lineal para luego estabilizarse, ocurriendo el cambio de pendiente en el nivel medio de trabajo. En cuanto a BA su efecto es favorecer la textura, luego una cantidad en exceso puede ser desfavorable para esta característica en este rango de trabajo. Con respecto al tiempo de horneado la situación es parecida pero en este caso su influencia es el color pasando de dorado a café si se incrementa el tiempo de horneado, desmereciendo la calidad

sensorial del producto. Se demostró además que la HQ dentro del rango de trabajo impuesto no influyó en la respuesta pues su comportamiento fue plano. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en el ANOVA cuyo objetivo es determinar que factores tienen una influencia significativa sobre la C.S y S/R. Se demostró que los factores que afectaron significativamente la respuesta ( $p \leq 0,05$ ) con valores de F superiores al F teórico (4,26) fueron HT, HDA y BA. En cuanto a la contribución relativa de cada factor sobre la respuesta medida como coeficiente de determinación ( $R^2$ ) los resultados fueron 53%, 26% y 11% para TH, HDA y BA respectivamente con un  $R^2$  total de 90% describen una fuerte relación causa efecto. Como resultados de los análisis estadísticos la mejor combinación de los factores de control para obtener C.S y S/R óptimos fue HDA 24,3%, HQ 7,1%, BA 0,6% y TH 22 minutos. Tomando como base la información anterior se calculó el valor teórico optimizado integrando los factores de control y niveles óptimos de HDA, BA y TH dando como resultado una calificación 4.20, que corresponde a una respuesta "calidad Buena". Finalmente se validó el resultado teórico haciendo un experimento confirmatorio con una formulación de galletas utilizando los niveles óptimos de trabajo de las variables independientes dando como resultados una C.S de 4,42 cercana al valor teórico.

Respecto de la composición química (Tabla 5), se debe destacar los aportes de 12,68% de fibra y 8,67% de proteína en la GO con los encontrados en la GC de 8,67 % y 6,21% respectivamente, información interesante desde el punto de vista nutricional. A su vez estos datos presentan una similitud con lo reportado para una formulación de galletas a base de concentrado proteico de avellana chilena con valores de fibra y proteínas de 12,7% y 9,67% respectivamente (23). En cuanto a la fibra es frecuente que los alimentos libres de gluten sean deficientes en este componente funcional. Varios autores han demostrado que el contenido de fibra en la dieta libre de gluten de pacientes celíacos es muy inferior a lo recomendado (24,25). El enriquecimiento de productos de panadería con fibra se ha constituido en un interesante tópico de investigación por varios grupos de investigación interesados en desarrollar alimentos con características funcionales sumado al hecho que su presencia como ingrediente mejora aspectos físicos como volumen del producto, estabilidad de la masa e incide en la textura de la miga. Entre las fuentes de fibra utilizada en formulaciones libres de gluten se pueden citar la inclusión de 8% de inulina en pan logrando un incremento de 7,5% de fibra comparado con 1,4% presente en el pan control (26), y quinoa en formulaciones de pan, queque y galletas hasta un máximo de 10% sin presentar alteraciones en sus características sensoriales (27). En el caso de la proteína, es posible que el mayor aporte de proteína sea responsabilidad de la HDA que posee 19 % de proteínas (9) superior a la encontrada en la harina de trigo (HT) con 11,60%. Con respecto a la humedad, cenizas, contenido graso y calorías no se apre-

ciaron diferencias significativas entre ambas formulaciones. El contenido de carbohidratos que se obtuvo en la GO 53,64% fue inferior a la encontrada en la GC con 61,10%, explicación que puede atribuirse a la inclusión de HDA que contiene un 59,30% en cambio la HT contiene 75,63%.

Para evitar posibles trastornos gastrointestinales a la población objetivo se determinó el contenido de prolaminas en la galleta experimental resultando inferior al máximo recomendado por el CODEX Alimentarius que establece que no debe ser superior a 20 ppm (28).

En cuanto al color de las galletas GO y GCo no se notaron diferencias importantes en los parámetros L y a que van desde el gris al blanco y del azul al rojo respectivamente, sin embargo, el valor b correspondiente al amarillo mostró que la galleta experimental presentó un color dorado oscuro, en cambio la galleta comercial mostró un color café claro.

Tomando en cuenta las otras propiedades físicas, se demostró mediante el estadístico t de student que existieron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre ambas formulaciones destacando las características volumen 2,26cc y 6,37cc, altura 0,66cm y 1,61cm, índice de extensibilidad 10 y 4,4 para GO y GCo respectivamente, cuya principal causa fue la inclusión de HDA y HQ como materias primas libres de gluten, componente responsable de las propiedades visco elásticas y cohesivas de la masa.

Respecto a la vida útil, durante el almacenamiento de los alimentos quedan expuestos a un amplio rango de condiciones ambientales como temperatura, humedad, oxígeno y luz, que pueden desencadenar mecanismos de reacción que conducen a su degradación (21,29). Como consecuencia de estos mecanismos los alimentos pierden sus características originales corriendo el riesgo de ser rechazados por el consumidor. El análisis de dienos conjugados sirve para determinar la oxidación primaria de los lípidos, debido a que los ácidos grasos poliinsaturados son parcialmente susceptibles a la eliminación de hidrógeno y generación de radicales libres para favorecer la formación de hidroperóxidos. El proceso de oxidación de los lípidos, es de gran interés en la industria alimentaria pues hace que los alimentos en que aparece sean inaceptables para el consumidor o pueden afectar la vida útil de éstos. En el caso puntual de las galletas para celíacos este producto demostró poseer una buena estabilidad cuando se almacena bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura., tomando en cuenta que la concentración de dienos fue inferior al límite máximo permitido por la reglamentación chilena.

En lo que respecta al ensayo de aceptabilidad que fue muy bueno, examinando con mas detalles las respuestas se comprobó que una alta mayoría (80%) de las personas entre 10 a 39 años encontraron que la galleta les agradaba mucho; mientras sucedió lo contrario con las personas entre 40 y 70 años que mayoritariamente optaron por la calificación "Me agrada". En cuanto a la intención de compra, la totalidad de las

personas encuestadas respondieron afirmativamente, si el producto estuviera disponible en el mercado. Terminado el test de aceptabilidad se confirmó que ninguna de las personas que realizó el test presentó síntomas de trastornos gastrointestinales, confirmando que es un producto adecuado para personas celiacas.

### CONCLUSIONES

Se demostró la factibilidad de elaborar una galleta optimizada de óptima calidad sensorial a base de harina desgrasada de avellana y harina de quinoa, ambas materias primas exentas de gluten destinada a la población celiaca por su baja concentración de prolaminas, inferior al límite máximo recomendado por el CODEX. En cuanto a las características químicas y físicas, la galleta sobrepasa su contenido en proteínas y fibra, estable al fenómeno de rancidez según condiciones de almacenamiento determinadas. Los resultados del ensayo de aceptabilidad así como la decisión de compra resultaron muy buenos con un 100% de respuestas favorables. También es necesario destacar que ninguna de las personas celiacas que participaron en el test hedónico presentaron síntomas que afectaran su salud.

Se demostró que el empleo de la metodología Taguchi, es efectiva y muy útil para el desarrollo de alimentos, en las cuales la respuesta puede ser afectada por múltiples variables como fue el caso de este estudio donde las variables independientes harina desgrasada de avellana chilena, harinas de quinoa y tiempo de horneado demostraron su influencia significativa tanto en las características sensoriales como en la robustez de las galletas desarrolladas. Por otro lado la estrategia utilizada permitió lograr buenos resultados al reducir en la práctica el número de experimentos, acortar el tiempo de producción y disminuir los costos de elaboración.

### REFERENCIAS

1. Hoogenkamp H W. Lifestyle and food mega changes for mega markets. *Food ingredients*. 1994;3:23-29.
2. Hylla S, Gostn A, Dosel G. Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers. Possible implications for cancer prevention. *Am J Clin Nutr*; 1998;67:136-142.
3. De Deckere E, Kloots WJ. Resistant starch decreases serum total cholesterol and triglycerides concentration in rats. *J Nutr*.1993;123:2142-2151.
4. Heller L. Report pinpoints functional foods with most potential; 2008, [http://www.beveragedaily.com/news\\_](http://www.beveragedaily.com/news_)
5. Ruiz A, Polanco I. Exposición al gluten y aparición de enfermedades autoinmunes. *Pediatrka*; 2002;22:311-319.
6. Instituto de Salud Pública, Chile. Especial Enfermedad celiaca. Ministerio de Salud Pública, Gobierno de Chile; 2006, <http://www.ispch.cl/documentos/tenga/celiaca.pdf>.
7. Sierra E. Mesa Redonda enfermedad celiaca en el siglo XXI. *Bol Pediatric*. 2003;43: 317-320.
8. Villarroel M, Biolley E, Ballester D. Composición química de harina desgrasada de avellana. *Arch Latinoamer Nutr*. 1989;39(2):200-211.
9. Villarroel M, Reyes C, Hazbun J. Optimización de una formulación de queques (cakes) con características funcionales a partir de almidones resistentes, *Sphagnum Magellanicum* y harina desgrasada de avellana (*Gevuina avellana* Mol), *Arch Latinoamer Nutr*. 2007;57 (1): 56-62
10. Bhargava A, Shukda S, Ohri D. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) *Industrial crops and Products*. 2006;23:73-87
11. Montgomery D. Diseño y Análisis de Experimentos. Editorial Iberoamericana S.A.1991. México.
12. Roy R. A primer on the Taguchi Method. 1990, Editorial SME. Michigan, USA.
13. Roy R. Design of experiment using the Taguchi Approach. 2001. Editorial John Wiley-Sons. New York, USA.
14. Wittig de Penna, E. Evaluación sensorial. Una metodología actual para la tecnología de alimentos. 1981. Editorial Talleres Gráficos USACH. Santiago. Chile.
15. Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis of the AOAC. 1990. 13<sup>th</sup> Edition. Washington D.C. The Association.
16. Granotec, Chile, Nutrición y Biotecnología, 2008.
17. Mendoza F, Aguilera J. M. Application of image analysis for classification of ripening bananas. *J Food Sci*. 2004;69 (9): 471- 477.
18. American Association of Cereal Chemists AACC.1962. Approved Methods.7<sup>th</sup> Ed. The Association. S. Paul. Minnesota.
19. Baron C., Skibsted H., Andersen, H. Direct Measurement of Lipid Peroxidation in Oil-in-Water Emulsions Using Multiwavelength Derivative UV- Spectroscopy. *J Agric Food Chem*. 1997;45: 1741-1745.
20. Recknagel R, Glendel E. Spectrophotometric detection of lipid conjugated dienes. *Methods of enzymology. Oxygen radicals in biological systems*; 1984;105:331-337, New Cork, Academic Press.
21. Fennema O. Química de los alimentos; 2000 2a Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España.
22. Schmidt Hebbel H. Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1981. Edit. Alfa, Beta. Santiago. Chile.
23. Jorquera J. Obtención y caracterización física, química, biológica y tecnológica de un concentrado proteico de avellana; 1995. Tesis para optar al título de Ingeniero en alimentos. Universidad de La Frontera. Temuco. Chile.
24. Grehn S, Fridell K, Lilliecreutz M. Dietary habits of Swedish adult celiac patients treated with gluten-free diet for 10 years. *Scandinavian Journal of Nutrition*; 2001; 45:178-182.
25. Lohiniemi S, Maki M, Kaukinen K. Gastrointestinal symptoms rating scale in celiac patients on wheat starch-based gluten-free diets. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*; 2000; 35:947-949.
26. Gallagher E, Polenghi O, Gormley T E. improving the quality of gluten-free breads, *Farm and foods*; 2002;12:8-13.
27. Lorenz K, Coulter. Functional and sensory characteristics of quinoa in foods *Developments in Food Science*; 1995;37:1031-1041.
28. CODEX Alimentarius, FAO, OMS; 2006.
29. Labuza T. P. Shelf life dating of foods; 1982. Food & Nutr. Press. Westport. USA.

Recibido: 09-10-2008

Aceptado: 20-03-2009