

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS



Influencia de la harina de chufa y el maltitol en la caracterización fisicoquímica y sensorial de galletas

TRABAJO FIN DE GRADO

ALUMNA:
Ana Raga Soriano

DIRECTORAS ACADÉMICAS:
Eugenia Martín Esparza
Ana María Albors Sorolla

Curso Académico: 2014/2015

Valencia, Septiembre de 2015



TÍTULO: INFLUENCIA DE LA HARINA DE CHUFA Y EL MALTITOL EN LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DE GALLETAS

RESUMEN

En el presente proyecto se ha realizado un estudio sobre las características físicoquímicas y la aceptación sensorial de galletas elaboradas con harina de chufa y maltitol. El objetivo del estudio ha sido obtener galletas nutricionalmente enriquecidas, especialmente en fibra dietética, y aceptables a nivel organoléptico. Durante el estudio, se llevaron a cabo cinco formulaciones de galletas con 0, 25, 50, 75 y 100% de sustitución de harina de trigo y con sacarosa o maltitol. Los parámetros que se evaluaron, tanto en el caso de las masas como de las galletas horneadas, fueron humedad (H), actividad de agua (a_w), dimensiones y análisis del color. Además, para las masas crudas se evaluaron las propiedades reológicas empíricas mediante un análisis del perfil de textura (dureza, adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad) y en las galletas horneadas se evaluó la textura mediante un ensayo de flexión en tres puntos (firmeza). Por último, se realizó un análisis sensorial basado en un test de aceptabilidad de cuatro formulaciones seleccionadas previamente en base a la importancia de las diferencias encontradas entre ellas. Gracias a todo ello, se ha podido observar que la incorporación de harina de chufa afecta a las propiedades reológicas de la masa y a la textura de las galletas. Además, todas las elaboraciones tuvieron una buena aceptación, destacando la formulación del 50% de sustitución.

Palabras clave: galleta, harina de chufa, maltitol, textura, color, apreciación global.

Alumna: Ana Raga Soriano

Prof. Dña. M^a Eugenia Martín Esparza

Prof. Dña. Ana María Albors Sorolla

Valencia, Septiembre de 2015

TÍTOL: INFLUÈNCIA DE LA FARINA DE XUFA I EL MALTITOL A LA CARACTERITZACIÓ FÍSICOQUÍMICA I SENSORIAL DE GALETES

RESUM

En el present projecte s'ha realitzat un estudi sobre les característiques físicoquímiques i l'acceptació sensorial de galetes elaborades amb farina de xufa i maltitol. L'objectiu de l'estudi ha sigut obtenir galetes nutricionalment enriquides, especialment en fibra dietètica, i acceptables a nivell organolèptic. Durant l'estudi, es van dur a terme cinc formulacions de galetes amb 0, 25, 50, 75 i 100% de substitució de farina de blat i amb sacarosa o maltitol. Els paràmetres que es van avaluar, tant en el cas de les masses com de les galetes enforades, van ser humitat (H), activitat d'aigua (a_w), dimensions i anàlisi del color. A més, per a les masses crues es van avaluar les propietats reològiques empíriques mitjançant un anàlisi del perfil de textura (duresa, adhesivitat, elasticitat, gomositat i cohesivitat) i en les galetes enforades es va avaluar la textura mitjançant un assaig de flexió en tres punts (fermesa). Finalment, es va realitzar un anàlisi sensorial basat en un test d'acceptabilitat de quatre formulacions seleccionades prèviament d'acord amb la importància de les diferències trobades entre elles. Gràcies a tot això, s'ha pogut observar que la incorporació de farina de xufa afecta a les propietats reològiques de la massa i a la textura de les galetes. A més, totes les elaboracions van tenir una bona acceptació, destacant la formulació del 50% de substitució.

Paraules clau: galeta, farina de xufa, maltitol, textura, color, apreciació global.

Alumna: Ana Raga Soriano

Prof. Dña. M^a Eugenia Martín Esparza

Prof. Dña. Ana María Albors Sorolla

Valencia, Septiembre de 2015

TITLE: INFLUENCE OF GROUNDNUT FLOUR AND MALTITOL IN PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND SENSORY OF COOKIES

ABSTRACT

In this project we have conducted a study on the physicochemical characteristics and sensory acceptance of cookies made with groundnut flour and maltitol. The aim of the study was to obtain nutritionally enriched biscuits, especially in dietary fiber, and acceptable organoleptic. During the study, they were conducted five cookies formulations with 0, 25, 50, 75 and 100% replacement of wheat flour and sucrose or maltitol. The parameters evaluated in both the case of the masses as the baked cookies were moisture (M), water activity (a_w), size and color analysis. Furthermore, for uncooked dough empirical rheological properties were evaluated by profile analysis texture (hardness, adhesiveness, elasticity, tackiness and cohesiveness) and the baked cookies texture was evaluated by a bending test at three points (firmness). Finally, we done an analysis based on a sensory acceptability test of four formulations previously selected based on the importance of the differences between them. Thanks to all this, it has been observed that the addition of groundnut flour affects the rheological properties of dough and the texture of the cookies. In addition, all preparations were well received, highlighting the formulation of 50% substitution.

Keywords: cookie, groundnut flour, maltitol, texture, color, overall assessment.

Alumna: Ana Raga Soriano

Prof. Dña. M^a Eugenia Martín Esparza

Prof. Dña. Ana María Albors Sorolla

Valencia, Septiembre de 2015

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| I. Introducción..... | 1 |
| I.1. Definición de galleta..... | 1 |
| I.2. Clasificación de los distintos tipos de galleta..... | 1 |
| I.3. Consumo de galletas..... | 2 |
| I.4. Características de las galletas..... | 3 |
| I.5. Proceso de elaboración de las galletas..... | 3 |
| I.6. Materias primas empleadas en las formulaciones de las galletas..... | 4 |
| I.6.1. Harina de trigo..... | 4 |
| I.6.2. Harina de chufa..... | 5 |
| I.6.3. Sacarosa..... | 6 |
| I.6.4. Maltitol..... | 6 |
| I.6.5. Grasa..... | 6 |
| I.6.6. Agua..... | 6 |
| I.6.7. Levadura química..... | 6 |
| I.6.8. Sal..... | 7 |
| I.7. Técnicas para evaluar la calidad de las galletas..... | 7 |
| I.7.1. Color..... | 7 |
| I.7.2. Textura..... | 7 |
| I.8. Justificación del trabajo..... | 7 |
| II. Objetivos y plan de trabajo..... | 9 |
| II.1. Objetivo general..... | 9 |
| II.2. Objetivos específicos..... | 9 |
| II.3. Plan de trabajo..... | 10 |
| III. Material y métodos..... | 11 |
| III.1. Formulación y preparación de las galletas..... | 11 |
| III.2. Evaluación de la calidad de la masa cruda y de las galletas horneadas..... | 14 |
| III.2.1. Análisis del tamaño de partícula..... | 14 |
| III.2.2. Humedad..... | 15 |
| III.2.3. Actividad de agua (a_w)..... | 15 |
| III.2.4. Peso..... | 15 |
| III.2.5. Dimensiones..... | 15 |
| III.2.6. Análisis del color..... | 16 |
| III.2.7. Análisis de la textura..... | 16 |
| III.2.8. Análisis sensorial..... | 17 |
| III.2.9. Análisis estadístico..... | 17 |
| IV. Resultados y discusión de los resultados..... | 18 |
| IV.1. Análisis del tamaño de partícula..... | 18 |

| | |
|--|----|
| IV.2. Propiedades fisicoquímicas..... | 20 |
| IV.2.1. Propiedades fisicoquímicas de la masa cruda..... | 20 |
| IV.2.2. Propiedades fisicoquímicas de las galletas..... | 20 |
| IV.3. Análisis del color..... | 22 |
| IV.3.1. Análisis del color de la masa cruda..... | 22 |
| IV.3.2. Análisis del color de la galleta horneada..... | 25 |
| IV.4. Análisis de la textura..... | 28 |
| IV.4.1. Análisis de las propiedades reológicas de la masa cruda..... | 28 |
| IV.4.2. Análisis de textura de las galletas horneadas..... | 30 |
| IV.5. Análisis sensorial..... | 33 |
| V. Conclusiones..... | 35 |
| VI. Bibliografía..... | 36 |
| VII. Anexos..... | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Composición química en porcentaje de las harinas empleadas en las formulaciones de galletas según fabricante | 11 |
| Tabla 2. Composición de las formulaciones de la masa para elaboración de galletas | 12 |
| Tabla 3. Medias y desviaciones estándar de los parámetros del análisis del tamaño de partícula | 19 |
| Tabla 4. Media y Desviaciones estándar de las propiedades fisicoquímicas de las masas de galletas | 21 |
| Tabla 5. Media y desviación estándar del color de las masas | 22 |
| Tabla 6. Media y desviación estándar del color de las galletas | 25 |
| Tabla 7. Media y desviación estándar de los parámetros reológicos de masas | 28 |
| Tabla 8. Media y desviación estándar de la Firmeza de las galletas | 30 |
| Tabla 9. Media y desviación estándar de la evaluación sensorial de las galletas | 33 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de las galletas..... | 14 |
| Figura 2. Distribución del tamaño de partícula de las mezclas de harinas empleadas en las formulaciones (Línea roja: F0, morada: F25, azul oscuro: F50, azul: F75, verde: F100)... | 18 |
| Figura 3. Humedad (barras) y a_w (líneas) de cada formulación de masas con diferente sustitución de harina de chufa y maltitol..... | 20 |
| Figura 4. Diagrama cromático (L^* , a^*) de las masas de galletas..... | 24 |
| Figura 5. Diagrama cromático (b^* , a^*) de todas las masas de galletas..... | 24 |
| Figura 6. Diagrama cromático (L^* , a^*) de las galletas..... | 26 |
| Figura 7. Diagrama cromático (b^* , a^*) de las galletas..... | 27 |
| Figura 8. Efecto de la sustitución de TR por CH en galletas elaboradas con sacarosa y maltitol..... | 27 |
| Figura 9. Medias e Intervalos LSD de la dureza de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa..... | 29 |
| Figura 10. Medias e Intervalos LSD de la adhesividad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol)..... | 29 |
| Figura 11. Medias e Intervalos LSD de la elasticidad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa..... | 30 |
| Figura 12. Medias e Intervalos LSD de la gomosidad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol)..... | 30 |
| Figura 13. Medias e Intervalos LSD de la cohesividad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol)..... | 31 |
| Figura 14. Medias e Intervalos LSD de la firmeza de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol). | 32 |
| Figura 15. Distribución del análisis sensorial de las galletas..... | 32 |
| Figura 15. Distribución del análisis sensorial de las galletas..... | 34 |
| Figura 16. Distribución de la apreciación global obtenida en el análisis sensorial de las galletas..... | 34 |

I. INTRODUCCIÓN

I.1. DEFINICIÓN DE GALLETA

Se denominan galletas a los productos alimenticios elaborados, fundamentalmente, por una mezcla de harina, grasas comestibles y agua, adicionada o no de azúcares y otros productos alimenticios o alimentarios (aditivos, aromas, condimentos, especias, etc.), sometida a proceso de amasado y posterior tratamiento térmico, dando lugar a un producto de presentación muy variada, caracterizado por su bajo contenido en agua. Esta definición queda legislada por la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Fabricación, Circulación y Comercio de Galletas (BOE 04/06/1982 y Real Decreto 1124/1982, de 30/04/1982).

I.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE GALLETA

Así mismo, atendiendo al tipo de galletas, éstas se pueden clasificar según la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Fabricación, Circulación y Comercio de Galletas del Real Decreto 1124/1982, de 30/04/1982 (BOE 04/06/1982) en:

Galletas María, tostadas o troqueladas: Elaboradas a base de harinas, azúcares y grasas comestibles, con o sin adición de otros productos alimenticios para su mejor enriquecimiento, formando una masa elástica a consecuencia del desarrollo del gluten.

“Cracker” y de aperitivo: Elaboradas con harina y grasas comestibles, generalmente sin azúcar, cuyas masas según sus características se pueden someter a una adecuada fermentación para conseguir su tradicional ligereza.

Barquillos con o sin relleno: Productos obtenidos de la cocción en planchas metálicas de pastas en estado líquido viscoso, formados por harina, féculas, glucosa y sal, susceptibles de adquirir diferentes formas: rectangulares, cilíndricas, abanicos, etc.

Bizcochos secos y blandos: Elaborados con harina, azúcar y huevos, batidos a gran velocidad para conseguir que monte adecuadamente, depositándose en moldes o en chapa lisa para su horneado.

“Sándwiches”: Conjunto de dos galletas tradicionales, a las que se adiciona entre ambas un relleno consistente en una mezcla de azúcar, grasa y otros componentes alimenticios y alimentarios debidamente autorizados.

Pastas blandas y duras: Galletas obtenidas a base de masas cuya peculiaridad consiste en cremar adecuadamente todos los componentes (azúcar, grasa y otros productos alimenticios), adicionar la harina horneando la masa moldeada seguidamente a fin de impedir el desarrollo del gluten.

Bañadas con aceite vegetal: Se parte de galletas tradicionales, las cuales, después de ser horneadas, son sometidas a una dispersión o baño de aceite vegetal muy atomizado por su superficie e incluso por su parte inferior, según tipos.

Recubiertas de chocolate: Cualquier clase de galletas antes definidas podrán presentarse recubiertas de chocolate, pasta de cacao o mezcla de azúcar, gelatina y agua.

Surtidos: Conjunto de galletas de las diferentes especialidades que se elaboran, las cuales se agrupan en un solo envase.

Elaboraciones complementarias: Cuando los fabricantes de galletas elaboren productos que estén sujetos a la Reglamentación Técnico-Sanitaria que regula la elaboración, fabricación, circulación y comercio de productos de confitería, pastelería, bollería y repostería, a la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de preparados alimenticios para regímenes dietéticos y/o especiales, a la norma de pan y panes especiales y otras relacionadas; deberán observarse las especificaciones y exigencias que dichas disposiciones determinen.

Además, de esta clasificación, las galletas se pueden dividir en base a otros criterios (Casp, 2014), como por ejemplo, según el tipo de masa:

Masas duras: masas similares a las de panadería, en las que se desarrolla la red de gluten, y son el tipo de masa de las galletas “María” o dulces y las “Cracker”.

Masas quebradas: son masas con un bajo contenido en agua y con un amasado corto, por lo que, apenas se llega a desarrollar la red de gluten. De esta manera, tienen poca elasticidad y extensibilidad y la masa queda quebradiza y desmenuzable.

Masas batidas: son masas con mayor contenido en agua o líquidos, lo que les confiere una consistencia más líquida.

I.3. CONSUMO DE GALLETAS

La elaboración de galletas constituye un sector sustancial de la industria alimentaria (Reátegui et al., 2001) y son uno de los productos de panadería más consumidos alrededor del mundo, gracias a su buena calidad nutricional, a la disponibilidad de diferentes variedades, a la larga vida útil, a su precio asequible y a su facilidad de consumo (Sudha et al., 2007).

Por otro lado, una de las principales ventajas de las galletas es que constituyen una fuente importante de fibra. La fibra dietética juega un papel esencial en la salud humana y, está constituida por celulosa, hemicelulosa, lignina, gomas y mucílagos (Sudha et al., 2007). Una dieta equilibrada debe incluir las cantidades diarias recomendadas de fibra ya que, el consumo regular de la misma se ha relacionado con el control y prevención de muchos tipos de enfermedades crónicas, entre las que destacan obesidad, diabetes,

enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer como el cáncer de colon (Romero-Baranzini et al., 2011).

I.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS GALLETAS

En el Real Decreto 1124/1982, de 30/04/1982 (BOE 04/06/1982), citado anteriormente, se establecen los requerimientos o características para los diferentes tipos de galletas:

Para galletas simples, la humedad no podrá exceder del 6% y el contenido en cenizas deberá ser inferior al 1,5%. Además, el recuento total de gérmenes aerobios mesófilos no podrá exceder de 1000/gr, las Enterobacteriáceas, Escherichia coli, Estafilococos y Bacilo cereus deberán estar ausentes en 1 gr, Salmonella no debe estar presente en 25 gr y mohos y levaduras podrán haber como máximo 200 col/gr.

Para bizcochos, la humedad deberá ser inferior al 10% y deberán contener un porcentaje de cenizas inferior al 1,5%. Así mismo, los bizcochos se pueden clasificar en secos y blandos, en función del mayor o menor porcentaje de humedad que contienen a la salida del horno.

Para galletas cubiertas o rellenas, el contenido en humedad deberá ser como máximo un 10% y el contenido en cenizas un 1,5%. Además, para este tipo de galletas, el recuento total de gérmenes aerobios mesófilos será como máximo de 10.000/gr, de Enterobacteriáceas podrá haber como máximo 10 col/gr. Escherichia coli, Estafilococos aureus y Bacilo cereus deberán estar ausentes en 1 gr, Salmonella deberá estar ausente en 25 gr y podrán haber como máximo 200 col/gr de mohos y levaduras.

Por todo ello, las galletas son productos con unas características determinadas. En primer lugar, como se ha citado anteriormente, se elaboran a partir de una masa de harina de cereal (Casp, 2014). En segundo lugar, son productos con una humedad entre el 1-5% (Pareyt et Delcour, 2008), factor que las convierte en alimentos con una larga vida útil si se envasan adecuadamente. Y en tercer lugar, además de la harina, los ingredientes mayoritarios son las grasas y los azúcares (Casp, 2014).

I.5. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS GALLETAS

De la misma forma que existen diferentes tipos de galletas, también se pueden apreciar distintas formas de elaborar la masa de galleta (Casp, 2014).

Un primera etapa es el amasado, que difiere si las galletas que se van a obtener son de masas duras, quebradas o batidas. En la elaboración de masas duras, el objetivo de esta etapa es la formación de la red de gluten, hidratando las proteínas y aplicando trabajo mecánico. Mientras que, para la elaboración de las masas quebradas, lo importante es que, aunque el amasado sea corto, se consiga una buena emulsión del

agua y la grasa para que se difundan homogéneamente por toda la harina evitando la formación de la red de gluten. Para ello, el proceso de amasado suele dividirse en dos fases. En una primera fase, se mezclan las grasas, el agua, el azúcar y el resto de los ingredientes, exceptuando la harina para obtener una emulsión óptima. Esta fase se realiza sin calentar demasiado porque el tiempo y la temperatura final no serán factores decisivos si la emulsión se obtiene adecuadamente. En cambio, un factor importante será la cantidad de azúcar que queda sin disolver ya que afectará a la textura y a la forma de la galleta final. Y, la segunda fase del amasado, en la cual se incorpora la harina a la emulsión anterior, debe ser corta para que no se forme la red de gluten. Por último, para la elaboración de las masas batidas, el objetivo principal del amasado es la incorporación de la mayor cantidad de aire posible en forma de burbujas.

La segunda etapa corresponde con el laminado, en la cual se suelen utilizar rodillos calibrados para obtener un espesor final determinado. Con este sistema, se suelen obtener las masas duras y quebradas.

Por último, la etapa de horneado dura entre 2 y 15 minutos dependiendo de la temperatura del horno, del porcentaje de humedad dentro del mismo, de la circulación de aire, etc. En esta etapa se producen cambios físicos y químicos esenciales que marcan el paso de masa a galleta y, aunque siguen una línea cronológica, pueden llegar a solaparse. Primero, se produce la expansión de la masa y el comienzo de pérdida de humedad. Posteriormente, comienza a desarrollarse el color en la superficie de las galletas y, por último, se termina de desarrollar el aroma, disminuye ligeramente el grosor de las galletas y la pérdida de humedad se limita.

I.6. MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LAS FORMULACIONES DE LAS GALLETAS

Los constituyentes de la masa de las galletas influyen en gran medida en la manipulación y elaboración de la masa, en el horneado de la galleta y en la calidad del producto resultante (Pareyt et al., 2009).

I.6.1. Harina de trigo

La mayor parte del trigo (*Triticum*) cultivado en el mundo pertenece a dos especies, *Triticum aestivum* y *Triticum durum*. La especie *Triticum aestivum* es la utilizada en la elaboración de galletas. Según el Real Decreto 1286/1984, de 23/05/1984 (BOE 06/07/1984) se entiende por harina sin otro calificativo, el producto finamente triturado obtenido de la molturación del grano del trigo *Triticum aestivum* o la mezcla de éste con el *Triticum durum* en la proporción máxima del (80 por 100 y 20 por 100), maduro, sano y seco e industrialmente limpio.

Atendiendo al Real Decreto 1286/1984, la humedad de la harina no deberá exceder del 15%.

I.6.2. Harina de chufa

La chufa (*Cyperus esculentus L.*) es un tubérculo que se ha utilizado desde hace siglos en una parte importante de África. Este tubérculo tiene numerosos beneficios debido a sus propiedades y a sus nutrientes intrínsecos que previenen las enfermedades coronarias, ya que reduce el colesterol “negativo” gracias a su alto contenido en ácido oleico y regula la función intestinal por su alto contenido en fibras naturales (Muñoz, 2013). Su hábitat más frecuente está constituido por las zonas tropicales y templadas de todo el mundo aunque también puede encontrarse en regiones frías como Alaska (Pascual-Seva et al., 2013). Prácticamente la totalidad de la superficie dedicada al cultivo de la chufa en España está situada en la provincia de Valencia, más concretamente en la comarca de l'Horta Nord. El Real Decreto 1554/1990 de 30 de noviembre, incluye la chufa y la horchata en el Régimen de Denominaciones de Origen, Genéricas y Específicas establecido en la Ley 25/1970, de 2 de diciembre (BOE núm. 290; 4 diciembre 1990) (Ramos, 2012). En los últimos años, existe un interés creciente en la utilización de los tubérculos en la tecnología de alimentos, destacando particularmente sus posibles efectos beneficiosos para la salud, como son la prevención de problemas de circulación sanguínea, y cancerígenos (Pascual-Seva et al., 2013).

Una de las principales ventajas de la harina de chufa es que no contiene gluten, por lo que constituye una alternativa al trigo, la cebada y el centeno en la elaboración de productos para las personas celíacas. Otra de las ventajas de esta harina es que tiene un alto contenido en fibra que, como hemos nombrado anteriormente, aporta numerosos beneficios a la salud humana. Además, estos tubérculos poseen una elevada capacidad antioxidante con propiedades anticancerígenas debido a su contenido en glucósidos flavonoides solubles en agua (Pascual-Seva et al., 2013).

I.6.3. Sacarosa

La sacarosa en forma cristalina (α -D-glucopiranosil-(1 \rightarrow 2)- β -D-fructofuranosa) es el azúcar más común usado en la preparación de las galletas, y, además de aportar dulzor, influye en las propiedades estructurales y texturales de las galletas y modifica y realza el sabor de estos productos (Pareyt et Delcour, 2008). En cuanto a las propiedades físicas del azúcar, los efectos que produce en las galletas y sobre otros ingredientes son muy importantes. En estos productos de panadería, el azúcar incorpora aire dentro de la grasa durante la preparación de la masa de la galleta (Pareyt et al., 2009), favorece al mantenimiento de la humedad de la misma y contribuye a su expansión (Pareyt et Delcour, 2008) aunque parece ser que, en el horneado, la recristalización de la sacarosa también produce agrietamiento en la superficie de la galleta (Pareyt et al., 2009).

Por otro lado, una preocupación de la dieta actual es el consumo excesivo de altas cantidades de grasa y azúcar (Pareyt et al., 2009), aunque este incremento de los niveles de azúcar en sangre son especialmente problemáticos para los diabéticos. Un exceso en el consumo de azúcar parece ser que contribuye a enfermedades crónicas como la obesidad y las enfermedades del corazón (Taylor et al., 2008).

I.6.4. Maltitol

Este edulcorante es obtenido a partir de la D-maltosa por hidrogenación catalítica, y a su vez, la D-maltosa procede de la hidrólisis del almidón. Con un poder edulcorante del 85-90% de la sacarosa, el maltitol (E-965) tiene un valor calórico inferior a ésta, 3 Kcal/g, y es más lentamente metabolizable, por lo que, puede ser usado como sustituto de la sacarosa y, además, sin presentar sabores residuales desagradables (Cubero et al., 2002). De esta manera, podría ser usado en la elaboración de productos bajos en calorías o productos bajos en azúcar metabolizables como son los alimentos para diabéticos. Por otro lado, en cuanto a la solubilidad e higroscopicidad de este aditivo, el comportamiento es similar al de la sacarosa.

Cuando se trata de galletas, la reducción en la cantidad de azúcar empleado para su elaboración es la mejor manera de obtener un producto más saludable y bajo en calorías (Drewnowski et al., 1998). Por ello, la sustitución del azúcar por maltitol en la elaboración de las galletas permite disminuir su contenido calórico y obtener, de esta manera, un producto más saludable.

I.6.5. Grasa

La grasa aporta riqueza, ternura y mejora la sensación en la boca, la intensidad del sabor y la percepción de las galletas (Pareyt et al., 2009). Esto es debido a que, mientras el agua o el azúcar, en ausencia de grasa, interactúan con las proteínas de la harina, dando lugar a productos con cohesión y extensibilidad, en presencia de grasa, ésta rodea a las proteínas y al almidón rompiendo la continuidad de la estructura proteína-almidón (Pareyt et Delcour, 2008). De esta manera, la grasa inhibe la formación de la red de gluten. Por eso, el producto obtenido tiene menores propiedades elásticas. Además de todo ello, la grasa contribuye a la extensión y apariencia global de la galleta, aumenta la aireación de la levadura y el volumen del producto final.

I.6.6. Agua

El agua es un componente minoritario en la elaboración de la masa de las galletas, sin embargo, es esencial en la formación de la misma (Pareyt et Delcour, 2008). Esto es debido a que hace la masa más moldeable y cambia el carácter de los ingredientes aunque es eliminada durante el horneado. Además, también es necesaria para la solubilización de los ingredientes como el azúcar, la sal y las levaduras químicas. La cantidad de agua usada en la elaboración de la masa de las galletas afecta al desarrollo del gluten, a la extensibilidad de la masa durante el horneado, a la retención de la humedad y a la calidad del producto obtenido. Por otro lado, al igual que la grasa, el agua aporta lubricación cuando el producto está horneado y, por lo tanto, afecta a la textura.

I.6.7. Levadura química

Las levaduras químicas son aditivos gasificantes que consisten en una mezcla de un ácido y un compuesto alcalino. Estos compuestos con el amasado y el calor de la cocción

reaccionan generando CO₂ y produciendo el levantamiento de la masa (Mesas et Alegre, 2002).

I.6.8. Sal

El papel de la sal en la preparación de las galletas consiste en mejorar las propiedades sensoriales al potenciar el dulzor y reducir el sabor amargo (Laguna, 2013).

I.7. TÉCNICAS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS GALLETAS

Los parámetros para medir la calidad de las galletas (Taylor et al., 2008; Sudha et al., 2007; Pareyt et al., 2009; Drewnowski et al., 1997; Kaur et al., 2015; Romero-Baranzini et al., 2011) podrían ser, las propiedades reológicas (dureza, adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad), físicas (espesor, diámetro y peso) y el color de la masa; y la textura, el color, las propiedades físicas de las galletas horneadas (relación de expansión y peso) y el análisis sensorial.

A continuación, se explican los parámetros que influyen en la calidad final de las galletas.

I.7.1. Color

Es un aspecto que hace referencia a características estéticas y es de los más valorados por los consumidores. Este parámetro depende mayoritariamente de los componentes que se han empleado en la formulación del producto. El color deseable de las galletas sería entre amarillo y marrón, siendo el marrón oscuro un color indeseable en la galleta horneada.

I.7.2. Textura

La textura es, junto con el sabor y el color, un parámetro muy valorado por los consumidores. Aunque es una característica sensorial que solamente puede ser percibida por el ser humano, se pueden medir instrumentalmente numerosos parámetros físicos que proporcionan información sobre la textura de las galletas. Algunos autores (Raymundo et al., 2014) establecen una relación entre el aumento del contenido en fibra y una mayor dureza de las galletas.

I.8. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La fibra es un nutriente indispensable en una dieta saludable, tal y como indican numerosos estudios (García et Velasco, 2007), que establecen una relación entre el bajo consumo de fibra y el desarrollo de enfermedades “occidentales” tales como cáncer de colon, enfermedad cardiovascular, alteraciones en el ritmo y el tránsito intestinal, etc.

La fibra se define como los componentes de la dieta que resisten las hidrólisis de las enzimas digestivas humanas, por lo que no tiene función nutricional. Según la Organización Mundial de la Salud se recomienda un aporte de 20-35 g/día. En los niños mayores de dos años y hasta los dieciocho se recomienda un consumo de la cantidad que resulte de sumar 5 g/día a su edad. La fibra consumida debe tener una proporción de 3:1 entre insoluble y soluble. Alimentos ricos en fibra insoluble son la harina de trigo, el salvado, los guisantes, el repollo, los vegetales de raíz, los cereales y las frutas maduras. Por otro lado, los alimentos ricos en fibra soluble son la avena, las ciruelas, la zanahoria, los cítricos, las judías secas y otras legumbres (Hernández, 2015).

Sin embargo, en los últimos años ha disminuido el consumo de fibra debido a la menor ingesta de semillas, cereales integrales, raíces, tubérculos y frutas (Martínez et García, 2001). Por ello, se recomienda incrementar el consumo de productos vegetales (frutas, cereales, leguminosas, etc.) en las dietas de los consumidores y a las industrias de alimentos “enriquecer” sus productos con fibra alimentaria o algún componente de ella.

La fermentabilidad, relacionada con la solubilidad, puede ser una propiedad muy importante en las fibras ya que es responsable de numerosos efectos tanto locales como sistemáticos. Por ello, la fibra se puede clasificar (García et Velasco, 2007) en fermentable, soluble y viscosa (oligosacáridos, pectinas, β -glucanos, y galactomananos) y parcialmente fermentable, insoluble y no viscosa (celulosa, hemicelulosa y lignina). Alrededor del 50% de la fibra consumida es degradada en el colon y el resto es eliminada mediante las heces. Las fibras totalmente fermentables, solubles y viscosas estimulan la salivación y retrasan el vaciamiento gástrico, aumentando la sensación de saciedad. También se produce una disminución en la absorción de los ácidos biliares ya que éstos se unen a los residuos fenólicos y urónicos. Por lo que, es posible disminuir los niveles de colesterol ya que éste se usa en la síntesis de nuevos ácidos. Debido a su capacidad para retener agua, sobre todo por parte de la fibra insoluble o poco fermentable, se produce un aumento del bolo fecal, aumentando el peristaltismo y reduciendo el tiempo de tránsito intestinal (Hernández, 2015).

En la línea por seguir una dieta saludable y equilibrada, también se ha puesto de manifiesto el interés por la reducción en la ingesta de calorías, azúcares y grasas. El consumo de carbohidratos debe ser al menos de un 55-60% del aporte calórico total, donde la ingesta de azúcares simples no debe sobrepasar el 10% (Martínez et García, 2001). La sustitución de la sacarosa por maltitol permite obtener productos con menor contenido calórico.

Además, el requerimiento de productos libres de gluten es también un mercado en crecimiento (Zucco et al., 2011). De acuerdo a esta demanda, el hecho de que la harina de chufa sea libre de gluten ofrece la oportunidad de ser usada en la elaboración de diferentes productos, como los productos de panadería.

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

II.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo ha sido diseñar, optimizar y evaluar formulaciones de galletas mediante la sustitución de la harina de trigo por harina de chufa, y de maltitol en sustitución del azúcar para obtener un producto enriquecido en fibra y menos calórico.

II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar formulaciones de galletas incorporando distintos porcentajes de harina de chufa en sustitución de la harina de trigo, y maltitol reemplazando el azúcar para obtener un producto enriquecido de calidad.

2. Realizar las pruebas preliminares necesarias para estandarizar la proporción de sólidos y líquidos en la formulación, así como las condiciones de operación en el proceso de elaboración.

3. Analizar los cambios producidos por la incorporación de harina de chufa y/o maltitol en la humedad, la actividad del agua, las propiedades físicas, las propiedades reológicas (adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad), la textura (firmeza) y el color (coordenadas CIEL*a*b*), de la masa cruda y las galletas horneadas.

4. Analizar el tamaño de partícula de las harinas de trigo y chufa, así como de las mezclas empleadas para la elaboración de las masas.

5. Determinar el efecto de la incorporación de harina de chufa sobre las características sensoriales y la aceptación global de las galletas horneadas.

II.3. PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo y las tareas específicas para la consecución de los objetivos propuestos son:

1. Revisión bibliográfica de los siguientes temas: galletas, maltitol, harina de chufa, fibra alimentaria, propiedades reológicas, análisis sensorial, color y textura de las galletas.

2. Diseñar formulaciones de galletas incorporando distintos porcentajes de harina de chufa en sustitución de la harina de trigo, y maltitol reemplazando el azúcar, ajustando las proporciones de ingredientes (agua/grasa y ingrediente/harina) para obtener masas crudas manejables y un producto final aceptable.

3. Estandarizar las condiciones del proceso en cada una de las etapas de elaboración de las masas de galletas para conseguir una masa laminable y manejable. Estandarizar el proceso de obtención de galletas troqueladas y el proceso de horneado de las mismas para lograr un producto de calidad.

4. Estudiar la influencia de la sustitución parcial o total de harina de trigo por harina de chufa y sustitución total de azúcar por maltitol en formulaciones de la masa cruda y galletas horneadas.

4.1. Realización de un diseño experimental de dos factores: harina de chufa a 5 niveles (0, 25, 50, 75 y 100%) y maltitol a 2 niveles (presencia [M], ausencia).

4.2. Obtención de masas crudas para galletas y galletas horneadas a partir de las formulaciones del diseño experimental del punto 4.1.

4.3. Determinación, en la masa cruda y en el producto horneado, de la humedad, la actividad del agua, las propiedades físicas, las propiedades reológicas (adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad), la textura (firmeza), el color (coordenadas CIEL*a*b*) y el tamaño medio de partícula.

4.4. Realización de un análisis sensorial y la aceptación global de una selección de formulaciones de las galletas estudiadas.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

III.1. FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS GALLETAS

Para la elaboración de las galletas se emplearon como materias primas harina de trigo (TR), harina de chufa (CH), azúcar (A), maltitol (M), aceite, agua, levadura química y sal.

La harina de trigo, de la empresa Harinera del Mar (Almenara, Castellón, España), al igual que, el azúcar de la empresa Azucarera Iberia SLU (Madrid, España), el aceite de la empresa Olisone (Montcada i Reixac, Barcelona, España), la levadura química de la empresa Royal (Madrid, España) y la sal Hacendado S.A (Huelva, España), fueron compradas en un supermercado local. El agua procedía del suministro de agua potable del laboratorio. La harina de chufa fue suministrada por Tigernuts Traders, S.L (L'Eliana, Valencia, España) y el maltitol provenía de la empresa EPSA (Torrent, Valencia, España).

Los parámetros químicos de las diferentes harinas empleadas fueron proporcionados por el fabricante, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química en porcentaje de las harinas empleadas en las formulaciones de galletas según fabricante.

| Componente | Harina de trigo | Harina de chufa |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| Humedad | <15 | 8,95 |
| Lípidos | 1,31 | 23,6 |
| Grasas saturadas | 0,15 | 4,8 |
| Carbohidratos | 73,11 | 39,2 |
| Azúcares | 0,59 | 15,5 |
| Almidón | 72,5 | 23,7 |
| Proteínas | 10,3 | 4,9 |
| Sal | 0,017 | <0.05 |
| Fibra | - | 23,3 |
| Granulometría (mm) | - | 0,3 |

El diseño experimental realizado con el programa Statgraphics Centurion XVI versión 16.1 (Manugistics Corp., Rockville, MD) se planteó para dos factores: incorporación de harina de chufa a 5 niveles de sustitución (0, 25, 50, 75 y 100 % CH) y maltitol a 2 niveles de sustitución (presencia [M], ausencia de M [A])

La tabla 2 recoge los porcentajes de cada ingrediente, en base al peso de la harina, que fueron necesarios para la elaboración de cada formulación.

Tabla 2. Composición de las formulaciones de la masa para la elaboración de las galletas*.

| Formulación | Harina de trigo | Harina de chufa | Azúcar | Maltitol | Aceite | Agua | Levadura | Sal |
|-------------|-----------------|-----------------|--------|----------|--------|------|----------|------|
| F0 | 100 | - | 33,33 | - | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F0M | 100 | - | - | 33,33 | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F100CH | - | 100 | 33,33 | - | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F100CHM | - | 100 | - | 33,33 | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F75CH | 25 | 75 | 33,33 | - | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F75CHM | 25 | 75 | - | 33,33 | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F50CH | 50 | 50 | 33,33 | - | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F50CHM | 50 | 50 | - | 33,33 | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F25CH | 75 | 25 | 33,33 | - | 20 | 16 | 2 | 0,32 |
| F25CHM | 75 | 25 | - | 33,33 | 20 | 16 | 2 | 0,32 |

*Porcentajes en base al peso de harina

Con objeto de no introducir variaciones debidas a las materias primas entre las diferentes formulaciones de las galletas, se utilizó el mismo lote tanto de harina de trigo como de harina de chufa, así como de aceite, azúcar, maltitol, levadura y sal para todas las elaboraciones realizadas en el presente proyecto.

El estudio incluyó 10 formulaciones distintas, de las cuales F0 es la fórmula control, la cual no incorpora TR ni M, y F100CH, que es la formulación con el máximo nivel de sustitución de TR por CH, sin incorporar maltitol. El resto de formulaciones contienen distintos niveles de sustitución de harina de chufa (F75CH, F50CH y F25CH) y algunas de ellas también maltitol (F75CHM, F50CHM y F25CHM).

El proceso de elaboración de las galletas está constituido por las siguientes etapas:

Etapa 1: Selección y dosificación de los ingredientes

Se evaluó el correcto estado de todos los ingredientes antes de su uso y se dosificaron en la misma balanza con una precisión de 0,001 g modelo PFB 300-3 (Kern & Sohn GmbH, Balingen).

Etapa 2: Mezclado de los ingredientes

Esta etapa constó de tres fases para la mezcla de los ingredientes mediante el uso de un equipo Thermomix modelo TM-31 (Vorwerk España M.S.L., S.C., Madrid). En una primera fase, se mezclaron los ingredientes “sólidos”, es decir; la harina, la levadura y la sal durante 30 segundos a velocidad 5 para obtener una buena homogeneización de los ingredientes. Posteriormente, se extrajeron de la Thermomix y se mantuvieron aparte en un bol.

Seguidamente, mediante el uso del mismo equipo de Thermomix y del accesorio del equipo que permite formar emulsiones llamado “mariposa”, se procedió a mezclar el azúcar o el maltitol, en cada caso, el agua y el aceite durante 3 minutos a velocidad 4.

Por último, se quitó la “mariposa” y se introdujo la mezcla de harina/levadura/sal dentro de la Thermomix y se mezcló junto con la emulsión formada durante 10 segundos a velocidad 6. Debido a la potencia del equipo, parte de la mezcla se pegaba a las paredes, así que, transcurrido este tiempo, se despegaba la masa con la ayuda de una espátula, se volvía a incorporar a la masa y se procedía a mezclar otros 10 segundos a velocidad 6.

Etapa 3: Formado de la bola y laminación

Una vez obtenida la masa en la operación de mezclado, se unificó manualmente formando una bola y recogiendo los posibles restos de masa de la pared de la Thermomix. Posteriormente, se cortó la bola por la mitad y se volvió a dar forma a cada una de las partes obtenidas. Con la ayuda de un rodillo y de dos listones de 0,5 cm unidos a una tabla, se laminó manualmente las dos bolas hasta obtener dos láminas de 0,5 cm de espesor cada una. El tiempo de esta etapa nunca fue superior a 1 minuto.

Etapa 4: Corte

Con un molde de 6 cm de diámetro se procedió a cortar las láminas de masa para obtener galletas con unas dimensiones homogéneas y deseadas. Las galletas crudas se mantuvieron tapadas con papel vegetal hasta su posterior horneado. El tiempo transcurrido entre el corte y el horneado no excedió de los 5 minutos en ningún caso.

Etapa 5: Horneado

Las masas de galleta crudas se hornearon a 170°C durante 20 minutos, gracias a análisis previos que nos permitieron determinar la temperatura y el tiempo óptimos para su elaboración.

Etapa 6: Enfriado

Las galletas horneadas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos en un lugar fresco y seco.

Para conseguir una mínima variabilidad, debida al proceso de elaboración, se siguieron tiempos y temperaturas exactos en cada operación, gracias a la revisión bibliográfica previamente contrastada a través de múltiples ensayos de elaboración.

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo con las etapas del proceso de elaboración de las galletas.



Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de las galletas.

III.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MASA CRUDA Y DE LAS GALLETAS HORNEADAS

III.2.1. Análisis del tamaño de partícula

El tamaño de partícula se determinó, para cada una de las mezclas de harinas utilizadas en las formulaciones, con un difractor láser modelo Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Worcestershire, U.K) acoplado a una unidad de manipulación de muestra Scirocco 2000 para el análisis por vía seca. Se utilizó un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. Se caracterizaron las muestras 100% harina de trigo, 100% harina de chufa y las mezclas de trigo-chufa al 25, 50 y 75% de sustitución, utilizando 40 gramos de harina en total. Se determinaron los parámetros $D_{4.3}$, que mide el tamaño medio por unidad de peso de las partículas, y el número “span”, que es la anchura de la distribución del tamaño de las partículas. La distribución del tamaño de

partícula puede servir para evaluar una propiedad física de las harinas muy importante (Zhang et Moore, 1997): el perfil general de las masas durante el mezclado.

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n n d_i^4}{\sum_{i=1}^n n d_i^3} \quad (\text{ec. 1})$$

$$Span = \frac{(d(0.1) - d(0.9))}{d(0.5)} \quad (\text{ec. 2})$$

III.2.2. Humedad

Este parámetro se analizó siguiendo el método gravimétrico AACC 44-40 (AACC, 2009), que se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de 5 g de masa aproximadamente, cuando es sometida a una temperatura de $130^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ en una estufa hasta alcanzar un peso constante.

El análisis se realizó por triplicado para cada una de las muestras, midiendo el peso antes y después del secado en estufa por una balanza con precisión de 0,001 g modelo PFB 300-3 (Kern & Sohn GmbH, Balingen).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{((\text{Peso cápsula+muestra}) - (\text{Peso cápsula+muestra seca}))}{((\text{Peso cápsula+muestra seca}) - (\text{Peso cápsula}))} \quad (\text{ec. 3})$$

III.2.3. Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua fue determinada una sola vez, tanto de la masa de las galletas como de las galletas horneadas de cada formulación. Para ello, se utilizó el equipo Decagon AquaLab meter (Pullman, WA, USA) calibrado con una solución saturada de acetato de potasio ($a_w = 0,22$).

III.2.4. Peso

Durante el proceso de horneado las galletas pierden peso debido a las pérdidas de agua mayoritariamente. El control del mismo se realizó determinando el peso de las galletas antes y después del horneado con una balanza de precisión 0,001g modelo PFB 300-3 (Kern & Sohn GmbH, Balingen).

III.2.5. Dimensiones

Las dimensiones de las galletas antes y después de hornear (espesor (e) y diámetro (d)) se midieron usando un pie de rey modelo PCE-DCP 200N (PCE Ibérica S.L. (PCE Inst.), Tobarra, Albacete) con una sensibilidad de 0,02 mm.

De las masas crudas se tomó la medida del espesor en el centro de la galleta y el diámetro en la misma zona central. Esto se realizó para seis galletas diferentes de una misma formulación y se calculó el valor promedio. Las galletas horneadas se evaluaron de acuerdo al método AACC 10-50.05D (AACC, 2009), la determinación del espesor se realizó sobre 6 galletas apiladas y posteriormente se obtuvo el valor medio. Por otro lado, se midió también el diámetro de 6 galletas formando una línea recta y se calculó el valor medio de borde a borde. La relación de expansión fue calculada dividiendo el diámetro medio entre el espesor medio de cada formulación de galletas horneadas.

$$\text{Relación de expansión} = \text{diámetro/espesor} \quad (\text{ec. 4})$$

III.2.6. Análisis del color

Para el análisis del color de las masas crudas y de las galletas horneadas se utilizó un espectrocolorímetro (modelo MINOLTA, CM 3600D, Tokio, Japón) previamente calibrado con un negro y un blanco estándar, utilizando como referencia el observador 10° y el iluminante D65, realizando medidas por sextuplicado. A partir de estos espectros de reflexión, fueron recogidos los datos de coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$, que es un sistema cartesiano de tres ejes donde L^* es el eje vertical que representa la medida de la luminosidad, a^* es uno de los dos ejes horizontales y b^* es el otro eje horizontal. A partir de los valores de L^* , a^* y b^* se obtienen los atributos de color, croma (C^*) y tono (h).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (\text{ec. 5})$$

$$h = \text{arc tan} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{ec. 6})$$

III.2.7. Análisis de la textura

La textura se analizó con el Texturómetro Analizador Universal de Textura TA.XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, UK) equipado con un ordenador provisto del software Texture Exponent Versión 1.22 (Stable MicroSystems) para poder visualizar los resultados obtenidos. Este equipo fue usado para medir tanto la textura de la masa cruda como de las galletas horneadas.

En la masa cruda las propiedades reológicas (dureza, adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad) se determinaron mediante el análisis del perfil de la textura (TPA, Texture Profile Analyze). Para ello, se utilizó una sonda de 3 cm de diámetro, con una velocidad de pre-ensayo de 2 mm/s, una velocidad de ensayo de 1,60 mm/s y una velocidad de post-ensayo de 1,6 mm/s con una doble compresión del 30%, un tiempo de 2 s entre las dos compresiones y una fuerza de activación de 0,049 N. Las medidas se llevaron a cabo por sextuplicado en masas de 0,5 mm. El parámetro de gomosidad se calculó a partir de otros dos parámetros, la dureza y la cohesividad.

$$Gomosidad = \frac{dureza}{cohesividad} \quad (ec. 7)$$

Para el análisis de las galletas horneadas se realizó un ensayo de Flexión en Tres Puntos, en el cual, la velocidad de pre-ensayo fue 1 mm/s, la velocidad del ensayo de 3 mm/s, la velocidad de post-ensayo 10 mm/s, una distancia de 5 mm y una fuerza de activación de 0,049 N. Este ensayo se realizó por sextuplicado.

III.2.8. Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó mediante un panel de al menos 40 catadores no entrenados que evaluaron cuatro galletas con sacarosa y distinta sustitución de harina de chufa: 25% (F25CH), 50% (F50CH), 75% (F75CH) y 100% (F100CH). Los catadores evaluaron el aroma, color, textura, sabor, dulzor y apreciación global de las galletas mediante un test de aceptabilidad, en el que se midieron dichos parámetros con una escala hedónica estructurada con valores entre el 1 y el 7 (1= valor más bajo; 7= valor más alto). La ficha de la cata se adjunta en el Anexo.

III.2.9. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en los distintos métodos fueron analizados estadísticamente mediante el software estadístico Statgraphics Centurion XVI versión 16.1 (Manugistics Corp., Rockville, MD) usando el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

IV.1. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Los resultados del análisis del tamaño de partícula fueron obtenidos según el ensayo descrito en el apartado III.2.1. de Materiales y métodos. En la figura 2 se muestra la distribución del tamaño de partícula, que representa el volumen (%) frente al tamaño de partícula (μm). En la figura, F0 corresponde a la harina de trigo, F100 a la harina de chufa y F25, 50, 75 es la determinación sobre la mezcla de las harinas de trigo/chufa en dichos porcentajes.

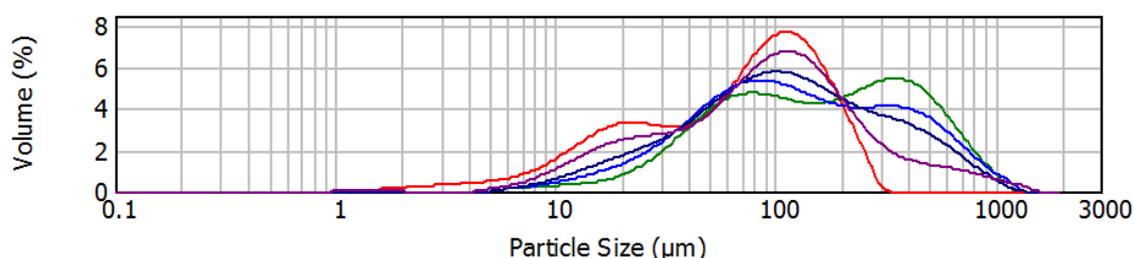


Figura 2. Distribución del tamaño de partícula de las mezclas de harinas empleadas en las formulaciones (Línea roja: F0, morada: F25, azul oscuro: F50, azul: F75, verde: F100).

Como se puede observar en la figura 2, la distribución del tamaño de las partículas para la F0 (línea roja) muestra dos zonas donde el volumen es mayor, en 19,95 μm y 104,7 μm . Por otro lado, la F100 (línea verde) tiene una mayor dispersión del tamaño de partícula y se desplaza hacia tamaños de partícula mayores presentando dos zonas en 79,43 μm y 316,2 μm . A medida que las formulaciones mezcla, 25, 50 y 75%, aumentan su contenido en harina de chufa, el patrón de distribución se va asemejando a la muestra F100 y se aleja de la F0.

En la tabla 3 se muestra el diámetro medio del volumen equivalente ($D_{[4, 3]}$) y el número Span, que es la anchura de la distribución del tamaño de partícula. Las masas con mayor contenido de TR y por tanto $d_{(0.5)}$ más bajo, se mostraron más duras a la hora de trabajar durante la parte experimental. Esto pudo comprobarse durante el mezclado y posterior laminado de las masas, donde las formulaciones más duras y secas se corresponden a aquellas masas con menor contenido en harina de chufa. Como veremos en el apartado IV.4. estas masas que tenían mayores valores de dureza son, además, las que presentan menor tamaño de partícula.

Tabla 3. Medias y desviaciones estándar de los parámetros del análisis del tamaño de partícula.

| Muestra | D_[4,3] (μm) | d_(0.1) (μm) | d_(0.5) (μm) | d_(0.9) (μm) | Span |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| F0 | 84.720,3 (293,8) | 13.416,3 (77,4) | 74.260,2 (403,9) | 176.212,7 (340,8) | 2.192,2 (8,6) |
| F25 | 121.182,6 (55.655,6) | 15.728,76 (7.032,13) | 77.817,5 (36.904,8) | 256.271,6 (113.305,2) | 2.579,0 (1.161,5) |
| F50 | 189.901,8 (8.848,5) | 26.323,7 (1.383,5) | 112.416,2 (2.513,2) | 477.001,8 (28.795,5) | 4.009,0 (239,2) |
| F75 | 171.191,8 (80.685,7) | 25.950,4 (12.345,3) | 102.819,6 (48.541,9) | 423.307,33 (197.924,08) | 3.247,2 (1.525,6) |
| F100 | 241.038,00 (6.695,96) | 39.265,0 (775,2) | 158.831,1 (4.242,7) | 564.036,43 (19.796,97) | 3.305,86 (152,05) |

**En esta tabla F0, 25, 50, 75 y 100 son mezclas solo de las harina.*

IV.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

La humedad, la a_w , el peso y las dimensiones de las masas crudas y de las galletas horneadas se obtuvieron tal y como está descrito en los apartados III.2.2., III.2.3, III.2.4. y III.2.5. de Materiales y Métodos, respectivamente.

IV.2.1. Propiedades fisicoquímicas de la masa cruda

El diámetro y el espesor medio de las masas cortadas fue de 5,88 (0,03) cm y 0,59 (0,04) cm, respectivamente, para todas las formulaciones ensayadas. El método de obtención de las masas de galletas fue preciso y permitió obtener masas de galletas con dimensiones prácticamente idénticas. Respecto a la humedad (H) y la actividad de agua (a_w) de las masas, figura 3, no se encontraron grandes diferencias entre formulaciones y sus valores oscilaron entre 16 – 9,5 % de humedad y 0,855-0,777 de a_w . En general, las masas con mayor contenido en TR resultaron ligeramente más húmedas que las que contenían CH.

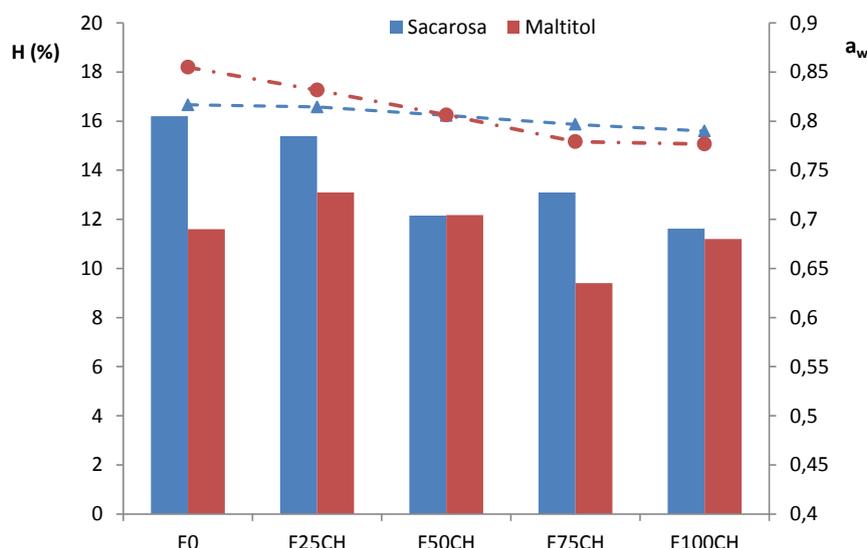


Figura 3. Humedad (barras) y a_w (líneas) de cada formulación de masas con diferente sustitución de harina de chufa y maltitol.

IV.2.2. Propiedades fisicoquímicas de las galletas

Como se muestra en la tabla 4, los parámetros fisicoquímicos determinados en las galletas horneadas fueron la humedad, el diámetro (cm), la relación diámetro/espesor (o relación de expansión), el peso (g) y la a_w . Como se puede observar, todas las galletas cumplen con la legislación al no superar ninguna de ellas el 5% de humedad, siendo la más alta F25CH sin maltitol que tiene un 4,8%. Por otro lado, no se encontraron correlaciones entre la humedad de las galletas y su a_w .

Tabla 4. Media y Desviaciones estándar de las propiedades fisicoquímicas de las galletas.

| Formulación | Humedad | Diámetro (cm) | Relación de expansión | Peso (g) | a_w |
|--------------------|----------------|----------------------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| F0 | 3,92 (1,09) | 6,0 | 6,4 | 19,57 (1,04) | 0,4041 |
| F0M | 2,86 (0,07) | 5,9 | 6,8 | 18,0 (0,9) | 0,1972 |
| F25CH | 4,8 (0,2) | 6,0 | 6,5 | 16,4 (0,7) | 0,2401 |
| F25CHM | 1,12 (0,12) | 5,9 | 7,1 | 16,5 (1,4) | 0,2417 |
| F50CH | 1,9 (0,3) | 6,2 | 5,6 | 18,7 (0,8) | 0,3402 |
| F50CHM | 1,2 (0,2) | 6,1 | 6,7 | 16,6 (2,3) | 0,2029 |
| F75CH | 2,4 (0,2) | 6,1 | 5,9 | 17,9 (0,8) | 0,1900 |
| F75CHM | 3,3 (0,4) | 6,2 | 6,2 | 18,4 (0,9) | 0,2182 |
| F100CH | 2,29 (0,07) | 6,3 | 6,8 | 15,7 (2,3) | 0,2006 |
| F100CHM | 2,1 (1,9) | 6,3 | 6,2 | 18,3 (0,4) | 0,2274 |

Las galletas con menor contenido en CH (F0 y F25CH) presentaron el menor diámetro de todas las galletas tras el proceso de horneado. En este sentido, otros autores (Romero-Baranzini et al., 2011; Kaur et al., 2015; Sudha et al., 2007) mostraron que las galletas con menor contenido en fibra de sus estudios presentaban mayor diámetro que las que eran ricas en fibra. En lo que se refiere a la relación de expansión (d/e) de las galletas no se han encontrado cambios significativos, mientras que, tal y como se ha mencionado, el diámetro de las galletas tras el horneado era ligeramente mayor al aumentar el contenido en fibra (CH).

IV.3. ANÁLISIS DEL COLOR

Los datos de color se obtuvieron tal y como está descrito en el apartado III.2.6. del apartado Materiales y métodos del presente proyecto.

IV.3.1. Análisis del color de la masa cruda

Los valores medios de L^* , a^* , b^* , C^* y h de las masas de galletas se muestran en la tabla 5. Los valores bajos de L^* se relacionan a los colores más oscuros, mientras que, el valor de a^* hace referencia a un color superficial rojizo o amarillo, siendo los valores más positivos los que indican un color más rojo, y los valores próximos a 0 indicativos del color amarillo. Por otro lado, los valores de b^* representan un color superficial amarillento, siendo los valores más positivos indicativos del color más amarillo y los valores más próximos a 0 indicativos de un color menos amarillo.

Tabla 5. Media y desviación estándar del color de las masas.*

| Formulación | L^* | a^* | b^* | C^* | H |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| F0 | 62,3 ^{ax} (0,7) | 1,39 ^{ax} (0,14) | 19,5 ^a (0,6) | 19,5 ^a (0,6) | 85,9 ^{ax**} (0,3) |
| F0M | 66,76 ^{ay} (2,09) | 1,4 ^{ay} (0,2) | 19,55 ^a (1,08) | 19,60 ^a (1,08) | 86,0 ^{ay} (0,5) |
| F25CH | 55,9 ^{bx} (1,4) | 4,5 ^{bx} (0,6) | 20,3 ^b (0,9) | 20,8 ^b (0,9) | 77,4 ^{bx} (1,5) |
| F25CHM | 55,5 ^{by} (0,9) | 4,7 ^{by} (0,4) | 21,1 ^b (0,8) | 21,6 ^b (0,8) | 77,5 ^{by} (0,8) |
| F50CH | 54,5 ^{cx} (0,9) | 5,9 ^{cx} (0,2) | 20,6 ^b (0,8) | 21,4 ^b (0,8) | 74,1 ^{cx} (0,5) |
| F50CHM | 50,5 ^{cy} (0,5) | 6,2 ^{cy} (0,2) | 20,8 ^b (0,7) | 21,7 ^b (0,7) | 73,4 ^{cy} (0,6) |
| F75CH | 53,2 ^{cx} (1,2) | 6,2 ^{dx} (0,4) | 20,46 ^b (1,02) | 21,37 ^b (1,06) | 73,2 ^{dx} (0,5) |
| F75CHM | 49,2 ^{cy} (1,8) | 6,8 ^{dy} (0,3) | 20,5 ^b (1,2) | 21,60 ^b (1,17) | 71,6 ^{dy} (0,7) |
| F100CH | 49,5 ^{dx} (3,4) | 7,0 ^{ex} (0,8) | 20,57 ^b (1,98) | 21,72 ^b (2,08) | 71,25 ^{ex} (1,09) |
| F100CHM | 46,2 ^{dy} (1,4) | 7,8 ^{ey} (0,6) | 20,27 ^b (1,02) | 21,72 ^b (1,13) | 69,0 ^{ey} (0,6) |

*Diferentes letras representan diferencias significativas para $p < 0.05$

***(a-e: % sustitución harina; x-y: sustitución con maltitol)*

El color de la masa está influenciado por una serie de factores, entre los que se encuentran el tipo de harina y la cantidad utilizada, ya que el color de ésta influye sobre la pigmentación final del producto. Únicamente la harina de trigo es blanca, puesto que la harina de chufa presenta coloración o tonalidad cercana al color marfil que recuerda al tubérculo al que pertenece. Los valores más bajos de L^* se relacionan con las formulaciones elaboradas con maltitol en sustitución de la sacarosa, excepto F0. En la

formulación elaborada con 100% harina de chufa y maltitol (F100CHM) el valor de L^* fue 46,2 (1,4), la cual es significativamente más baja ($p < 0,05$) que la elaborada con sacarosa (F100CH), que tuvo un valor de 49,5 (3,4). Por otro lado, al comparar las formulaciones en función del porcentaje de harina de chufa que contenían, se puede observar que tal y como cabría esperar, los valores más altos de L^* corresponden a la formulación 100% TR ya que tiene un color más claro. Por ello, a medida que el porcentaje de harina de chufa, es decir, de fibra, se va incrementando, el valor de L^* disminuye.

Los valores de a^* para las formulaciones elaboradas con maltitol fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que las formulaciones elaboradas con sacarosa. En cuanto a la influencia del porcentaje de harina de chufa en los valores de a^* , se ha observado que, los valores más altos corresponden con las formulaciones que contienen 100% harina de chufa, siendo significativamente más altas ($p < 0,05$) que las formulaciones 100% harina de trigo, respectivamente.

Los valores de b^* más altos se corresponden con las formulaciones elaboradas con maltitol, por ejemplo, la formulación 100% harina de chufa y maltitol (F100CHM) tuvo un valor de 20,27 (1,02), la cual es significativamente mayor ($p < 0,05$) que la formulación elaborada con sacarosa (F100CH) que tuvo un valor de 20,57 (1,98). Comparando las formulaciones en función del contenido en harina de chufa, se puede observar que, la que presenta un valor más alto de b^* es la formulación de 25% con CH, siendo un valor de 20,3 (0,9) para F25CH y 21,1 (0,8) para F25CHM.

Respecto al croma, C^* , que se corresponde con la medida de la saturación, los valores cercanos a 0 no representan ninguna orientación hacia ningún color específico, mientras que valores altos corresponden a un color altamente saturado. De esta manera, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la formulación que contenía solo harina de trigo, respecto de las que tenían sustitución total o parcial de harina de chufa. Por otro lado, el tono de las masas, h , indica la orientación relativa del color respecto al origen 0° . El tono se observó influido significativamente tanto por la sustitución de harina de chufa como del maltitol y, disminuyó significativamente a medida que se incorporaba harina de chufa.

En la figura 4 se representa las coordenadas de color L^* frente a^* para todas las masas elaboradas. Se puede observar que al sustituir la harina de trigo por harina de chufa se produce un descenso progresivo de la luminosidad de las muestras y un aumento del color hacia tonos más oscuros, tal y como cabría esperar, al mismo tiempo que la sustitución del azúcar por el maltitol, en general, produce un color más claro en las galletas, a excepción de F0M.

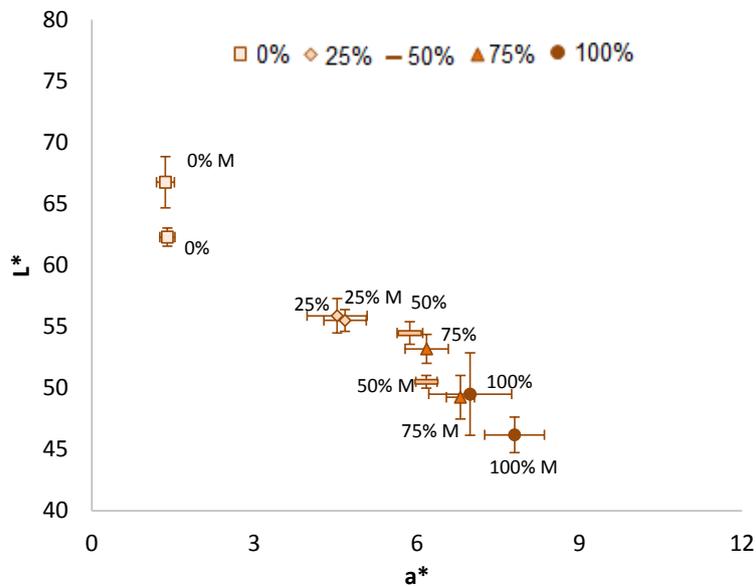


Figura 4. Diagrama cromático (L^* vs a^*) de las masas de galletas.

En la figura 5 se representan las coordenadas de color a^* frente a b^* para todas las masas de galletas. Se puede observar un cambio de color apreciable desde las masas de galletas con 0% harina de chufa, que poseen un color más blanco, hasta las formulaciones 100% CH, más amarillentas.

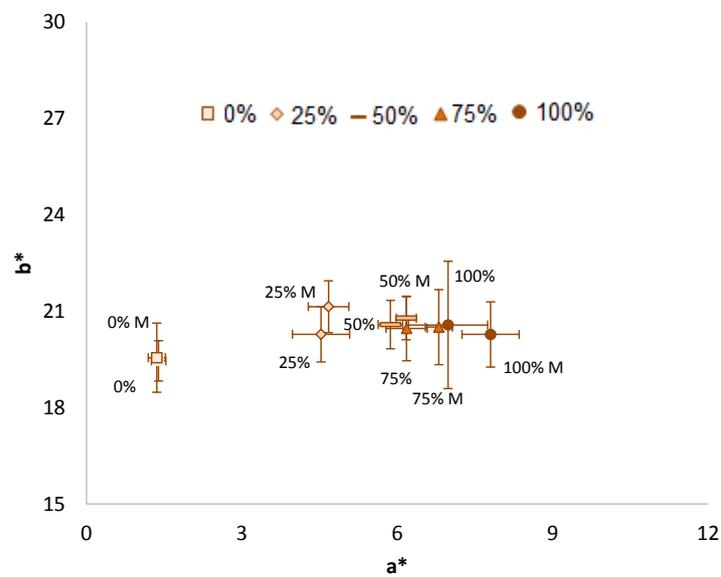


Figura 5. Diagrama cromático (b^* vs a^*) de todas las masas de galletas.

IV.3.2. Análisis del color de la galleta horneada

Los valores medios de L^* , a^* , b^* , C^* y h para las galletas horneadas durante 20 minutos se muestran en la tabla 6. Los valores bajos de L^* se relacionan con colores más oscuros y en el caso de las galletas horneadas, puesto que se obtuvieron unos valores de L^* más altos, supuso una reducción de la luminosidad respecto de sus masas correspondientes.

Tabla 6. Media y desviación estándar del color de las galletas*.

| Formulación | L^* | a^* | b^* | C^* | h |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| F0 | 76,7 ^{ax} (2,7) | 4,3 ^{ax} (1,2) | 22,17 ^{ax} (2,07) | 22,6 ^{ax} (2,2) | 79,2 ^{a**} (2,2) |
| F0M | 77,1 ^{ay} (2,6) | 2,2 ^{ay} (0,3) | 21,3 ^{ay} (0,8) | 21,4 ^{ay} (0,8) | 84,1 ^b (0,7) |
| F25CH | 71,6 ^{bx} (1,4) | 5,6 ^{bx} (0,9) | 22,7 ^{bx} (1,59) | 23,3 ^{bx} (1,7) | 76,2 ^b (1,5) |
| F25CHM | 70,73 ^{by} (1,02) | 5,0 ^{by} (0,3) | 23,5 ^{by} (0,9) | 24,0 ^{by} (0,9) | 78,0 ^b (0,6) |
| F50CH | 70,1 ^{cx} (1,7) | 5,2 ^{bx} (0,4) | 22,3 ^{bx} (1,2) | 22,9 ^{bx} (1,3) | 76,9 ^{bc} (0,8) |
| F50CHM | 65,0 ^{cy} (1,3) | 6,9 ^{by} (0,4) | 25,5 ^{by} (0,7) | 26,4 ^{by} (0,7) | 74,9 ^{bc} (0,9) |
| F75CH | 66,4 ^{dx} (2,8) | 6,3 ^{cx} (1,5) | 24,2 ^{cx} (1,5) | 25,0 ^{cx} (1,9) | 75,6 ^{cd} (2,3) |
| F75CHM | 61,7 ^{dy} (0,9) | 7,6 ^{cy} (0,5) | 26,3 ^{cy} (0,9) | 27,37 ^{cy} (0,95) | 73,8 ^{cd} (0,7) |
| F100CH | 64,4 ^{ex} (0,3) | 6,29 ^{cx} (0,12) | 24,4 ^{cx} (0,6) | 25,2 ^{cx} (0,6) | 75,5 ^d (0,4) |
| F100CHM | 57,1 ^{ey} (1,7) | 9,0 ^{cy} (0,8) | 27,2 ^{cy} (0,7) | 28,6 ^{cy} (0,9) | 71,63 ^d (1,14) |

*Diferentes letras representan diferencias significativas para $p < 0.05$

** $(a-e: %$ sustitución harina; $x-y:$ sustitución con maltitol)

Al igual que ocurría con las masas, los valores más bajos de L^* se relacionan con las galletas elaboradas con maltitol, siendo este resultado coherente al compararlo con estudios de otros autores (Taylor et al., 2008) con sacarosa, fructosa y tagatosa. Como puede observarse en las galletas, estos autores aclaran que la sacarosa no participa directamente en las reacciones de Maillard al no tratarse de un azúcar reductor y, por ello, las masas elaboradas con sacarosa pueden resultar más claras. Al comparar las galletas en función del contenido en CH, se observa que, al igual que ocurría con las masas, los valores más altos de L^* corresponden a la formulación 100% TR. Por ello, a medida que el porcentaje de harina de chufa se va incrementando, el valor de L^* disminuye. Investigaciones realizadas por Romero-Baranzini et al. (2011) mostraron valores de L^* en las galletas con 100% harina de trigo superiores a los obtenidos en galletas con 30% salvado fino y 30% semitilla, lo cual muestra que, las galletas 100% harina de trigo fueron más blancas que las enriquecidas en fibra.

Los valores de a^* de las galletas son mayores que el de sus masas y, por tanto, el color de las galletas vira hacia el marrón a diferencia de las masas, que tenían un color más amarillo. Los valores de a^* de las galletas que contienen 100% TR y las que poseen una sustitución del 25% de CH son significativamente menores ($p < 0,05$) en las elaboradas con maltitol en lugar de sacarosa. Mientras que las galletas con un 50%, 75% y 100% CH, el valor de a^* es menor en las elaboradas con sacarosa en lugar de maltitol. Por otro lado, las galletas que contienen mayores porcentajes de CH presentan valores significativamente ($p < 0,05$) más altos de a^* , a excepción de F50CH y F50CHM. Romero-Baranzini et al. (2011) reportan valores de este parámetro de 7,50, 6,82 y 7,46 para galletas con 30% salvado grueso, 30% salvado fino y 30% semitilla, respectivamente, siendo mayores que los obtenidos para la galleta control.

Los valores de b^* en las galletas aumentan en comparación con los resultados obtenidos en sus masas. Debido a ello, las galletas presentan un color superficial más amarillo que las masas con las que se elaboraron. Los valores de a^* más altos se corresponden con las galletas elaboradas con maltitol. Por otro lado, las galletas que presentan valores más altos de b^* son aquellas que tienen mayores porcentajes de CH, siendo la formulación 100% CH significativamente más alta ($p < 0,05$) que el resto.

En cuanto al croma, C^* , se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las galletas con distinto porcentaje de sustitución de harina de chufa y también entre aquellas que contenían maltitol y sacarosa. Por otro lado, el tono de las masas, h , se ha visto influido significativamente ($p < 0,05$) por la sustitución de harina de chufa, el cual disminuía a medida que se incorporaba esta harina.

En la figura 6 puede observarse la representación del color de las galletas de L^* frente a a^* . Al igual que en las masas, la sustitución de TR por CH supone un descenso de la luminosidad y por ello, las formulaciones con mayor contenido en CH son las más oscuras. Además, las galletas elaboradas con sacarosa fueron más blancas que las que contenían maltitol, a excepción de F0. Observando el parámetro a^* , las galletas con mayores porcentajes de CH desarrollaron cambios de color hacia tonalidades marrones.

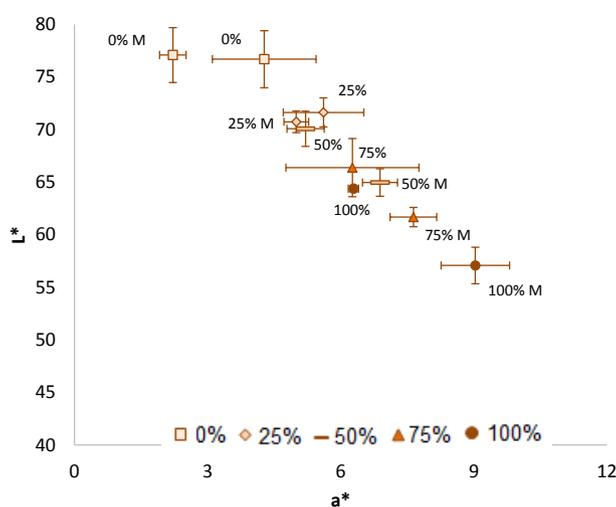


Figura 6. Diagrama cromático (L^* , a^*) de las galletas.

Las galletas 100% TR (figura 7) poseen un color más amarillo que las elaboradas con algún porcentaje de harina de chufa. A medida que este porcentaje aumenta, se produce un cambio de color hacia tonalidades más oscuras, virando al marrón. También se puede observar que, las galletas con maltitol tienen un color más marrón y oscuro que las que no lo contienen, a excepción de la F25CH.

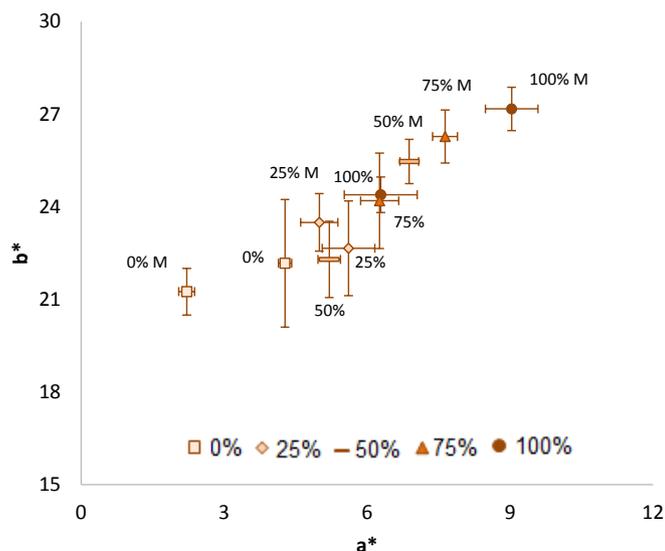


Figura 7. Diagrama cromático (b^* , a^*) de las galletas.

Por otro lado, aquellas formulaciones elaboradas con sacarosa mostraron una mayor superficie agrietada, como se pueden observar en la figura 8. Esto podría ser debido a que, tal y como sugieren algunos estudios (Pareyt et al., 2009), durante el horneado, la recristalización de la sacarosa podría ser la causante de la típica superficie agrietada de las galletas.

SACAROSA



MALTITOL



0% CH

25% CH

50% CH

75% CH

100% CH

Figura 8. Efecto de la sustitución de TR por CH en galletas elaboradas con sacarosa y maltitol.

IV.4. ANÁLISIS DE LA TEXTURA

IV.4.1. Análisis de las propiedades reológicas de la masa cruda

El análisis del TPA, realizado tal y como está descrito en el apartado III.2.7. de Materiales y métodos, proporciona datos de dureza, adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad de las masas de las galletas preparadas con diferentes sustituciones de harina de chufa y maltitol. La tabla 7 muestra los valores obtenidos de los parámetros reológicos de las masas estudiadas.

Tabla 7. Media y desviación estándar de los parámetros reológicos de masas.

| Formulación | Dureza (N)* | Adhesividad (N-s)* | Elasticidad* | Gomosidad* | Cohesividad* |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| F0 | 220,3 ^a (37,8) | -0,37 ^{ax} (0,05) | 0,54 ^a (0,04) | 122,7 ^{ax} (18,3) | 0,56 ^{ax**} (0,04) |
| F0M | 322,3 ^a (45,3) | -0,5 ^{ay} (0,2) | 0,71 ^a (0,08) ^{bc} | 236,38 ^{ay} (40,14) | 0,73 ^{ay} (0,05) |
| F25CH | 142,4 ^b (43,7) | -0,10 ^{ax} (0,05) | 0,60 (0,09) ^{bc} | 78,4 ^{bx} (26,7) | 0,54 ^{ax} (0,07) |
| F25CHM | 174,8 ^b (35,8) | -0,55 ^{ay} (0,13) | 0,56 (0,12) | 96,0 ^{by} (13,4) | 0,56 ^{ay} (0,08) |
| F50CH | 92,2 ^b (35,6) | -0,06 ^{ax} (0,03) | 0,47 ^{cd} (0,16) | 39,8 ^{cx} (13,3) | 0,45 ^{ax} (0,08) |
| F50CHM | 169,22 ^b (21,05) | -0,59 ^{ay} (0,17) | 0,59 ^{cd} (0,08) | 78,5 ^{cy} (13,8) | 0,46 ^{ay} (0,06) |
| F75CH | 93,7 ^c (4,2) | -0,24 ^{bx} (0,13) | 0,54 ^{cd} (0,05) | 33,3 ^{dx} (3,2) | 0,36 ^{bx} (0,03) |
| F75CHM | 73,4 ^c (34,5) | -1,6 ^{by} (0,3) | 0,47 ^{cd} (0,06) | 27,8 ^{dy} (12,5) | 0,41 ^{by} (0,08) |
| F100CH | 108,5 ^c (11,4) | -0,19 ^{bx} (0,07) | 0,54 ^d (0,09) | 41,4 ^{dx} (4,6) | 0,38 ^{bx} (0,04) |
| F100CHM | 58,33 ^c (29,02) | -1,75 ^{by} (1,02) | 0,45 ^d (0,06) | 22,1 ^{dy} (10,4) | 0,40 ^{by} (0,07) |

*Diferentes letras representan diferencias significativas para $p < 0.05$

** (a-d: % sustitución harina; x-y: sustitución con maltitol)

Normalmente, la utilización de otras harinas -distintas de la harina de trigo- provocan un cambio en las propiedades tecnológicas que dan lugar a comportamientos diferentes y problemas relacionados con la producción de masas excesivamente blandas o duras, lo que puede conllevar a una reducción de la calidad del producto final (Collar, 2008).

La dureza, fuerza requerida para comprimir la masa en la primera compresión, fue superior en las masas con 100% TG, las cuales presentan valores significativamente más altos ($p < 0,05$) y disminuye a medida que aumenta el contenido de harina de chufa en las formulaciones (figura 9). La harina de TR tiene un tamaño de partícula menor y han resultado más duras tal y como otros autores han observado para harinas finas (Zucco et

al., 2011). Según algunos estudios (Sudha et al., 2007), se ha observado que las masas enriquecidas en fibra presentan menor resistencia a la extensión al parecer debido a la interacción de los polisacáridos y las proteínas de la harina de trigo.

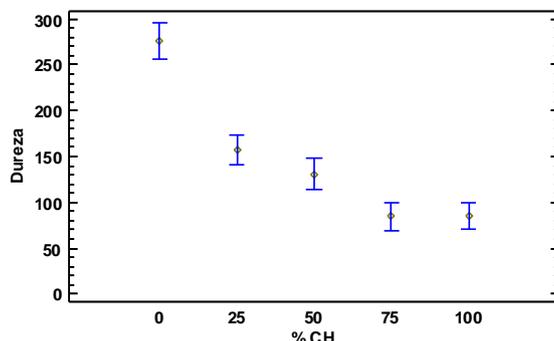


Figura 9. Medias e Intervalos LSD de la dureza de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa.

En cuanto a la adhesividad, o facilidad de eliminar la masa de una superficie después de la primera compresión, puede observarse que las masas con sacarosa son significativamente más adhesivas ($p < 0,05$) que las masas que contienen maltitol (figura 10). La adhesividad se ve incrementada de un -1,75 (1,02) N-s de la formulación 100% harina de chufa con maltitol (F100CHM) a un -0,19 (0,07) de la formulación con sacarosa (F100CH). Los resultados obtenidos fueron contrastados con la bibliografía (Taylor et al., 2008) y demostraron ser coherentes. Por otro lado, las formulaciones con harina de trigo tienen mayor adhesividad y ésta disminuye con el contenido en CH, pero no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las masas de 0, 25 y 50% y las de 75 y 100% harina de chufa. Sin embargo, investigaciones realizadas por otros autores (Raymundo et al., 2014) mostraron que las masas que tenían un mayor contenido en fibra presentaban mayores valores de adhesividad.

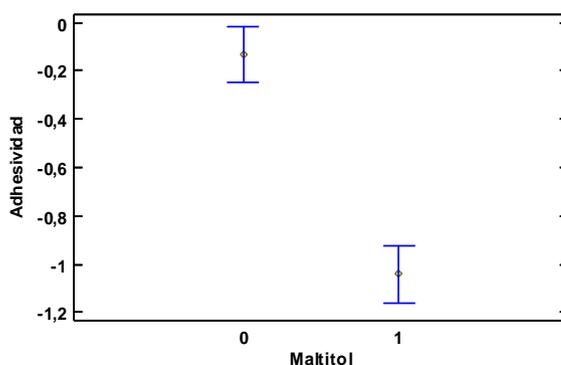


Figura 10. Medias e Intervalos LSD de la adhesividad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol).

La elasticidad es la capacidad de la masa deformada de recuperar la forma inicial después de la primera compresión. La elasticidad de las masas con 100% TG disminuye progresivamente al aumentar la cantidad de harina de chufa en la formulación (figura 11). Sin embargo, los resultados de otros estudios (Raymundo et al., 2014) mostraron que un

aumento del contenido en fibra parece ser que conduce a una mayor elasticidad de las masas.

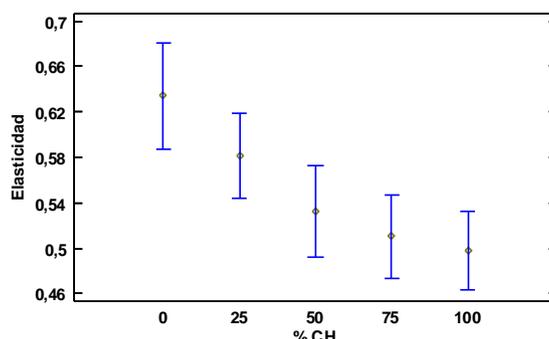


Figura 11. Medias e Intervalos LSD de la elasticidad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa.

Las masas de galletas que contienen maltitol en lugar de sacarosa (figura 12) presentan valores significativamente mayores de gomosidad, a excepción de F75CHM y F100CHM. Por otro lado, la masa 100% TG tiene valores significativamente más altos ($p < 0,05$) que las masas con una sustitución del 25, 50, 75 y 100% de harina de chufa. Los resultados también revelaron que, al parecer, la gomosidad es una de las propiedades reológicas de las masas que proporciona una variación más apreciable con la adición de fibra.

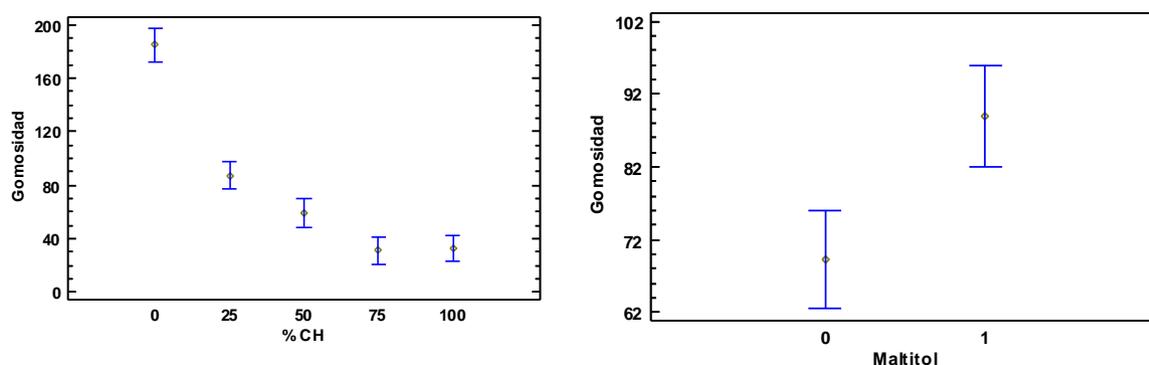


Figura 12. Medias e Intervalos LSD de la gomosidad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol).

La cohesividad representa la fuerza de las uniones internas que mantiene unida la estructura de la masa. Las masas elaboradas con maltitol (figura 13) tienen valores significativamente más altos ($p < 0,05$) que las elaboradas con sacarosa. Por otro lado, las formulaciones que contienen 100% harina de trigo, presentan valores significativamente más altos ($p < 0,05$) que el resto de formulaciones con distintos porcentajes de harina de chufa en las cuales la cohesividad disminuye progresivamente, a excepción de F100CH. Estos resultados fueron contrastados con otros autores (Raymundo et al., 2014) que observaron que las masas con mayor contenido en fibra poseían menores valores de cohesividad.

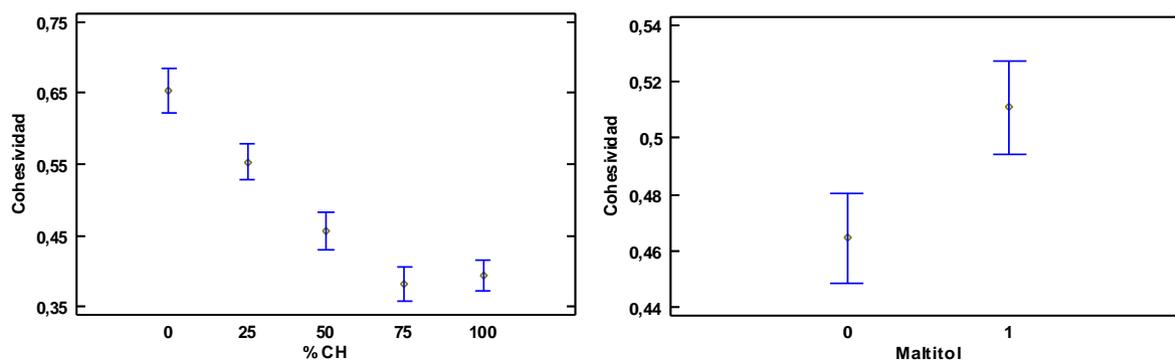


Figura 13. Medias e Intervalos LSD de la cohesividad de la masa de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol).

IV.4.2. Análisis de textura de las galletas horneadas

El análisis de Flexión en Tres Puntos, apartado III.2.7., proporciona los datos de la firmeza de las galletas preparadas con diferentes sustituciones de harina de chufa y maltitol. La fuerza necesaria para romper la galleta es un parámetro muy importante de la calidad final de la galleta. La tabla 8 contrasta los distintos valores de la firmeza (N) obtenidos en cada una de las formulaciones.

Tabla 8. Media y desviación estándar de la Firmeza de las galletas.

| Formulación | F (N)* |
|-------------|-----------------------------|
| F0 | 54,6 (17,9) ^{ax**} |
| F0M | 43,7 (26,8) ^{ay} |
| F25CH | 46,6 (6,1) ^{ax} |
| F25CHM | 65,6 (11,3) ^{ay} |
| F50CH | 86,8 (9,8) ^{bx} |
| F50CHM | 68,6 (18,4) ^{by} |
| F75CH | 54,7 (6,9) ^{bx} |
| F75CHM | 98,5 (13,2) ^{by} |
| F100CH | 45,1 (13,3) ^{bx} |
| F100CHM | 91,8 (16,7) ^{by} |

*Diferentes letras representan diferencias significativas para $p < 0.05$

***(a-b: % sustitución harina; x-y: % sustitución con maltitol)*

Las galletas elaboradas con maltitol presentaron valores de firmeza significativamente ($p < 0,05$) más altos que las galletas que contenían sacarosa, a excepción de F0CHM y F50CHM. Por otro lado, las galletas elaboradas con mayor

contenido en harina de chufa (F50CH, F75CH y F100CH) mostraron valores significativamente ($p < 0,05$) más altos que las elaboradas con harina de trigo. Algunos estudios (Sudha et al., 2007), mostraron un incremento de la firmeza en galletas que contenían mayores porcentajes de fibra.

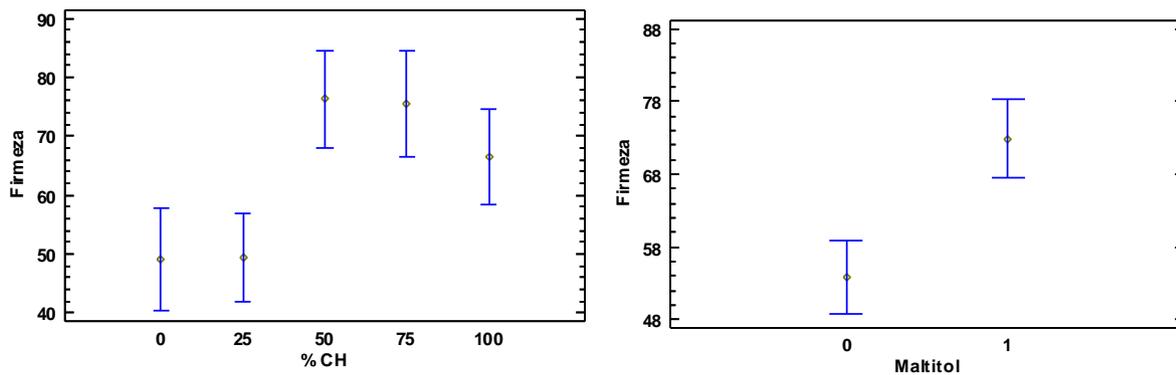


Figura 14. Medias e Intervalos LSD de la firmeza de las galletas frente al % de harina de chufa y frente a la sustitución de maltitol (0=azúcar; 1= maltitol).

La diferencia entre el tamaño de partículas de las diferentes mezclas de harinas, analizado anteriormente, se puede observar claramente en las variaciones de la firmeza de las galletas resultantes. Esto podría explicar el incremento de los valores de firmeza de las galletas formuladas con mayor contenido en harina de chufa, que se corresponden con mayores tamaños de partícula. Observaciones similares han sido comprobadas por otros autores (Zucco et al., 2011) para harinas finas de legumbres.

IV.5. ANÁLISIS SENSORIAL

Los resultados del análisis sensorial se obtuvieron de acuerdo al apartado III.2.8. de Materiales y Métodos. Este análisis se realizó para 44 individuos, 32 mujeres y 12 hombres, comprendidos en un intervalo entre los 18 y los 65 años. Este panel de catadores no entrenados probó 4 formulaciones (F25CH, F50CH, F75CH y F100CH) de galletas. Se optó por el estudio de la incorporación de CH en las galletas sobre las características sensoriales por considerarse más importante su influencia en base a pruebas preliminares. La presencia o ausencia de M no fue considerada tan relevante en la aceptación del producto terminado y, por tanto, no se llevó a cabo su análisis sensorial.

La tabla 9 compara los valores obtenidos de las diferentes formulaciones en el análisis sensorial. Los resultados fueron representados mediante una gráfica de dispersión radial (figura 15) y la apreciación global con un diagrama de barras (figura 16).

Tabla 9. Media y desviación estándar de la evaluación sensorial de las galletas.*

| Formulación | Aroma | Color | Textura | Sabor | Dulzor | Apreciación global |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| F25CH | 4,8 ^a (1,2) | 4,9 ^a (1,2) | 4,3 ^{ab} (1,4) | 4,3 ^a (1,6) | 4,4 ^a (1,4) | 4,3 ^a (1,3) |
| F50CH | 4,91 ^a (1,03) | 4,86 ^a (1,15) | 4,9 ^b (1,3) | 4,7 ^a (1,4) | 4,8 ^a (1,4) | 4,9 ^b (1,2) |
| F75CH | 4,8 ^a (1,3) | 4,2 ^b (1,3) | 4,5 ^{ab} (1,4) | 4,8 ^a (1,3) | 4,7 ^a (1,2) | 4,7 ^{ab} (1,3) |
| F100CH | 4,5 ^a (1,3) | 5,18 ^a (1,12) | 4,2 ^a (1,7) | 4,3 ^a (1,5) | 4,5 ^a (1,5) | 4,4 ^{ab} (1,5) |

*Diferentes letras representan diferencias significativas para $p < 0.05$

Como se aprecia en la figura 15, el color de las galletas obtuvo una mayor puntuación en la formulación con mayor contenido en harina de chufa, es decir, en fibra, si bien las diferencias no fueron significativas. La incorporación de CH incrementó el color superficial hacia marrones oscuros. Con un 75% de sustitución de CH, el color de las galletas fue el que menos agradó a los catadores. Sin embargo, en investigaciones realizadas por Sudha et al. (2007) el color obtuvo menor puntuación a medida que aumentaba el contenido en fibra, si bien estos autores emplearon salvados. La harina de chufa posee tonalidades marfil que aportan una coloración más aceptada que otras fibras vegetales. Por tanto, las variaciones de color propias de las galletas ricas en fibra no penalizaron, en este caso, su aceptación por parte del consumidor. En cuanto al aroma, textura y dulzor la que más se apreció fue la formulación F50CH (solo significativo para la textura y el dulzor). Respecto al sabor, los resultados mostraron que F75CH y F50CH tuvieron casi la misma valoración con mayor puntuación sobre las otras, si bien el efecto no fue significativo. A diferencia de esto, en los estudios realizados por los anteriores autores, las galletas que tuvieron mayor aceptación de la textura y el sabor fueron aquellas con menor contenido en fibra lo cual indica que la sustitución de TR por CH puede resultar más interesante a la hora de incorporar fibra de una forma más aceptable para el consumidor final.

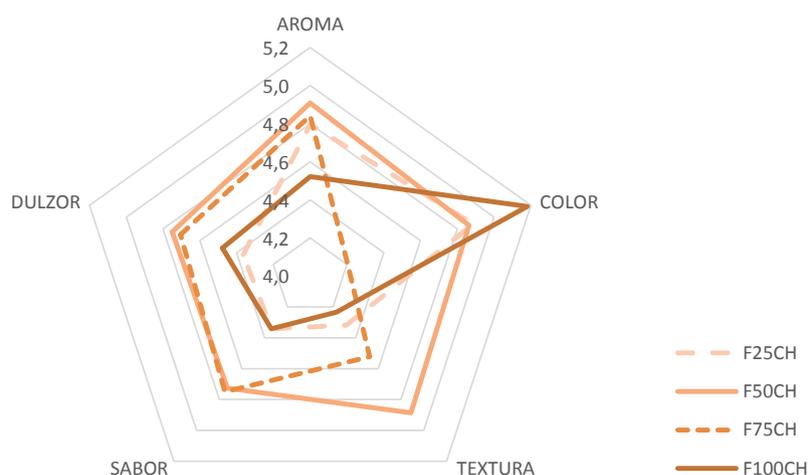


Figura 15. Distribución del análisis sensorial de las galletas.

La apreciación global de las galletas, figura 16, mostró que la mejor valorada fue la formulación que contenía un 50% de sustitución para la mayoría de los catadores y la que menos la formulación con menor contenido en CH. Otros autores (Sudha et al., 2007) han observado una buena aceptación de la calidad en galletas con hasta un 20% de sustitución de salvado de trigo y de cebada y de hasta un 30% de salvado de avena. Por tanto, la incorporación de harina de chufa a niveles mayores del 30% es mejor aceptada por el consumidor final que incorporando otros tipos de fibra, pudiendo llegar a niveles de sustitución del 50-75% con una buena aceptación.

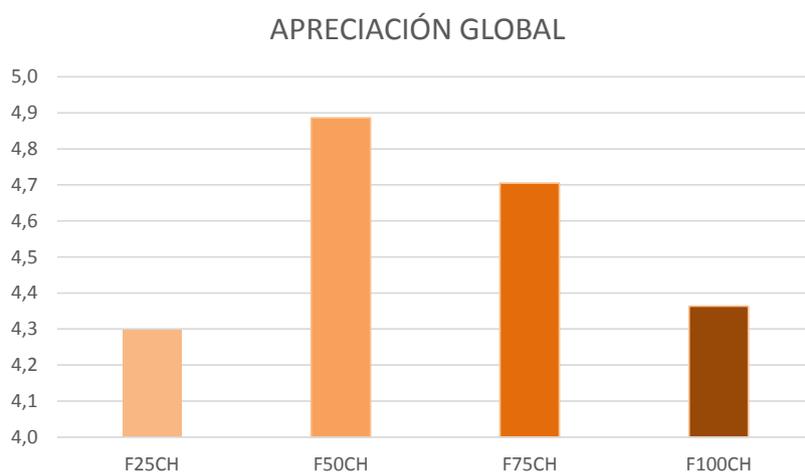


Figura 16. Distribución de la apreciación global obtenida en el análisis sensorial de las galletas.

V. CONCLUSIONES

La sustitución de harina de trigo por harina de chufa afecta a las características reológicas, al análisis del color, la a textura y a la calidad final de las galletas dentro del intervalo de sustituciones ensayadas en el presente trabajo.

Respecto a las Masas:

La dureza y la gomosidad son las propiedades reológicas que más se ven afectadas por el contenido en fibra de las masas. En general, las propiedades reológicas, dureza, adhesividad, elasticidad y cohesividad, disminuyen a medida que aumenta el contenido en harina de chufa, que podrían ser debidos a una menor presencia del gluten, responsable de la formación de la red proteica que aporta estructuración en las masas. La influencia de la sustitución de la sacarosa por maltitol ha mostrado unos valores mayores de gomosidad y cohesividad.

Respecto a las Galletas:

La incorporación de harina de chufa produce un cambio de color hacia tonalidades pardo-rojizas y menos amarillentas por la reducción de harina de trigo. Este oscurecimiento, apreciable a simple vista, se debe a la coloración propia de la harina de chufa y fueron tonalidades bien aceptadas por el consumidor.

El ensayo de textura ha mostrado una mayor firmeza para las galletas con maltitol y un aumento progresivo a medida que se incrementa el contenido en harina de chufa en la galleta final.

El análisis sensorial mostró que la formulación elaborada con un 50% de harina de chufa (F50CH) fue la más aceptada. Esta formulación fue la que presentó mayor firmeza en comparación con el resto de formulaciones con sacarosa y un color intermedio por efecto de la harina.

Los análisis realizados sobre las galletas mostraron que la fibra juega un papel muy importante en la firmeza y en el color, parámetros esenciales en la calidad del producto final. La harina de chufa es una fuente importante de fibra con un buen potencial en su aplicación en productos de panadería y derivados para consumidores con intolerancias alimentarias (celíacos). Además, si se realiza la sustitución de la sacarosa por el maltitol permitiría su consumo en personas diabéticas.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2009). Approved Methods of Analysis 11th Ed. Método 44-40; 10-50.05. American Association of Cereal Chemists International Approved Methods of Analysis.
- Boletín Oficial Del Estado (BOE).
<http://www.boe.es/>
- CASP, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal*. Síntesis D.L. Madrid. 326 pp.
- COLLAR, C. (2008). Novel high fibre and whole grain breads. *Technology of Funtional Cereal Products* 9, 184-214.
- CUBERO, N.; MONFERRER, A.; VILLALTA, J. (2002). Edulcorantes, en: *Aditivos alimentarios*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 189-207.
- DREWNOWSKI, A.; NORDENSTEN, K.; DWYER, J. (1998). Replacing sugar and fat in cookies: impact on product quality and preference. *Food quality and Preference* 9, 13-20.
- EMPRESA TIGERNUTS.
http://www.tigernuts.es/empresa_tigernuts_traders.html
- GARCÍA PERIS, P.; VELASCO GIMENO, C. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición Hospitalaria* 2, 20-25.
- HERNÁNDEZ, A. (2015). *Estudio del comportamiento reológico de pasta enriquecida en fibra dietética y con incorporación de hidrocoloides*. Trabajo fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. 31 pp.
- KAUR, M.; SINGH SANDHU, K.; ARORA, A.; SHARMA, A. (2015). Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. *Food science and Technology* 62, 628-632.
- LAGUNA, L. (2013). *Reformulación de galletas de masa corta: cambios de reología, textura y propiedades sensoriales*. Tesis Doctoral en Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. 325 pp.
- MARTÍNEZ MONZÓ, J.; GARCÍA SEGOVIA, P. (2001). Alimentación, nutrición y dietética, en: *Nutrición humana*. Ed. Universitat Politècnica de València. Valencia. 384 pp.
- MESAS, J.M.; ALEGRE, M.T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5, 307-313.

- MUÑOZ, C. (2013). *Utilización de los subproductos de la horchata de chufa en la industria cárnica*. Especialidad Química Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. 47 pp.
- PAREYT, B.; A. DELCOUR, J. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 48, 824-839.
- PAREYT, B.; TALHAOUI, F.; KERCKHOFS, G.; BRIJS, K.; GOESAERT, H.; WEVERS, M.; A. DELCOUR, J. (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. *Journal of Food Engineering* 90, 400-408.
- PASCUAL-SEVA, N.; SAN BAUTISTA, A.; LÓPEZ-GALARZA, S.; PATIL, B.; MAROTO, J.V; PASCUAL, B. (2013). *Análisis fitoquímico de tubérculos de chufa*. Universitat Politècnica de València. 6 pp.
- RAMOS HERRERO, J. (2012). *Establecimiento del cultivo in vitro de la chufa de Valencia*. Proyecto de fin de máster en mejora genética vegetal. Universitat Politècnica de València. 63 pp.
- RAYMUNDO A.; FRADINHO P.; NUNES M.C. (2014). Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive carbohydrates and dietary fibre* 3, 96-105.
- REÁTEGUI, D.; MAURY, M. I.; CHIRINOS, C.; CHIRINOS, F.; ARICARI, L. (2001). Elaboración de galletas utilizando harinas sucedáneas obtenidas con productos de la región. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria* 1, 43-48.
- Real Decreto 1124/1982, de 30 de abril. Por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Fabricación, Circulación y Comercio de Galletas. Define las galletas, clasificación (dentro de esta definición de galletas). BOE 04/06/1982.
- ROMERO-BARANZINI, A.L.; SALAZAR GARCÍA, M.G.; REYES-PÉREZ, F.; GARCÍA VILLA, A. L. (2011). Galletas enriquecidas con fibra a partir de subproductos de la molienda del trigo. *Revista Epistemus* 10, 34-39.
- SUDHA, M.L.; VETRIMANI R.; LEELAVATHI, K. (2007). Influence of fibre from different cereal son the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food chemistry* 100, 1365-1370.
- TAYLOR, T.P.; FASINA, O.; BELL, L.N. (2008). Physical properties and consumer liking of cookies prepared by replacing sucrose with tagatose. *Journal of Food Science* 3, 145-151.
- ZHANG, D.; MOORE, W.R. (1997). Effect of wheat bran particle size on dough rheological properties. *Journal of Science Food Agriculture* 74, 490-496.

ZUCCO, F.; BORSUK, Y.; ARNTFIELD, S.D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *Food Science and Technology* 44, 2070-2076.

VII. ANEXOS

FICHA DE CATA

DATOS PERSONALES:

EDAD

Entre 18 y 25 Entre 26 y 40 Entre 41 y 65 Más de 65

SEXO

Masculino Femenino

¿Consume galletas?

Nunca Ocasionalmente Frecuentemente

INSTRUCCIONES:

- Evalúe siempre las muestras en el orden establecido en la tabla.
- Espere al menos 30 segundos entre las muestras y beba agua.
- Para evaluar cada uno de los parámetros, la puntuación será del 1 al 7 según la siguiente escala:

1. Me disgusta muchísimo
2. Me disgusta bastante
3. Me disgusta ligeramente
4. Ni me gusta ni me disgusta
5. Me gusta ligeramente
6. Me gusta bastante
7. Me gusta muchísimo

| Referencia | AROMA | COLOR | TEXTURA | SABOR | DULZOR | APRECIACIÓN GLOBAL |
|------------|-------|-------|---------|-------|--------|--------------------|
| 527 | | | | | | |
| 325 | | | | | | |
| 183 | | | | | | |
| 701 | | | | | | |

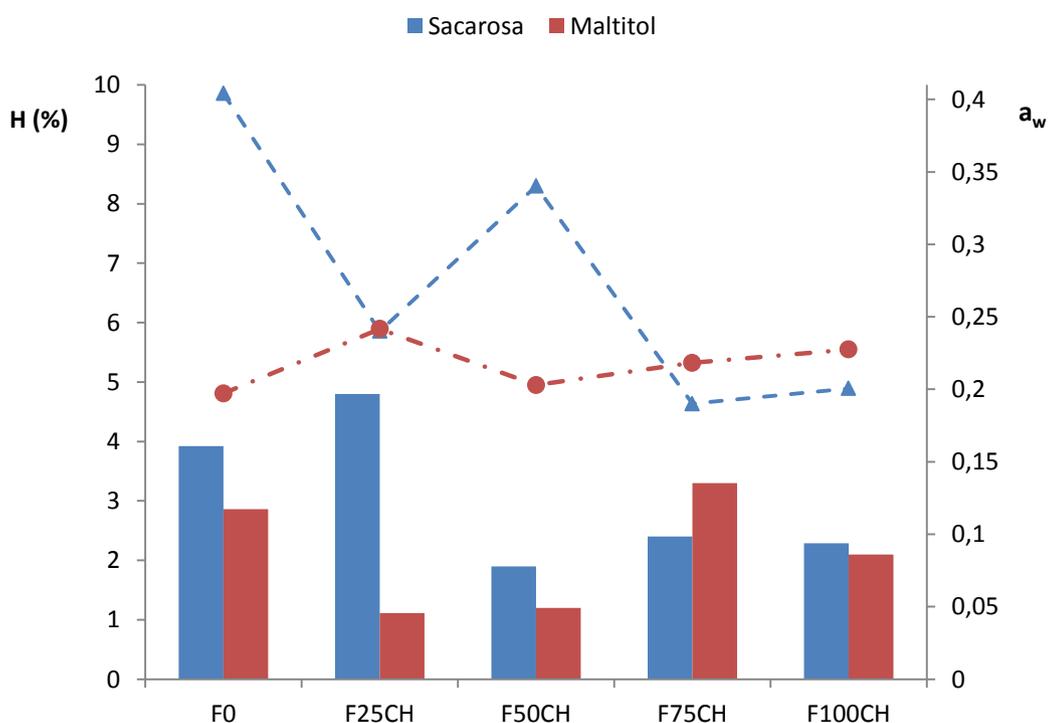
¿Comprarías este producto?

527 _____ 325 _____ 183 _____ 701 _____

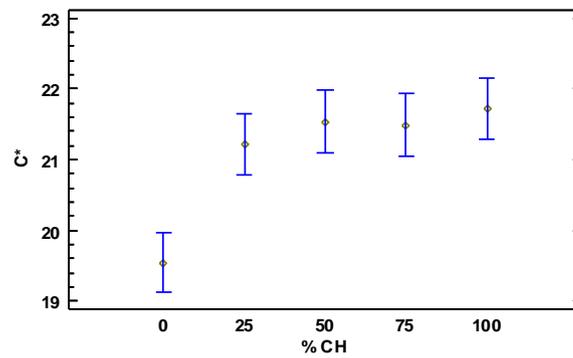
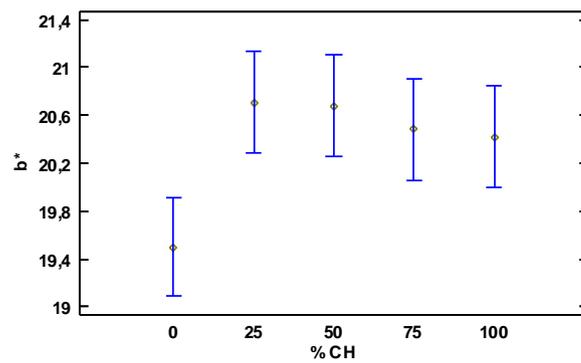
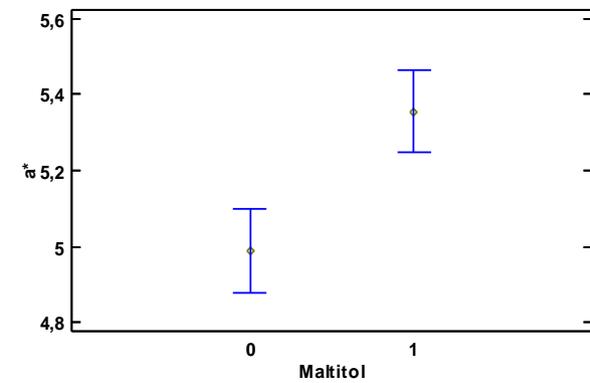
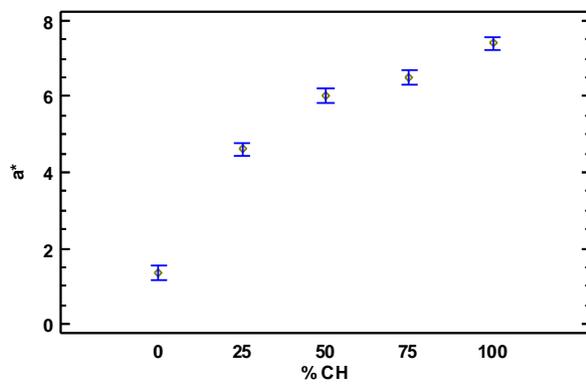
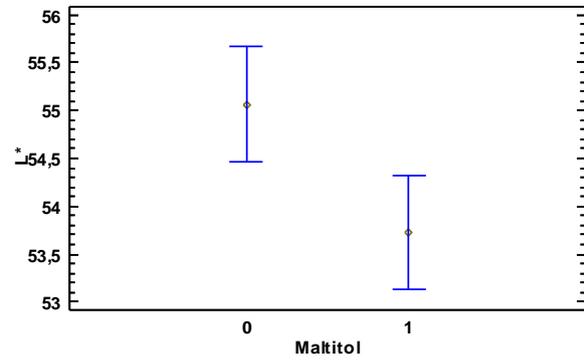
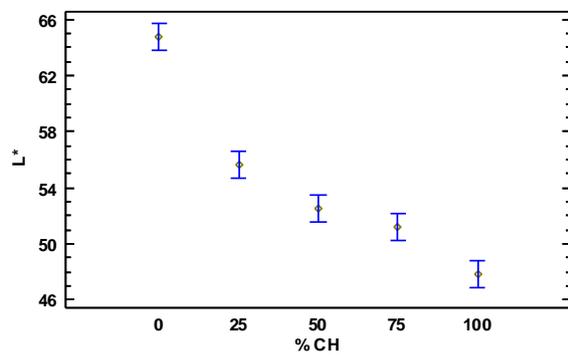
COMENTARIOS: _____

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS MASAS DE GALLETAS

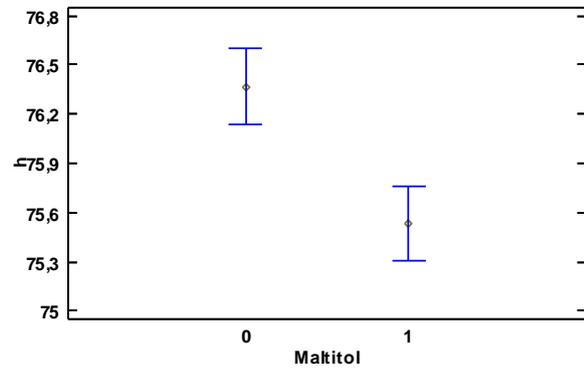
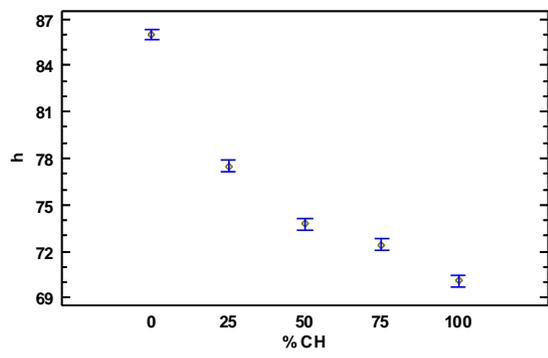
| Formulación | Humedad | Diámetro (cm) | Espesor (cm) | Peso (g) | a_w |
|----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|--------|
| F0 | 16,2 (0,3) | 5,92 (0,04) | 0,64 (0,03) | 22,5 (1,15) | 0,8166 |
| F0M | 11,6 (0,5) | 5,85 (0,05) | 0,61 (0,02) | 19,9 (0,6) | 0,8549 |
| F25CH | 15,39 (0,15) | 5,88 (0,04) | 0,52 (0,03) | 19,0 (0,8) | 0,8144 |
| F25CHM | 13,1 (0,3) | 5,89 (0,04) | 0,55 (0,05) | 19,3 (1,2) | 0,8317 |
| F50CH | 12,15 (0,14) | 5,88 (0,04) | 0,63 (0,03) | 21,1 (0,9) | 0,8058 |
| F50CHM | 12,17 (0,04) | 5,86 (0,05) | 0,55 (0,05) | 19,1 (0,6) | 0,8063 |
| F75CH | 13,1 (1,9) | 5,88 (0,04) | 0,62 (0,02) | 20,1 (0,7) | 0,7967 |
| F75CHM | 9,4 (0,2) | 5,88 (0,09) | 0,6 (0,03) | 21,01 (0,97) | 0,7792 |
| F100CH | 11,62 (0,09) | 5,856 (0,098) | 0,56 (0,05) | 17,9 (2,5) | 0,7900 |
| F100CHM | 11,2 (2,6) | 5,93 (0,05) | 0,61 (0,02) | 20,7 (0,5) | 0,7767 |



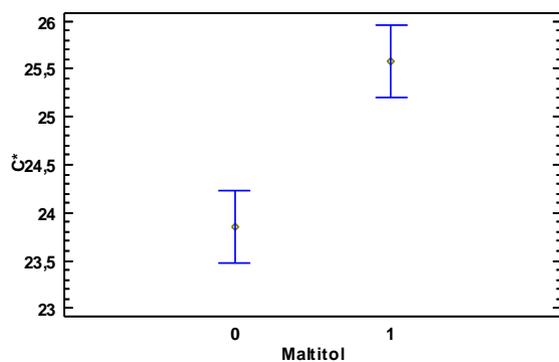
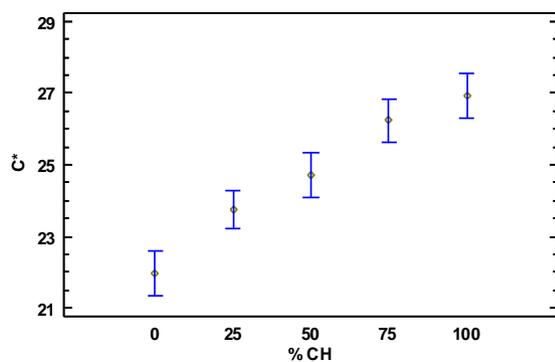
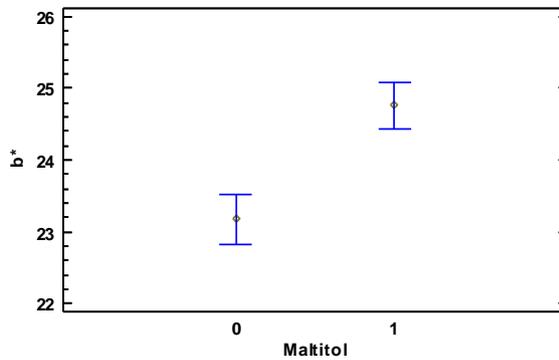
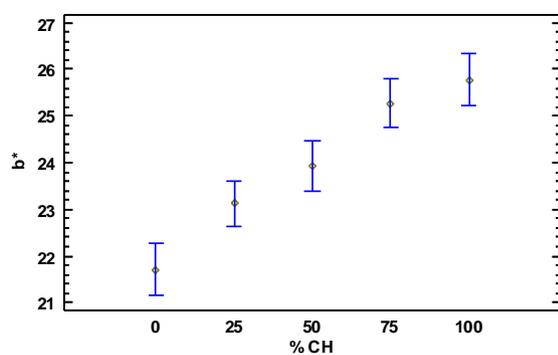
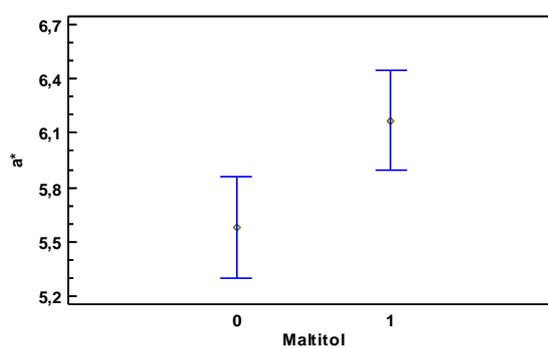
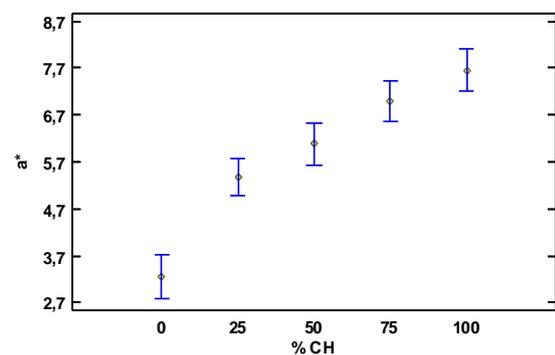
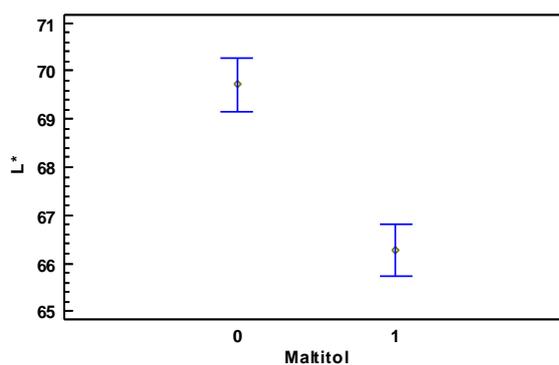
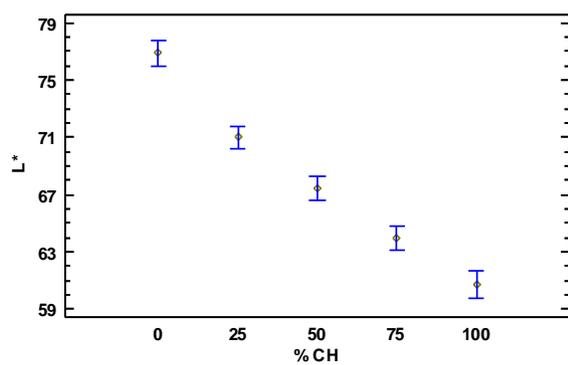
ANÁLISIS DE COLOR EN LAS MASAS DE GALLETAS



ANÁLISIS DE COLOR EN LAS MASAS DE GALLETAS (*cont.)



ANÁLISIS DE COLOR EN GALLETAS



ANÁLISIS DE COLOR EN GALLETAS (*cont.)

