

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

***CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS, ESTRUCTURALES Y
SENSORIALES DE PANES ELABORADOS A BASE DE
HARINA DE CHUFA***

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNA: Marta Juliá Medina

TUTORA: Dra. Ana M^a Albors Sorolla

CO-TUTORA: Dra. M^a Eugenia Martín Esparza

Curso Académico: 2015/2016

Valencia, julio de 2016



CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS, ESTRUCTURALES Y SENSORIALES DE PANES ELABORADOS A BASE DE HARINA DE CHUFA

RESUMEN:

En el presente proyecto se ha realizado un llevado a cabo la optimización del proceso de fabricación de panes elaborados a partir de harina de trigo y la sustitución parcial de esta por harina de chufa. El objetivo es la obtención de productos fermentados con buenas características reológicas, estructurales y sensoriales que permitan el manejo y aceptación del producto, así como un valor nutricional añadido (especialmente enriquecido en fibra). Durante el estudio, se llevaron a cabo cinco formulaciones de panes con 0, 5, 10, 20 y 25% de sustitución de harina de trigo por harina de chufa. Los parámetros que se evaluaron, tanto en el caso de las masas como en los panes, fueron la humedad y dimensiones de las piezas durante las distintas operaciones de su procesado. En los panes elaborados se analizó la textura, el color y la estructura de la miga mediante el análisis de imagen de las rebanadas se evaluó el alveolado de la miga.

Todas las formulaciones ensayadas dieron lugar a panes bien desarrollados durante la fermentación que tras la cocción proporcionaron panes con un aspecto muy similar al pan convencional de trigo. El análisis de la estructura interna de los panes con incorporación de harina de chufa ha puesto de manifiesto que dicha incorporación supone una disminución de la altura y anchura de las piezas de pan. La porosidad de los panes de chufa fue mayor debido a un mayor número de alveolos, pero de tamaño más pequeño. Los ensayos de compresión han mostrado que los panes desarrollados con levadura liofilizada son significativamente más duros que los elaborados con levadura fresca, pero no se han encontrado diferencias en la firmeza debida a la sustitución de harinas. Los cambios de color en la miga han revelado diferencias por incorporación de harinas de chufa siendo estas más oscuras y ligeramente pardas. Sin embargo, los cambios de color sobre la corteza del pan se han visto afectados por el proceso de horneado, siendo la superficie de la pieza poco homogénea en cuanto al tostado, por ello los cambios en los parámetros de color de la corteza no han revelado cambios concluyentes en este sentido.

Palabras clave: harina de chufa, pan, porosidad, textura, color

Titulación: Grado en ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Curso académico: 2015/2016

Alumna: Marta Juliá Medina

Tutor: Prof. Dra. Ana M^a Albors Sorolla

Codirector: Prof. Dra. M^a Eugenia Martín Esparza

Valencia, julio de 2016

RESUM:

En el present projecte s'ha realitzat l'optimització del procés d'elaboració de pans elaborats a partir de farina de blat i la substitució parcial d'esta per farina de xufa. L'objectiu és l'obtenció de productes fermentats amb bones característiques reològiques, estructurals i sensorials que permeten el maneig i acceptació del producte, així com un valor nutricional afegit (especialment enriquit en fibra). Durant l'estudi, es van dur a terme cinc formulacions de pans amb 0, 5, 10, 20 i 25% de substitució de farina de blat per farina de xufa. Els paràmetres que es van avaluar, tant en el cas de les masses com en els pans, van ser la humitat i dimensions de les peces durant les distintes operacions del seu processat. En els pans elaborats es va analitzar la textura, el color i l'estructura de la molla per mitjà de l'anàlisi d'imatge de les llesques es va avaluar l'alveolat de la molla.

Totes les formulacions assajades van donar lloc a pans ben desenrotllats durant la fermentació que després de la cocció produïren pans amb un aspecte molt semblant al pa convencional de blat. L'anàlisi de l'estructura interna dels pans amb incorporació de farina de xufa indica que esta incorporació suposa una disminució de l'altura i amplària de les peces de pa. La porositat dels pans de xufa va ser major a causa d'un nombre més gran d'alvèols, però de grandària més xicotet. Els assajos de compressió han mostrat que els pans desenrotllats amb llevat liofilitzat són significativament més durs que els elaborats amb rent fresc, però no hi ha diferències la fermesa deguda a la substitució de farines. Els canvis de color en la molla han mostrat diferències per incorporació de farines de xufa sent estes més fosques i lleugerament terroses. Els canvis de color sobre la corfa del pa s'han vist afectats pel procés d'enforat, sent la superfície de la peça poc homogènia quant al torrat, per això els canvis en els paràmetres de color de la corfa no han revelat canvis conclouents.

Paraules clau: farina de xufa, pa, porositat, textura, color

Titulació: Grado en ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Curso académico: 2015/2016

Alumna: Marta Juliá Medina

Tutor: Prof. Dra. Ana M^a Albors Sorolla

Codirector: Prof. Dra. M^a Eugenia Martín Esparza

Valencia, julio de 2016

ABSTRACT:

In the present work it has been carried out the optimization process of making bread from wheat flour and the partial replacement of the groundnut flour. The aim of the study is to obtain fermented with good rheological, structural and sensory characteristics that allow management and product acceptance and added nutritional value (especially rich in fiber) products. During the study, five formulations were prepared with 0, 5, 10, 20 and 25% substitution of wheat flour groundnut flour. The parameters were evaluated, both in the case of the masses and the bread were moisture and dimensions of the parts during the various operations of processing. Breads processed in texture, color and crumb structure image by analyzing the porosity of the crumb was evaluated analyzed.

All formulations tested resulted in well developed during fermentation breads after baking breads provided with very similar to conventional wheat bread appearance. The analysis of the internal structure of bread flour with incorporation chufa has shown that such incorporation a decrease of the height and width of the pieces of bread. The porosity of bread nut milk was higher due to a greater number of alveoli, but smaller size. Compression tests have shown that developed with Lyophilized yeast breads are significantly tougher than those made with fresh yeast, but have not found differences in the strength due to the replacement of flour. Color changes in the crumb revealed differences by incorporating groundnut flour being these darker and slightly brown. However, the color changes on the crust have been affected by the baking process, with the surface of the inhomogeneous part as to roast, so changes in the color parameters of the cortex have not revealed changes conclusive in this regard.

Key words: tigernut flour, bread, porosity, texture, color

Titulación: Grado en ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Curso académico: 2015/2016

Alumna: Marta Juliá Medina

Tutor: Prof. Dra. Ana M^a Albors Sorolla

Codirector: Prof. Dra. M^a Eugenia Martín Esparza

Valencia, julio de 2016

AGRADECIMIENTOS

Primero de todo me gustaría agradecer a Ana M^a Albors por aceptar mi propuesta de trabajo y guiarme durante el proceso, y aunque a veces parecía que el final estaba lejos y no llegábamos hemos conseguido obtener ese fin.

También agradecer a los técnicos del CPI, donde se ha realizado este proyecto por tener paciencia y enseñarme los aparatos que he utilizado y gracias a esto se ha podido realizar los análisis presentados.

Y como no agradecer a mi madre que a pesar de a veces pagar mis frustraciones con ella me ha apoyado siempre y si no fuera por ella no estaría aquí.

No puedo olvidar de la misma forma a mis compañeros unos que han pasado por mi vida por coincidencias en las clases y otros que aún mantengo, sin ellos y esas tardes locas de estudio, que acababan con nosotros no habría sido lo mismo, gracias por soportarme en mis momentos malos, buenos y mis momentos de nervios. Y aunque he sido pesada habéis seguido ahí, Fran, Elena, Víctor y en especial Juan, gracias por todo.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
I.1.	JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	1
I.2.	EL PAN: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	1
I.3.	MARCO ECONÓMICO DEL SECTOR DEL PAN.....	3
I.3.1.	CONSUMO DE PAN EN ESPAÑA.....	3
I.3.2.	TIPOS DE PAN CONSUMIDO.....	4
I.4.	COMPONENTES DEL PAN.....	6
I.5.	CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE LA CHUFA.....	8
II.	OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.....	10
II.1.	OBJETIVOS.....	10
II.2.	PLAN DE TRABAJO.....	10
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
III.1.	FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS PANES.....	11
III.1.1.	HARINA DE TRIGO.....	12
III.1.2.	HARINA DE CHUFA.....	12
III.2.	FORMULACIONES ENSAYADAS.....	12
III.3.	METODOLOGÍA.....	13
III.3.1.	DIAGRAMA DE FLUJO.....	13
III.3.2.	HUMEDAD.....	15
III.3.3.	TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	15
III.3.4.	DIMENSIONES.....	16
III.3.5.	ANÁLISIS DE IMAGEN.....	16
III.3.6.	ANÁLISIS DE TEXTURA.....	17
III.3.7.	ANÁLISIS DE COLOR.....	18
III.3.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	18
IV.	RESULTADOS.....	19
IV.1.	ANÁLISIS DE HUMEDAD.....	19
IV.2.	TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA HARINA.....	19
IV.3.	ANÁLISIS DE IMAGEN: DIMENSIONES Y ALVEOLADO.....	20
IV.4.	ANÁLISIS DE TEXTURA.....	24
IV.5.	ANÁLISIS DE COLOR.....	26
V.	CONCLUSIONES.....	33
VI.	ANEXOS.....	34
	ANEXO I.....	34

ANEXO II	35
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comunidades autónomas con mayor y menor consumo de pan	4
Figura 2. Consumo en hogares de pan (volumen, miles de kg) durante el periodo 2015.....	5
Figura 3. Consumo en hogares en el Pan Integral en España	5
Figura 4. Consumo en hogares en el Pan Integral en la Comunidad Valenciana	6
Figura 5. Diagrama de elaboración del pan	14
Figura 6. Mastersizer 2000, conectado por la vía seca.....	16
Figura 7. Sonda P/36R que lleva a cabo la compresión.....	17
Figura 8. Distribución del tamaño de partícula de las harinas de trigo y chufa.....	19
Figura 9. Medias e Intervalos LSD de altura de las rebanadas del pan frente al tipo de levadura.	21
Figura 10. Medias e Intervalos LSD de altura de las rebanadas del pan frente al % de HCH.....	21
Figura 11. Medias e Intervalos LSD de anchura de las rebanadas del pan frente al % de HCH.....	21
Figura 12. Sección de la pieza de la formulación de pan F20 elaborada con levadura fresca	22
Figura 13. Imágenes de las rebanadas de los panes elaborados.....	23
Figura 14. Medias e Intervalos LSD de la porosidad del pan frente al % de HCH.....	24
Figura 15. La gráfica representa F25 para levadura liofilizada y en levadura fresca.....	24
Figura 16. Medias e Intervalos LSD de firmeza frente al tipo de levadura.....	25
Figura 17. Medias e Intervalos LSD de L* de la miga del pan frente al % de HCH, para ambas levaduras.....	27
Figura 18. Medias e Intervalos LSD de a* de la miga del pan frente al tipo de levadura.....	27
Figura 19. Medias e Intervalos LSD de a* de la miga del pan frente al % de HCH.....	28
Figura 20. Medias e Intervalos LSD de h de la miga del pan frente al % de HCH.....	29
Figura 21. Diagrama cromático (L*, a*) de la miga del pan.....	30
Figura 22. Medias e Intervalos LSD de b* de la corteza del pan frente al % de HCH, para ambos tipos de levadura.....	31
Figura 23. Medias e Intervalos LSD de h de la corteza del pan frente al tipo de levadura.....	32
Figura 24. Diagrama cromático (L*, a*) de la corteza del pan.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional del pan en 100g	8
Tabla 2. Composición nutricional de la chufa (g/100g).....	9
Tabla 3. Composición química en porcentaje de las harinas empleadas en las formulaciones de pan según fabricante	11
Tabla 4. Porcentajes en base al peso de harina del pan para las formulaciones ensayadas	12
Tabla 5. Medias y desviaciones estándar de los parámetros del análisis del tamaño de partícula.....	20
Tabla 6. Media y desviación estándar de los parámetros reológicos de los panes.....	25
Tabla 7. Media y desviación estándar del color de la miga del pan.....	26
Tabla 8. Media y desviación estándar del color de la corteza del pan.....	31

I. INTRODUCCIÓN

I.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El pan durante la historia siempre se ha considerado un alimento básico para la alimentación humana, por ello en la actualidad se encuentran una gran variedad de formas de elaboración de este producto y con formulaciones muy diversas, debido a la pluralidad de gustos que tienen los consumidores. Hoy en día existe un creciente interés en el desarrollo de productos de panadería funcionales que tienen valor beneficioso más allá del puramente nutricional (Mudgil et al, 2016).

El pan es un alimento que se consume habitualmente por gran parte de la población, de esta forma si incorporamos por medio de una sustitución la harina de chufa, una fuente de fibra extra que el pan blanco tradicional no posee.

En general, los productos que contienen fibra, así como las verduras que no son muy aceptados por niños y/o adultos, por tanto, al aportar la fibra a través de un producto de panadería completaríamos el aporte en fibra en la dieta de estos de una forma sencilla y más atractiva. En el presente estudio se pretende por tanto elaborar un pan enriquecido con los nutrientes que aporta la harina de chufa especialmente teniendo en cuenta su aporte en fibra, entre otras características interesantes de esta materia prima.

I.2. EL PAN: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

En general, se denomina pan sin más a una gran cantidad de productos panarios, pero como queda registrado en la legislación vigente, y en sus múltiples modificaciones, técnicamente hay maneras muy distintas de denominar los diferentes tipos de pan (Ponce, A., 2011). Según la normativa vigente (RD 1137/1984, RD 285/1999) el **concepto de pan** se define como *“el producto resultante de la cocción de una masa obtenido por la mezcla de harina de trigo y de agua potable, con o sin adición de sal comestible, fermentada por especies de microorganismos propios de la fermentación panaria.”*

Denominamos además **pan común** al *“pan de consumo habitual en el día, elaborado con harina de trigo al que sólo se le pueden añadir los coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados para este tipo de pan.”*

Ambas definiciones anteriormente mencionadas, son similares, la primera que se refiere al concepto de pan desde el punto de vista de una elaboración tradicional de este, sin incluir los panes realizados en la industria. En cambio, la segunda si incluiría los panes “industriales” al usar determinados componentes tales como coadyuvantes y aditivos que son usados con frecuencia en las industrias panaderas, además, la definición de pan común destaca que es un alimento que se consume todos los días, en cambio en la del concepto de pan no incluye el tiempo.

Además del concepto básico de pan la legislación contempla otros tipos de pan, denominaremos **pan especial** a aquel pan, distinto del pan común por reunir alguna de las condiciones siguientes: que se haya incorporado cualquier aditivo y/o coadyuvante tecnológico de la panificación, autorizados para panes especiales, tanto a la masa panaria como a la harina. Que se haya utilizado como materia prima harina enriquecida. Que se haya añadido cualquier ingrediente tales como: gluten, salvado, leche, huevos etc. siempre que eleven suficientemente

su valor nutritivo. Que no lleve microorganismos propios de la fermentación, voluntariamente añadidos.

Además del pan común, existen multitud de tipos y variedades de pan, siendo todos ellos panes especiales según la definición expuesta anteriormente, algunos ejemplos son (BOE 22 de noviembre 2002, R. D. 1202/2002; BOE 1 de octubre 2004, R. D 1975/2004):

PAN INTEGRAL: “con este nombre se designará un pan elaborado con harina integral”.

PAN DE VIENA Y PAN FRANCÉS: “se designará con estos nombres al pan de flama elaborado a base de masa blanda, entre cuyos ingredientes entran, además de los citados, el azúcar, la leche o ambos al mismo tiempo”.

PAN DE GLUTEN: “se designará con este nombre el pan de harina de trigo enriquecida con gluten en proporción no inferior al 30 por 100 de gluten seco. Si la cantidad de gluten seco fuese superior al 16 por 100 e inferior al 30 por 100, se denominará “pan glutinado” (CAE, 2006).

PAN DE OTRO CEREAL: “es aquel en el que se emplea harina de trigo mezclada con harina de otro cereal en una proporción mínima del 51 por 100 y recibe el nombre de pan de este último cereal”.

PAN ENRIQUECIDO: “es aquel en cuya elaboración se han incorporado harinas enriquecidas o en el que se han empleado sustancias enriquecedoras, según lo dispuesto en la legislación vigente”.

Cabe destacar además que el sistema de obtención del pan se ha transformado gradualmente en un proceso industrializado y complejo en los países desarrollados. En la actualidad, la obtención del pan común a través de los prolongados métodos tradicionales que incluyen largos periodos de reposo y fermentación, han sido sustituidos por modernos sistemas de amasado y fermentación, así como la aparición de un nuevo producto denominado pan precocido o pan congelado (Ponce, A., 2011). Estas nuevas técnicas en la elaboración de panes y otras masas que fueron incorporadas en la legislación (RD 285/1999). Este pan que permite obtener productos semielaborados que pueden almacenarse durante periodos de tiempo relativamente largos para recibir un último tratamiento (cocción, descongelación u otro) en el momento anterior a su venta. Estos productos son:

PAN PRECOCIDO: es cualquiera de las masas definidas anteriormente (pan, pan común o pan especial), cuya cocción ha sido interrumpida antes de llegar a su finalización, siendo sometida posteriormente a un proceso de congelación o a cualquier otro proceso de conservación autorizado.

MASA CONGELADA: es cualquiera de las masas definidas anteriormente (pan, pan común o pan especial) que, habiendo sido o no fermentada y habiendo sido o no formada la pieza, ha sido posteriormente congelada.

OTRAS MASAS SEMIELABORADAS: serán cualquiera de las masas definidas anteriormente (pan, pan común o pan especial) que, habiendo sido o no fermentadas y habiendo sido o no formadas las piezas, han sido posteriormente sometidas a un proceso de conservación autorizado, distinto de la congelación, de tal manera que se inhiba, en su caso, el proceso de fermentación.

El pan objeto del presente estudio se desarrolla a partir de un proceso de obtención tradicional, con una fermentación media a partir de levaduras y sin empleo de masa madre. En cuanto a emplearse materias primas diferentes de las del “pan común” incorporará harina de

chufa, con lo cual podría encontrarse en dos categorías “pan especial” en cuanto a que contiene ingredientes distintos de las materias primas básicas o “pan enriquecido” en cuanto a quisiéramos destacar en este proceso de incorporación aquellos componentes beneficiosos que aporta la harina de chufa añadida.

I.3. MARCO ECONÓMICO DEL SECTOR DEL PAN

El sector de la panadería y bollería es uno de los principales sectores agroalimentarios importantes en nuestro país. Según los datos obtenidos por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2015a), en cuanto al número de empresas de la industria alimentaria, de las 28.278 empresas del sector español que ocupa el 1º lugar es el de Pan, Pastelería y Pastas alimenticias con 10.272, esto equivale a un 36,3% del total de empresas españolas dedicadas a los alimentos.

I.3.1. CONSUMO DE PAN EN ESPAÑA

Después de analizar los datos proporcionados por MAGRAMA, se puede afirmar que el consumo de pan a nivel nacional ha disminuido en el trienio estudiado, siendo que en 2015 el consumo per cápita fue de 35,13 kg por persona y año, respecto a años anteriores 35,88 kg en 2014 y 37,26 kg en 2013. En España ha bajado el consumo de pan en respecto al volumen consumido en años anteriores un 1,8% (MAGRAMA 2014).

Según el informe del Consumo de Alimentación en España 2014, se confirma este descenso durante los años 2013 y 2014 indicándose que puede atribuirse a que los hogares con presencia de hijos -independientemente de la edad de estos- son los responsables en mayor medida del descenso del consumo, pues reducen significativamente la cantidad comprada con lo que repercute directamente en la cantidad ingerida. Los hogares formados por retirados siguen siendo quienes mayor consumo per cápita hacen de pan (50,6 kg/persona/año) (MAGRAMA, 2014).

Por otra parte, según estudio realizado por la universidad EAE Business School sobre el consumo de alimentos básicos en España durante el año 2014, se consumieron 4.571 millones de productos de pan y bollería (Interempresas base de datos ASEMAC, 2016). Este estudio ha situado a España en segundo lugar en este ranking de consumo, superado tan solo por Alemania. Se indica además que cada español activo gasta anualmente unos 100€ que destina al consumo tanto de pan y bollería.

En cuanto a las comunidades autónomas, figura 1, las más consumidoras de pan son: Castilla y León, Galicia y la Comunidad foral de Navarra. Por el contrario, la comunidad de Madrid, Canarias e Islas baleares son las que consumen pan en menor medida (MAGRAMA, 2014).

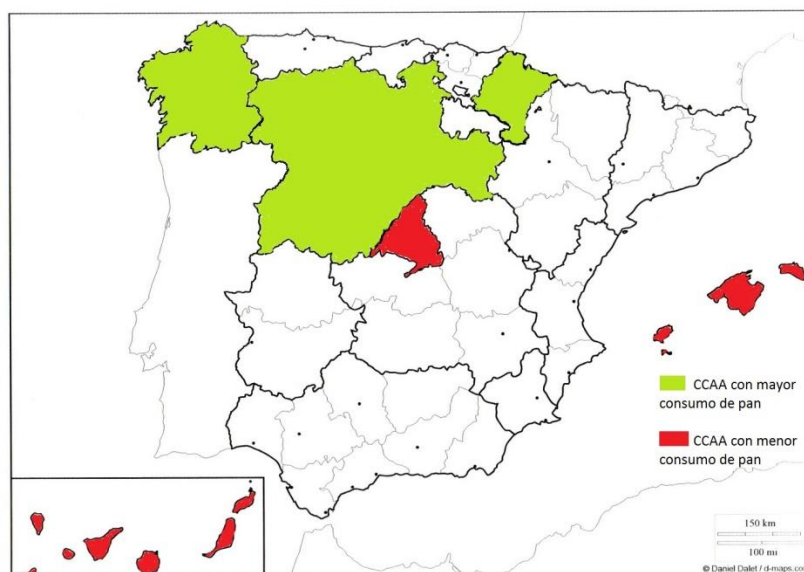


Figura 1. Comunidades autónomas con mayor y menor consumo de pan (Elaboración propia a partir de MAGRAMA, 2014).

I.3.2. TIPOS DE PAN CONSUMIDO

Se destaca el pan como partícipe del 5,7% del gasto de la cesta de la compra, pero dentro de esta categoría existe toda la variedad de panes que encontramos en los comercios. De esta gran variedad en panes, los que sobresalen a la hora de ser adquiridos por los consumidores son los panes frescos normales y el pan fresco normal industrial (ASEMAC, 2016).

El pan congelado tiene como ventaja que no está limitado geográficamente por su caducidad más prolongada y con ello se permite su distribución por toda la Unión Europea, de este modo empresas productoras españolas han obtenido importantes beneficios y han conseguido el aumento del consumo de los panes congelados (ASEMAC, 2015).

Cabe destacar, frente a la gran implementación del pan industrial existe aún un gran porcentaje de los panes consumidos que siguen procediendo de obradores tradicionales. Algunos estudios sobre el pan en España, tal como el estudio de mercado observatorio del consumo y la distribución alimentaria (MAGRAMA, 2010) y consumo de pan en España (Martín Cerdeño, 2012), indican que el tipo de pan más consumido, teniendo en cuenta la forma de este, son la barra/pistola, baguette e integral.

En la figura 2 se presentan los datos recogidos por el panel de consumo en hogares del sector del pan en España. Tal y como puede observarse el principal producto consumido es el denominado Pan Fresco Normal –que corresponde a los procedentes de obradores tradicionales-. En segundo lugar, se encuentra el pan industrial, que incluye el pan industrial fresco, y el pan industrial seco.

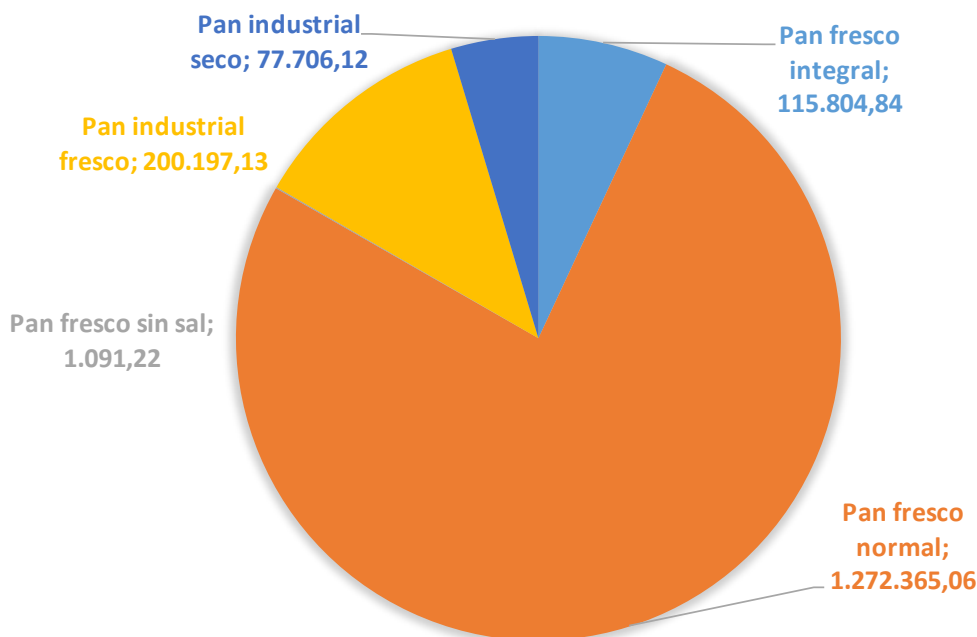


Figura 2. Consumo en hogares de pan (volumen, miles de kg) durante el periodo 2015 (MAGRAMA, 2015b)

A modo aclaratorio de los términos utilizados por el panel de consumo, se definen también las categorías de pan fresco/congelado (incluye el pan fresco/congelado envasado, y el pan fresco/congelado a granel).

Según se observa en el gráfico, la cantidad de pan fresco se consumió en 2015 en España es dominante respecto al resto de tipos de pan. A pesar de esto un 6.95% de la población, teniendo en cuenta que el porcentaje está basado en los datos recogidos en el panel de consumo, consume pan integral del total nacional.

En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados sobre la consulta realizada en la Base de Datos de Consumo en Hogares (MAGRAMA, 2015b) en lo referente al Sector del Pan, tanto a nivel nacional y de la Comunidad Valencia en los años 2013 a 2015.

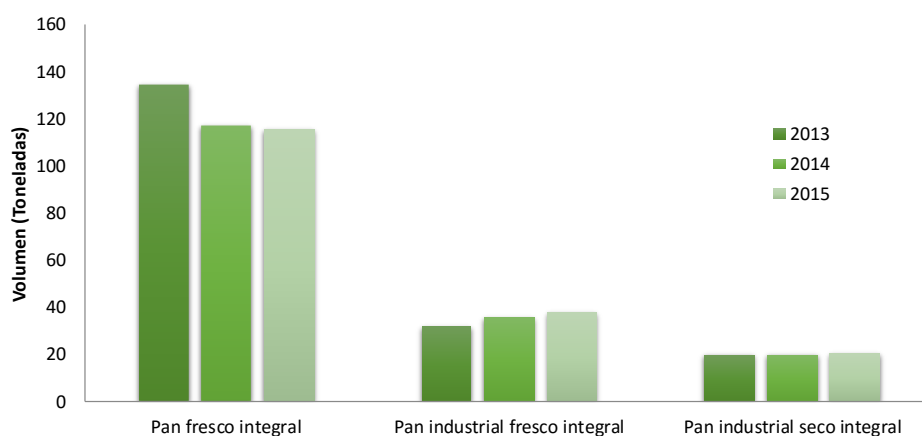


Figura 3. Consumo en hogares de Pan Integral en España (MAGRAMA, 2015)

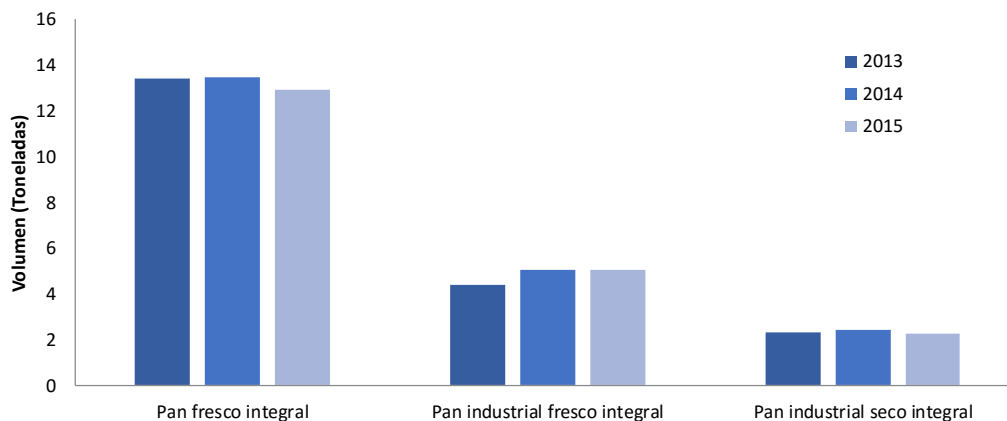


Figura 4. Consumo en hogares de Pan Integral en la Comunidad Valenciana (MAGRAMA, 2015).

Si bien es cierto que el consumo de pan integral ha aumentado según los datos del informe de distribución y consumo, en los hogares españoles el pan blanco sigue siendo el más consumido, con casi 1.300 millones de kilos según MAGRAMA (2015b). Respecto al consumo del pan de la categoría integral, mostrado en las figuras anteriores, destaca un consumo mayor del pan fresco integral, respecto a otras elaboraciones integrales como serían el pan industrial fresco y el pan industria seco. La tendencia de consumo de panes integrales en la Comunidad Valenciana sigue las pautas del consumo a nivel nacional.

I.4. COMPONENTES DEL PAN

Entre los distintos componentes del pan, tal y como se ha mencionado en el apartado I.2, definición y clasificación, uno de los principales componentes del pan es la harina. La harina suele representar hasta un 64% de la masa panaria. El segundo de los componentes del pan será el agua, que dependiendo de la capacidad de absorción de agua de la harina o mezcla de harinas empleadas suele suponer hasta un 34%. La sal y las levaduras son componentes minoritarios en peso, si bien su papel en el proceso de obtención del pan es fundamental. A continuación, se detallan algunos aspectos relevantes de estas materias primas.

HARINA: La harina es el componente fundamental para elaborar el pan, siempre se refiere a la harina de trigo y en la mayor parte de las elaboraciones se trata de harinas blancas y refinadas (Casp, 2014). Para que una harina sea adecuada para panificación es fundamental la presencia de las proteínas responsables de formar la red de gluten que otorga a las masas sus propiedades de elasticidad y cohesividad, además estas harinas deben que tener un tamaño de partícula inferior a 250 μ m. Además, la harina tiene que evitar acidez y exceso de proteasas, que podría reducir el valor panadero de la harina (Callejo González et al., 2002).

Se pueden emplear en panificación harinas de otros cereales, como centeno, arroz o maíz, incluso de legumbres, como garbanzo o guisante, pero estas elaboraciones difieren mucho del proceso de panificación convencional (Casp, 2014). Estos panes formulados para las personas con intolerancia al gluten suelen incorporar en la formulación otros componentes que

intentan suplir las funciones de la red de gluten. En otras ocasiones, harinas distintas de la harina de trigo son incorporadas a los procesos de panificación con fines de mejora nutricional.

AGUA: Tiene un papel fundamental en la elaboración del pan ya que sin el agua no se podría formar una masa elástica y moldeable, por ello una composición por defecto provocara que el pan sea muy seco y desagradable al consumirlo. Pero de la misma manera un exceso de esta, provoca una masa muy líquida, difícil de amasar y que se pegue con más facilidad, con ello puede provocar que parte se quede adherida al equipo de amasado o los utensilios como moldes o paletas, causando mermas. Si bien es conocida la capacidad de absorción de las harinas de trigo, es necesario revisar las cantidades de agua incorporada en aquellas formulaciones en las que esta es sustituida por otras harinas, procedentes de cereales distintos del trigo e incluso de legumbres o tubérculos (como es el caso de la chufa). En cuanto al agua para la panificación, se clasifica en agua blanda, dura, salina o alcalina. El agua ideal para la panificación es el agua medianamente dura y que contiene sales minerales suficientes para reforzar el gluten y así servir como alimento para la levadura. Las aguas duras son aquellas que poseen un contenido en sales entre 50 y 200 ppm. Las aguas duras si provienen de sulfatos, actúan como nutrientes de las levaduras y fortalecen el gluten, pero en exceso, endurecen el gluten y retrasan la fermentación, por lo que en su caso conviene utilizar más levadura o alimento de ésta. Si provienen de bicarbonatos es conveniente depurarlas antes de su uso (Casp, 2014).

SAL: Es un producto natural que se compone de cloro y sodio y es antiséptica. Al mismo tiempo que aporta sabor, al pan la sal actúa como regulador del proceso de fermentación, simultáneamente mejora la plasticidad de la masa, aumentando la capacidad de hidratación de la harina y, en consecuencia, el rendimiento de la panificación. También favorece la coloración y finura de la corteza, teniendo como contrapartida el aumento de la higroscopicidad (a la capacidad de los materiales para absorber la humedad). Además, la sal restringe la actividad de las bacterias productoras de ácidos y controla la acción de la levadura, regulando el consumo de azúcares y dando por ello una mejor corteza (Callejo González et al., 2002).

LEVADURA: En cuanto a la levadura podemos diferenciar las que se denominan gasificantes o químicas y las que se denominan biológicas o de panadero, las primeras son conjunto de sustancias químicas que ayudan a que la masa se eleve la masa con ayuda de distintos mejorantes. La levadura biológica, en cualquiera de sus formas, posee la levadura viva en su composición, generalmente del género *Saccharomyces*, la más utilizada por los panaderos es *Saccharomyces Cerevisiae* (Callejo González et al., 2002). Esta levadura realiza una fermentación anaeróbica de los azúcares, produciendo CO₂ y etanol con el consiguiente incremento del volumen de la masa, uno de los aspectos más relevantes en la formación del pan (Casp, 2014).

Una vez descritos los principales componentes del pan se describe la composición de los distintos tipos de pan. En la siguiente tabla se muestra la composición nutricional presente en un pan con un peso de 100 gramos. El pan integral posee sobre un 8,5% de fibra no digerible, lo cual supone un beneficio evidente frente al consumo de pan blanco. El pan se trata de un alimento básico recomendado en una dieta saludable, como es el caso de la dieta mediterránea. No obstante, cabe destacar que cuando se habla de prevención de enfermedades se debe recomendar el consumo del pan integral. Entre otros beneficios el pan integral mantiene bajos los niveles de insulina en sangre, lo cual evita a largo plazo que se padezca diabetes. Algunos estudios han indicado que consumir 2,5 raciones de pan integral al día puede reducir un 21 % el riesgo de sufrir cardiopatías, y la ingesta diaria de este alimento se asocia a un perfil lipídico más

saludable, lo que se traduce en bajos niveles de colesterol malo o LDL y en niveles altos de colesterol bueno o HDL (Mulinacci, I., 2016).

Además, los panes integrales por proceder del uso de la harina obtenida del cereal integro contienen numerosas vitaminas y minerales que proceden principalmente de las cubiertas externas del grano, cubiertas que en el caso de las harinas blancas (o refinadas) son eliminadas en el proceso de elaboración.

Tabla 1. Composición nutricional del pan en 100g (Fuente: Calaveras, 1996)

Nutrientes (Unidades)	Pan blanco	Pan integral
Agua (g)	39	40
Proteínas (g)	7,8	8,8
Grasas (g)	1,7	2,7
Azucares (g)	1,8	2,1
Almidón + dextrina (g)	47,9	39,7
Fibra no digerible (g)	2,7	8,5
Energía kJ	975	904
Tiamina (mg) (B ₁)	0,18	0,26
Riboflavina (mg)	0,03	0,06
Acido nicotínico (mg)	1,4	3,9
Piridina (mg) (B ₆)	0,04	0,14
Ácido fólico µg	27	39
Ácido pantoténico (mg)	0,3	0,6
Biotina µm	1	6
Vitamina E (mg)	trace	0,2
Sodio (mg)	540	540
Potasio (mg)	100	220
Calcio (mg)	100	23
Magnesio (mg)	26	93
Fósforo (mg)	97	230
Hierro (mg)	1,7	2,5

I.5. CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE LA CHUFA

La chufa (*Cyperus esculentus*) es un tubérculo con un alto contenido en fibra, que tras el proceso de molienda queda incorporada a sus harinas. La chufa posee un contenido en fibra más alto que algunos cereales empleados en panificación (TIGERNUTS, 2016). La fibra ayuda al organismo como supresor del apetito con lo que nos ayuda a la pérdida y mantenimiento del peso, el pan con incorporación de chufa podría equiparse al pan integral en lo referente a la incorporación de fibra en su composición, en tanto que podría ser considerado un pan

enriquecido si se consideran los componentes singulares que la harina de chufa aporta al pan. Tal y como puede observarse en la tabla 2, el contenido en fibra es de alrededor de 6.5%.

Tabla 2. Composición nutricional de la chufa (g/100g) (Arafat, S. M., E. et al. 2009).

Humedad	3.75
Proteína	5
Lípidos	30
Carbohidratos	47
Fibra	6.5
Ceniza	4.3
Almidón	29,5
Sacarosa	9,2
Azúcares reductores	2,5
Calcio (ppm)	152
Sodio (ppm)	140
Fosforo (ppm)	123
Magnesio (ppm)	55.3
Manganeso (ppm)	41
Hierro (ppm)	2
Cobre (ppm)	1.3
Zinc (ppm)	1

La chufa es especialmente rica en almidón, este es el hidrato de carbono es cuantitativamente el componente principal de la harina.

El contenido proteico de la harina de chufa está entorno al 5%, cabe destacar la composición de aminoácidos es más completa que los aportados por las proteínas del trigo según los estándares de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Adejuyitan, 2011). Los aminoácidos presentes en su composición son principalmente arginina, seguido del ácido aspártico, el ácido glutámico, leucina, alanina y lisina. Además de los anteriores, podemos encontrar en una menor proporción Metionina, isoleucina, triptófano y valina (Bixquert Jiménez., 2016).

Otros componentes importantes y que son beneficiosos para el organismo y que están presentes en la chufa, son las vitaminas, como mayoritaria destaca la vitamina E y el ácido fólico, seguido de la vitamina B6, tiamina niacina, vitamina C y riboflavina. También contiene polifenoles, que tienen función antioxidante (Soriano del Castillo, 2014). Cabe destacar que la chufa aporta calcio, sodio, fosforo y magnesio, minerales interesantes en una dieta saludable.

En el presente estudio se realizará una sustitución de la harina de trigo por harina de chufa, con ello se pretende incorporar los beneficios nutricionales y funcionales que tiene la chufa y con ello la harina de chufa.

II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

II.1. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es la optimización del proceso de elaboración de un pan con incorporación de harina de chufa que permita obtener un producto fermentado de buenas características.

Este objetivo general se divide en los siguientes objetivos particulares:

- A. Búsqueda bibliográfica de procesos y productos a partir de harina de chufa.
- B. Optimización del proceso de elaboración y formulaciones de pan con sustitución de harinas.
- C. Determinación de las características físico-químicas, reológicas y estructurales de harinas, masas y los panes desarrollados.
- D. Análisis estadístico y obtención de conclusiones y propuestas de mejora.

II.2. PLAN DE TRABAJO

- Revisión bibliográfica sobre procesos de producción de pan, especialmente panes integrales o con incorporaciones especiales que busquen la incorporación de fibra.
- Revisión bibliográfica sobre parámetros de calidad en el pan y análisis comunes en ensayos de panificación.
- Pruebas preliminares de sustitución de harina de trigo por harina de chufa.
- Optimización del proceso y las formulaciones de pan dentro del intervalo de sustitución ensayado.
- Determinación del tamaño de partícula de las harinas empleadas.
- Determinación de las dimensiones características de las masas y panes horneados, determinación de la humedad.
- Análisis del perfil de textura de las formulaciones de panes ensayadas.
- Análisis del color de la miga y del color de la corteza de los panes.
- Análisis de imagen de las rebanas.
- Análisis estadístico de los resultados obtenidos en los diferentes análisis.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS PANES

Para la elaboración de los panes se emplearon como materias primas harina de trigo (HT), harina de chufa (HCH), agua, levadura fresca o levadura liofilizada dependiendo de la formulación y sal.

La harina de trigo proporcionada por la empresa Harineras Villamayor (Huesca, España) y la harina de chufa fue suministrada por Tigernuts Traders, S.L (L'Eliana, Valencia, España). Los siguientes componentes proceden de supermercados locales, excepto el agua la cual procede del suministro de agua potable del laboratorio. La levadura fresca (Levital, Valladolid, España), la levadura liofilizada (Vahiné, Portugal) y la sal marca Hacendado S.A (Huelva, España).

Los parámetros químicos de las diferentes harinas empleadas fueron proporcionados por el fabricante y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química en porcentaje de las harinas empleadas en las formulaciones de pan según fabricante.

Componente	HT	HCH
Humedad	15	8,95
Grasas Totales	-	25,5
Grasas saturadas	-	5,33
Grasas insaturadas	-	20,17
Carbohidratos	70	63,2
Azúcares	-	15,2
Almidón	70	36,4
Proteínas	11	4,35
Fibra	-	11,6
Granulometría (µm)	180	330

La composición de las distintas formulaciones es variable dependiendo del pan que se esté elaborando, en el presente trabajo se realizarán sustituciones parciales de HT por HCH que es la harina de base en todos los panes formulados. Tal y como se indica en el apartado II.1 Objetivos se pretende observar el efecto de dicha sustitución sobre el producto.

III.1.1. HARINA DE TRIGO

La harina de trigo seleccionada se trata de un producto finamente triturado, obtenido de la molturación del grano de trigo, industrialmente limpio, *Triticum aestivum*. Al inicio del trabajo se separaron las cantidades necesarias para el desarrollo del mismo y fueron envasadas a vacío para conservar sus propiedades, evitando así su humectación, aparición de ácaros y otros organismos extraños que modifiquen sus características.

III.1.2. HARINA DE CHUFA

La harina de chufa está elaborada a partir de chufa de la variedad *Cyperus esculentus lativum*. Según indica el proveedor el proceso de elaboración de esta harina, a partir de chufa ecológica, consiste en un secado natural, después mediante un molino similar al del arroz se realiza la molturación, tamaño de partícula uniforme y adecuado para el sector de la panadería y pastelería (TIGERNUTS, 2016).

Cabe destacar, que previamente a la elección de la harina empleada en el estudio y descrita en el párrafo anterior, se realizaron pruebas con otras harinas de chufa de DO Valencia, cultivada y procesada en la zona. Se realizaron determinaciones del tamaño de partícula y se llevaron a cabo pruebas de panificación, pero el resultado no fue aceptable. Este tipo de harina fue descartado como materia prima para panificación.

III.2. FORMULACIONES ENSAYADAS

El diseño experimental realizado en el presente trabajo incluye el estudio de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de chufa en el intervalo de 0 a 25 % del peso de las harinas que contiene la formulación. El resto de componentes que formarán las masas se muestran en porcentaje también en base al peso de las mismas. Las composiciones de todas las formulaciones realizadas se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Porcentajes en base al peso de harina del pan para las formulaciones ensayadas.

Formulaciones	F0	F5	F10	F20	F25
Harina trigo (HT)	100	95	90	80	75
Harina chufa (HCH)	0	5	10	20	25
Agua	60	60	60	60	60
Levadura fresca (LF)	4	4	4	4	4
Levadura liofilizada (LL)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sal	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

III.3.METODOLOGÍA

A partir de una búsqueda bibliográfica se realizará una optimización del proceso de elaboración del pan a partir de harina de chufa. También se aplicará la normativa alimentaria del proceso de elaboración del pan, BOE 15 de octubre 2002, R. D. 1137/1984.

Se establecerá un diagrama de flujo del proceso de obtención teniendo en cuenta las distintas variables de proceso a aplicar.

Tras la optimización del proceso de elaboración se realizará el diseño experimental mencionado en el apartado anterior y se estudiarán los parámetros indicados en el Plan de Trabajo (apartado II.2), tanto en las masas como en los panes elaborados.

III.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

En la figura 5 se muestra el diagrama de flujo del proceso de elaboración del pan empleado en la elaboración de los panes objeto del presente estudio. El proceso de elaboración se ha optimizado mediante ensayos preliminares, en base a un proceso estándar de panificación industrial (Tejero, 2002). Se optimizaron tanto la fermentación de las masas (tiempos, temperatura y humedad relativa) en el equipo, así como el proceso de horneado (tiempo, temperatura y humedad). Entre las variables ensayadas se escogieron las que permitían obtener los mejores resultados en cuanto a desarrollo de las masas tras la fermentación, color de la corteza, alveolado del pan etc.

A continuación, se detallará el proceso de elaboración de los panes formulados.

En primer lugar, se pesan las materias primas en una balanza con un decimal de precisión. Teniendo en cuentas las formulaciones propuestas y con ayuda un equipo de amasado Thermomix (modelo TM31, Vorwerk España S.L, Madrid), incorporamos los ingredientes homogeneizando la masa antes de proceder con el amasado. El proceso de amasado se realiza en el mismo equipo con la función espiga (específica para amasado de panes) durante 6 minutos. En el proceso de llenado del molde se tendrán mermas debido a la tendencia a adherirse la masa a las paredes y a las cuchillas.

A continuación, se pesarán los moldes antes y después del llenado con la masa para posteriormente saber las mermas que se han producido en el proceso. Se realizarán medidas de la altura de la masa antes y después de las operaciones de fermentación y horneado.

El horneado se llevó a cabo en un horno industrial (Rational, modelo SCC 62, Alemania), que implementa un programa de fermentación. El proceso de fermentación se prolonga durante 90 minutos, se ha definido este tiempo después de diversas pruebas preliminares de fermentación. Sobre la masa fermentada se realizan las determinaciones de peso y altura, con objeto de tener en cuenta las posibles pérdidas de agua que suceden durante la fermentación y al aumento de altura de la masa debido al metabolismo fermentativo de las levaduras.

Una vez fermentada la masa se procede al horneado de las masas, el horneado óptimo se determinó después de diversas pruebas preliminares. El tiempo óptimo para el horneado del producto es de 16 minutos, en condiciones de 200°C temperatura y 70% de humedad.

Finalmente, tras el horneado se procede a desmoldar el pan y se dejará un reposo de 1 hora a temperatura ambiente. Trascurrido ese tiempo se medirá la altura y el peso final de las piezas.

A partir del pan elaborado según este diseño, se procederá a realizar rebanadas para los análisis descritos en los apartados posteriores. También se obtendrán rebanadas que se congelarán para la realización de repeticiones de análisis o pruebas posteriores.

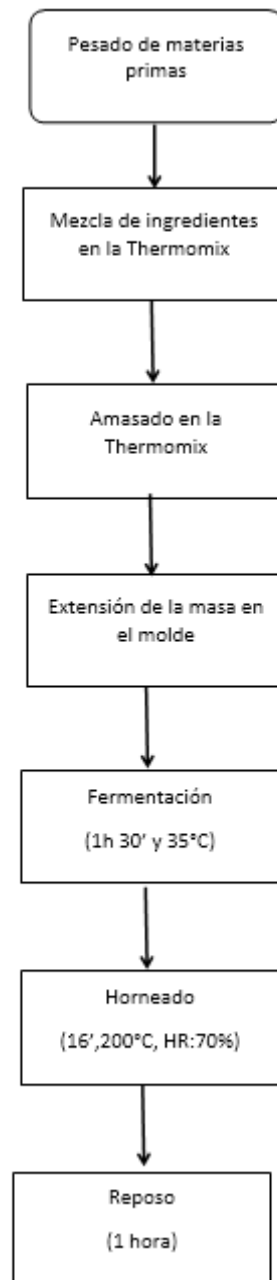


Figura 5. Diagrama de elaboración del pan.

La optimización del proceso de elaboración del pan para las formulaciones que incluyen harina de chufa se ha realizado con pruebas preliminares sobre la etapa fermentativa, dando el tiempo suficiente para el adecuado aumento de volumen de las masas, pero también estudiando la operación de horneado. Durante el horneado, la masa de pan se somete también a una expansión que ha sido estudiada por diversos autores (Rzigue et al, 2016). Por último, el enfriamiento es una etapa relevante, también en el volumen y estructura de la miga puesto que esta sufre una ligera contracción durante el enfriamiento. Es importante pues definir claramente los tiempos de cada una de estas operaciones y respetarlos a la hora de la elaboración de los panes puesto que los cambios que se producen durante la cocción y el enfriamiento posterior se verán reflejados en la estructura porosa del pan final.

III.3.2. HUMEDAD

Para determinar la humedad de las harinas empleadas y de los distintos panes formulados se utilizó el método gravimétrico AACC 44-40 (AACC, 2009), en el cual mediante uso de flanderas con aproximadamente 2 gramos de muestra se introduce en la estufa a 130°C durante 48 h. La humedad del pan se determinó sobre el pan recién elaborado tras 1 hora de enfriamiento (H_1) y de la muestra tomada del pan que ha pasado un día desde su elaboración dejando este a temperatura ambiente en bolsa (H_2). Todas las muestras se realizan por triplicado. Ambas humedades se determinaron según la ecuación:

$$Humedad(\%) = \frac{(m_S - m_R)}{(m_H - m_R)} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo m_H la masa del recipiente con la muestra de pan, m_S la masa del recipiente con la muestra seca tras 48h en la estufa a 130°C, y por último m_R es la masa del recipiente.

III.3.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula se determinó, para cada una de las mezclas de harinas utilizadas en las formulaciones, con un difractómetro 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 (figura 6). Se utilizó un índice de absorción de 0,1 y un índice de refracción de 1,52. Los análisis de las muestras HT y HCH se realizaron por sextuplicado, realizándose por el método de vía seca por ser el más adecuado para la caracterización de harinas.



Figura 6. Mastersizer 2000, conectado por la vía seca (fuente: malvern.com)

De los datos obtenidos se analizarán los parámetros Span y D [4,3], donde el Span representa el ancho de la distribución y D [4,3] hace referencia al volumen de la media de las partículas (Rawle, n.d.). A continuación, se indican las ecuaciones que definen los parámetros y el significado de los términos asociados a las ecuaciones.

$$\text{Span} = \frac{D_{v0.9} - D_{v0.1}}{D_{v0.5}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo $D_{v0.9}$ que el 90% en volumen de las partículas analizadas presentan un diámetro inferior. $D_{v0.5}$ que es la mediana en volumen, es decir, el 50% del volumen de las partículas analizadas presentan este diámetro.

$D_{v0.1}$ el 10% del volumen de las partículas analizadas presentan este diámetro.

$$D_{[4,3]} = \frac{\sum_i^n D_{ivi}^4}{\sum_i^n D_{ivi}^3} \quad (\text{Ecuación 3})$$

III.3.4. DIMENSIONES

Para calcular las dimensiones de las piezas de pan y su evolución durante el proceso de elaboración se midió la altura (h) y anchura (a) de los panes mediante un pie de rey modelo PCE-DPC 200N (PCE Ibérica SL, Albacete).

Estas medidas se realizaron por triplicado sobre las masas antes y después de la fermentación. También se realizó tras el horneado a partir de 3 rebanadas de la región central.

III.3.5. ANÁLISIS DE IMAGEN

Con objeto de determinar el alveolado de la miga de los panes elaborados se tomaron fotografías de las rebanadas de pan sobre papel milimetrado. Las imágenes se tomaron sobre 3 rebanadas distintas de un mismo pan. A continuación, se realizó un tratamiento de imágenes para las imágenes obtenidas en color a escala de grises (RGB/8#). Las imágenes así preparadas

se analizaron en un programa específico de tratamiento de imágenes Adobe Photoshop CC versión 2015.5.0 (Adobe Systems Incorporated.).

Tras realizar el calibrado de la escala (pixels a mm) se procede a determinar el área del alveolado en secciones de 15 mm x15 mm. Puesto que la porosidad de la miga no es uniforme en toda la rebanada se escogieron tres zonas en base a la distancia de la corteza inferior (Rzigue et al, 2016). Las determinaciones se realizaron por triplicado. Se determinó el porcentaje de alveolado como:

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{\text{Área alveolar}}{\text{Área total}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Siendo el **área alveolar** aquella superficie que corresponde a los alveolos del pan, reconocibles como regiones oscuras en las imágenes en escala de grises. **Área total**, es la superficie seleccionada para la determinación de la porosidad y que engloba la miga incluyendo los alveolos.

III.3.6. ANÁLISIS DE TEXTURA

La textura en el pan se determinó mediante un análisis mecánico, una prueba de compresión, las muestras fueron analizadas mediante un texturómetro Stable Micro Systems (Mod. Texture Analyzer–XR2, Godalming, Surrey UK), siguiendo un ensayo propuesto por AACC que ayuda a determinar la firmeza del pan. Para realizar el ensayo siguiendo los parámetros de AACC, las muestras (rebanadas) deben tener un espesor de 25 mm y ser uniformes para que la sonda trabaje correctamente. El ensayo utiliza una sonda modelo P/36R (figura 7) empleada según estándar AACC (AACC, 74-09.01), se trata de una sonda radial de aluminio de 36 mm, que realizara una compresión a la muestra a una velocidad de 1.7 mm/s deformando la rebanada hasta llegar a un 40%.



Figura 7. Sonda P/36R que lleva a cabo la compresión.

III.3.7. ANÁLISIS DE COLOR

Para el análisis del color de las rebanadas de pan se utilizó un espectrocolorímetro (modelo MINOLTA, CM 3600D, Tokio, Japón) previamente calibrado con un cero y un blanco estándar, utilizando como referencia el observador 10° y el iluminante D65, realizando medidas por sextuplicado en el caso de la miga y por duplicado en el caso de la corteza. Fueron recogidos los datos de coordenadas de color CIE L*a*b* y la reflectancia (R) a partir de 400 mm a 760 mm de longitud de onda y ambas con un estado SCI/100, se seleccionó este estado porque la muestra carece de brillo ya que un pan tiene un color mate.

El sistema CIE L*a*b* (Anexo I) comprende las coordenadas L* que determina la luminosidad, a* determina en la zona de valores positivos los rojos y en la zona de valores negativos los verdes, b* determina en la zona de valores positivos los amarillos y en la zona de valores negativos los azules, C o también llamado croma h o tono es el ángulo que se forma entre la zona a* y b* y puede ir de 0 a 360 grados.

III.3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis estadístico de la varianza (ANOVA), con objeto de determinar las diferencias significativas entre los grupos de datos de las muestras estudiadas. Para ello se utilizó Statgraphics (versión Centurion XVI.I, StatPoint Technologies, Inc.) con un nivel de significación del 95 % ($p < 0.05$). En los casos donde se encontrarán diferencias significativas estas se evaluaron mediante el análisis de comparación de medias con la distribución Fisher LSD. También se realizaron ANOVAs multifactoriales con la finalidad de conocer qué factores tenían más influencia sobre las variables estudiadas.

IV. RESULTADOS

IV.1. ANÁLISIS DE HUMEDAD

Durante todo el proceso experimental se fueron realizando medidas de humedad tal como está definido en el apartado III.3.2 Determinación de humedad. El análisis de la humedad H_1 , que se corresponde con la humedad tras una hora de enfriamiento a temperatura ambiente de las piezas recién horneadas, no ha revelado diferencias significativas ni por efecto de la composición en harinas, ni por efecto de la levadura empleada, siendo de 43,2 % para los panes elaborados en el presente estudio.

En cuanto a la humedad determinada sobre las piezas tras un día de almacenamiento, H_2 , se ha observado un efecto significativo de la levadura empleada. Los panes elaborados con la levadura fresca han mostrado una humedad ligeramente mayor (44,3 %) que los panes elaborados con la levadura liofilizada (42,4 %) al día siguiente a su almacenamiento. Si bien este efecto se mostró significativo cabe indicar que las diferencias en cuanto a humedad entre estas son mínimas.

IV.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA HARINA

Los resultados del análisis del tamaño de partícula fueron obtenidos según el ensayo descrito en el apartado III.3.3. de Materiales y métodos. En la figura 8 se muestra la distribución del tamaño de partícula de las harinas tanto de trigo como de chufa. Representa el volumen de harina (%) frente al tamaño de las partículas analizadas (μm).

En las siguientes figuras se puede observar que en la harina de trigo encontramos dos zonas donde el volumen de partículas de un determinado tamaño es elevado destacable, estas regiones se corresponden con partículas de aproximadamente 23.6 μm y 134.7 μm para la muestra HT. Sin embargo, la distribución del tamaño de partícula de la muestra HCH la harina de chufa presenta un único pico máximo en aproximadamente 567.4 μm .

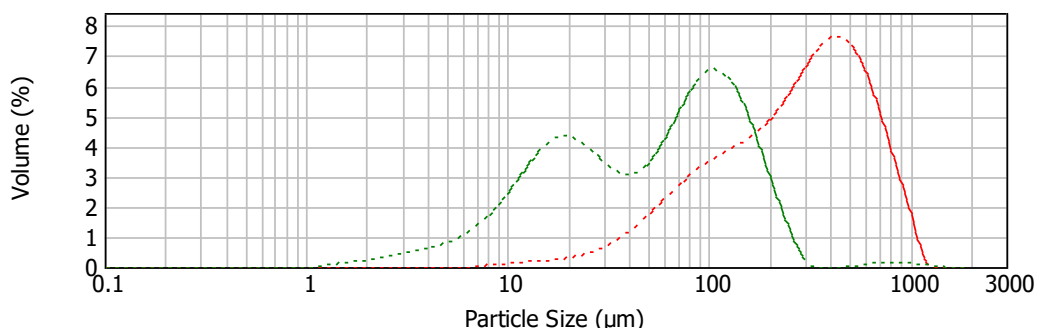


Figura 8. Distribución del tamaño de partícula de las harinas de trigo (HT: línea verde) chufa (HCH: línea roja).

La HCH posee un volumen elevado de partículas de gran tamaño, hecho que es apreciable también visualmente y al tacto. La HT procede de un proceso mecánico de molienda que incluye varios pasos por el molino hasta obtener un producto más finamente molturado, en el cual destaca una distribución de partículas más amplia, pero de granulometría menor al HCH.

En la tabla 5, se presentan las medias y desviaciones estándar de los parámetros analizados en el ensayo de tamaño de partícula para ambas harinas.

Tabla 5. Medias y desviaciones estándar de los parámetros del análisis del tamaño de partícula.

Muestra	$D_{[4,3]} (\mu\text{m})$	$d_{(0.1)} (\mu\text{m})$	$d_{(0.5)} (\mu\text{m})$	$d_{(0.9)} (\mu\text{m})$	Span	Uniformidad
HT	76,6	10,1	54,901	162,34	2,77	0,99
	(9,2)	(0,3)	(1,002)	(6,08)	(0,08)	(0,15)
HCH	332,6	66,6	287,6	685,3	2,15	0,68
	(19,1)	(2,9)	(23,3)	(29,8)	(0,09)	(0,03)

A partir de la tabla anterior podemos afirmar que la harina de trigo tiene una distribución más amplia de partículas (span) que la harina de chufa y presenta a su vez una uniformidad mayor. Por otra parte, la harina de chufa, tal y como se ha mencionado anteriormente, posee en su mayor parte (50%) partículas de tamaño muy superior a las de la harina de trigo, su distribución es menor, pero presenta una baja uniformidad de tamaños.

En la elaboración de las masas se ha observado que las harinas de trigo eran más uniformes al tacto y tenían un comportamiento de agregación menor que las harinas de chufa. La agregación o apelmazamiento de las harinas fue observado durante su almacenamiento, puesto que para preservar las harinas durante el presente estudio estas eran envasadas a vacío. En el momento de su empleo las harinas se extraen para ser pesadas, las harinas de trigo permanecían sueltas mientras que las harinas de chufa se presentaban compactas formando una gran cantidad de agregados.

IV.3. ANÁLISIS DE IMAGEN: DIMENSIONES Y ALVEOLADO

A partir de las determinaciones sobre las dimensiones de las piezas de pan realizadas según el apartado III.3.5 de Materiales y Métodos se realizó el análisis estadístico de los parámetros altura (h) y anchura (a) de los panes horneados. No se encontraron diferencias significativas en la altura o anchura de los panes por efecto de la levadura (Figura 9).



Figura 9. Medias e Intervalos LSD de altura (cm) de las rebanadas del pan frente al tipo de levadura.

Sin embargo, se ha observado un efecto significativo ($p < 0,05$) por efecto del porcentaje de HCH incorporada en la formulación de los panes sobre la altura y la anchura de los panes cocidos. En la figura 10, se muestra la altura (mm) de los panes en función del % HCH incorporado. Puede observarse una tendencia a decrecer la altura de las piezas según se incorpora una mayor cantidad HCH, independientemente de la levadura utilizada.

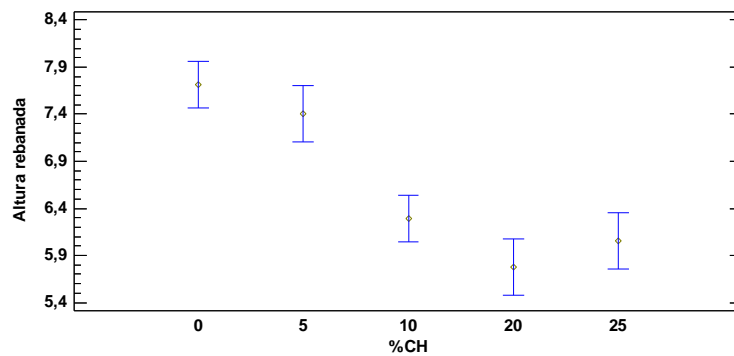


Figura 10. Medias e Intervalos LSD de altura (cm) de las rebanadas del pan frente al % de HCH.

En la figura 11, se muestra la anchura (cm) de los panes en función del % HCH incorporado. Puede observarse una tendencia a disminuir en anchura de las rebanadas en los panes con mayor sustitución de HT, esta tendencia es significativamente relevante al 95% de confianza. Solo una de las muestras se sale de dicha tendencia.

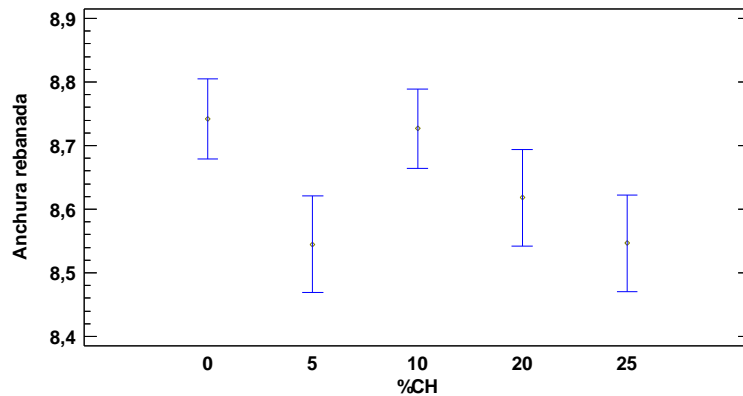


Figura 11. Medias e Intervalos LSD de anchura de las rebanadas del pan frente al % de HCH.

Para valorar la estructura de la miga de los panes ensayados se realizó un registro de imágenes de las rebanadas de pan sobre papel milimetrado, apartado III.3.5 de Materiales y Métodos, estas imágenes fueron convertidas a formato en escala de grises (RGB/#8) y analizadas con un software de análisis de imagen (Figura 12). A partir de estas imágenes se determinó el porcentaje de porosidad de las piezas.

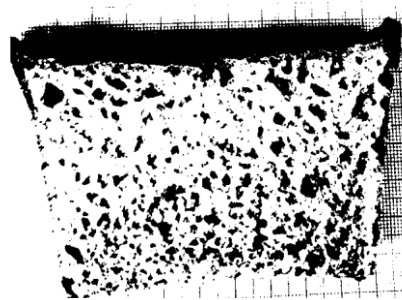


Figura 12. Sección de la pieza de la formulación de pan F20 elaborada con levadura fresca.

En la figura 13, puede apreciarse una sección de los panes ensayados. Todas las formulaciones ensayadas dieron lugar a panes bien desarrollados durante la fermentación que tras la cocción dieron lugar a panes con un aspecto muy similar al pan control (F0). Como puede apreciarse en dichas imágenes en la zona inferior junto a la corteza encontramos poros comprimidos y una porosidad menor que la miga. Tal y como han observado otros autores (Rzigue et al., 2016) en el núcleo del pan es donde suelen observarse un mayor número de alveolos que se traducen en una mayor porosidad.

Tal y como puede observarse, los panes con porcentajes de sustitución elevado (F20 y F25) muestran un desarrollo menor que se ha traducido en una altura menor en la pieza y un aspecto más compacto en las zonas de la corteza inferior y lateral.

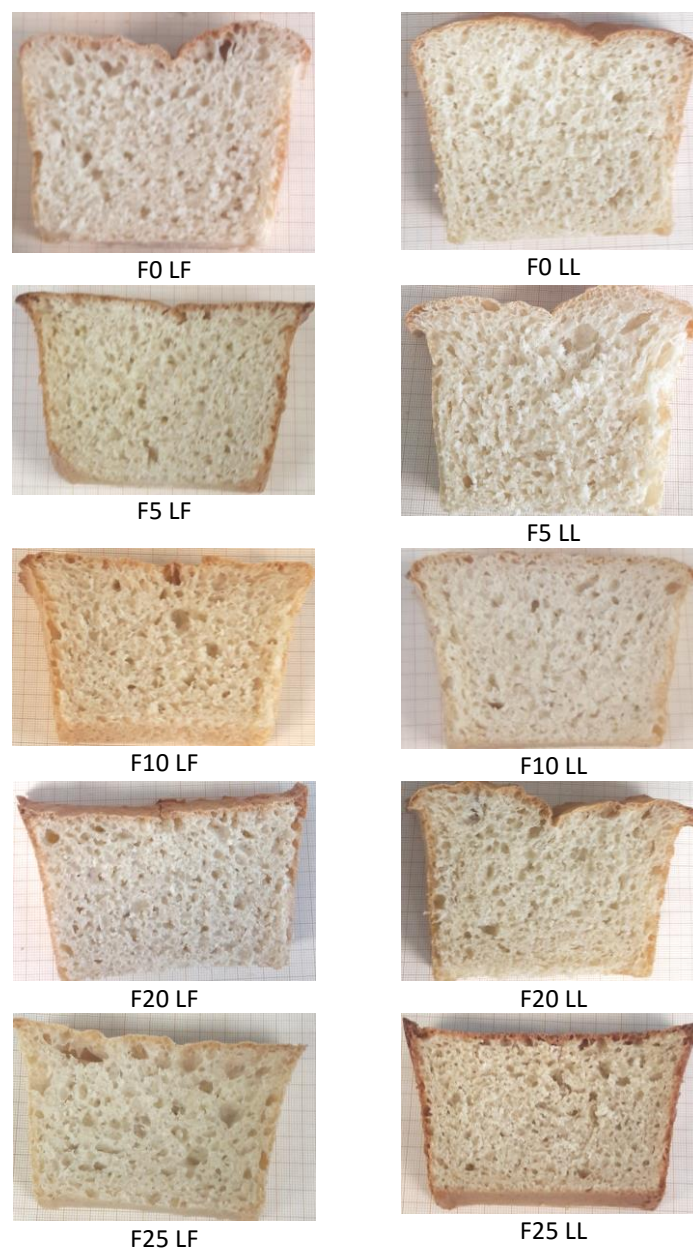


Figura 13. Imágenes de las rebanadas de los panes elaborados.

La porosidad de la miga no es uniforme en toda la rebanada de pan, por ello se ha determinado la porosidad media de las tres zonas analizadas, tal y como se ha descrito en el punto III.3.5 de materiales y métodos. En la figura 14, representa el porcentaje de porosidad presente en la miga de los distintos panes en función del % de chufa incorporado en su formulación. El análisis estadístico del porcentaje de porosidad ha mostrado, coherentemente con la evolución de las dimensiones de las piezas, el tipo de levadura empleada no tiene un efecto significativo sobre el alveolado de la miga, mientras que la porosidad si se ha visto significativamente afectada por el porcentaje de HCH incorporada.

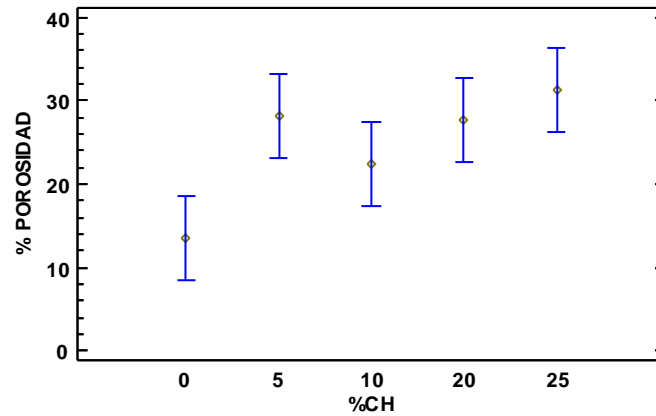


Figura 14. Medias e Intervalos LSD de la porosidad del pan frente al % de HCH.

En la figura 14, se puede observar que al aumentar el contenido de harina de chufa aumenta ligeramente la porosidad, esto se traduce en un mayor número de alveolos, pero de pequeño tamaño, mientras que en las piezas de pan más alta se presenta un alveolado más amplio, pero en menor número. Las muestras correspondientes a F5, no siguieron esta tendencia, tal y como se ha observado en las dimensiones de la pieza.

IV.4. ANÁLISIS DE TEXTURA

Los parámetros fuerza (F) y área bajo la curva (A) obtenidos en los ensayos de compresión del pan, descritos en el apartado Materiales y Métodos III.3.5 fueron analizados mediante Statgraphics. En la figura 15, se muestra la curva típica del ensayo de compresión realizado sobre los panes objeto de este estudio. La representación obtenida según software Exponent incluido en el equipo TA. XT plus. Estas curvas permiten entender el comportamiento de la miga bajo una deformación del 40%.

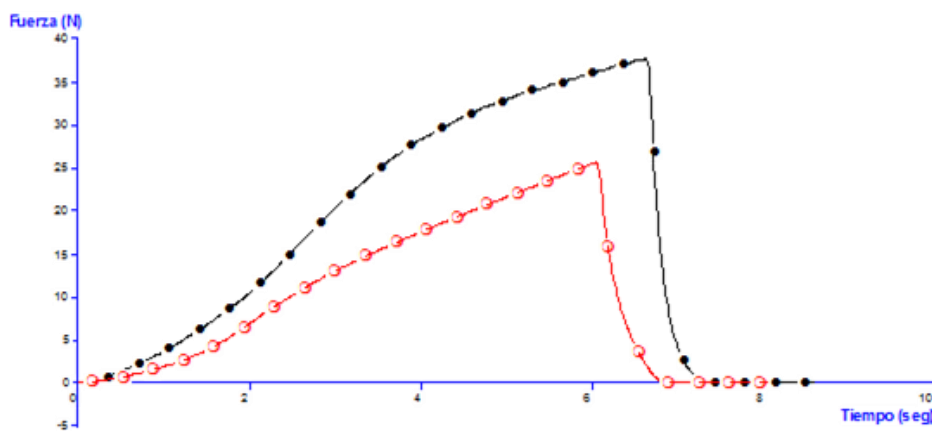


Figura 15. Ensayo de compresión para la formulación F25 con levadura fresca (LL: línea negra) y levadura liofilizada (LF: línea roja).

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en ambos parámetros fuerza (figura 16) y área de la curva por efecto de la levadura empleada. Los panes que fueron desarrollados con levadura liofilizada (LL) resultaron significativamente (<0.05) más duros que los elaborados con levadura fresca (LF) siendo la fuerza media de estos de 27,7 N y 20 N respectivamente.

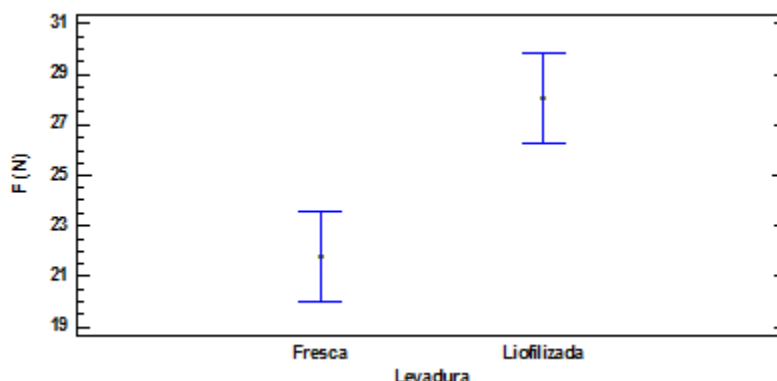


Figura 16. Medias e Intervalos LSD de firmeza frente al tipo de levadura.

En la tabla 6 se muestran las media y desviación estándar de los parámetros reológicos de los panes ensayados. No se encontraron diferencias significativas en la fuerza debidas a la sustitución de harinas. Lo cual indica que no son apreciables sobre la fuerza del pan las incorporaciones de harina de chufa realizadas. Si se observó una ligera tendencia a aumentar la fuerza en los panes conforme se sustituye la HT por HCH y se han encontrado diferencias significativas entre formulaciones entre las cuales la incorporación es el doble.

Tabla 6. Media y desviación estándar de los parámetros reológicos de los panes.

%Chufa	Levadura	F(N)*	Área (N·s) *
F0	LL	23,1 ^x (1,8)	72,8 ^x (8,7)
	LF	16,8 ^{ab} (1,5)	55,5 ^{ab} (8,1)
F5	LL	24,5 ^x (2,6)	93,4 ^{xy} (12,2)
	LF	12,9 ^a (1,5)	40,1 ^a (8,1)
F10	LL	26,2 ^x (2,6)	88,1 ^{xy} (12,3)
	LF	24,7 ^c (1,1)	88,1 ^c (5,7)
F20	LL	28,1 ^x (2,6)	114,8 ^{yz} (12,2)
	LF	32,5 ^d (1,5)	114,3 ^d (8,1)
F25	LL	38,3 ^y (2,6)	150,9 ^z (12,2)
	LF	20,5 ^b (1,5)	66,1 ^b (8,1)

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

** (a-d: diferencias levadura fresca; x-z: diferencias levadura liofilizada)

IV.5. ANÁLISIS DE COLOR

Las determinaciones de color realizadas según el apartado II.3.7 de Materiales y Métodos, tanto de la miga (tabla 7) como de la corteza (tabla 8) se muestran a continuación indicando sobre las mismas las diferencias estadísticas encontradas sobre las medias de los parámetros de color por efecto del tipo de levadura (a-d) o del porcentaje de sustitución (x-w) por presentar estas variables distinta respuesta estadística.

COLOR EN LA MIGA

En la tabla 7 se presentan las medias y desviaciones estándar de los parámetros de color del espacio CIE Lab*, además del Croma (C*) y el tono (h) en la miga de pan.

Tabla 7. Media y desviación estándar del color de la miga del pan.

% Chufa	Levadura	L*	a*	b*	C*	h
F0	LL	73,4 ^z (0,4)	1,84 ^v (0,06)	22,5 ^w (0,2)	22,6 ^w (0,2)	85,3 ^y (0,1)
	LF	72,9 ^e (0,4)	1,48 ^a (0,07)	20,4 ^b (0,2)	20,6 ^b (0,2)	85,9 ^d (0,1)
F5	LL	72,0 ^y (0,5)	2,41 ^w (0,09)	24,0 ^v (0,2)	22,6 ^v (0,2)	83,3 ^x (0,2)
	LF	70,5 ^d (0,4)	1,86 ^b (0,07)	18,4 ^a (0,2)	18,5 ^a (0,2)	84,2 ^c (0,1)
F10	LL	68,4 ^x (0,5)	2,93 ^x (0,09)	23,7 ^x (0,2)	24,1 ^x (0,2)	83,0 ^x (0,2)
	LF	68,8 ^c (0,3)	2,43 ^c (0,05)	21,4 ^c (0,1)	21,6 ^c (0,1)	83,5 ^b (0,1)
F20	LL	65,8 ^w (0,5)	3,49 ^y (0,09)	23,5 ^x (0,2)	23,9 ^x (0,2)	81,6 ^w (0,2)
	LF	64,3 ^a (0,4)	3,40 ^d (0,07)	22,9 ^d (0,2)	23,1 ^d (0,2)	81,6 ^a (0,1)
F25	LL	63,9 ^v (0,5)	3,70 ^y (0,09)	22,5 ^x (0,2)	23,8 ^x (0,2)	81,1 ^v (0,2)
	LF	65,9 ^b (0,4)	2,33 ^c (0,07)	20,4 ^a (0,2)	20,6 ^a (0,2)	83,5 ^b (0,1)

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

***(a-d: diferencias levadura fresca; v-z: diferencias levadura liofilizada)*

Se han observado diferencias significativas en cuanto a la Luminosidad (figura 17) de las muestras por efecto del contenido en harina de chufa de los panes, pero no resulta significativo el efecto del tipo de levadura empleada. Los gráficos del análisis de la varianza se muestran en el ANEXO II. Este parámetro presenta una tendencia a disminuir conforme se añade la HCH, tal y como era esperable, si bien cabe destacar que las diferencias en la luminosidad son pequeñas no superándose los 10 puntos de diferencia entre todas las formulaciones ensayadas. Este resultado es coherente puesto que, cuanto mayor es el contenido en HCH, la miga se vuelve más oscura al adicionarse una materia prima que es más oscura, debido principalmente a la presencia de partículas de fibra que provienen de la chufa, lo cual da lugar a una miga más oscura en determinadas regiones.

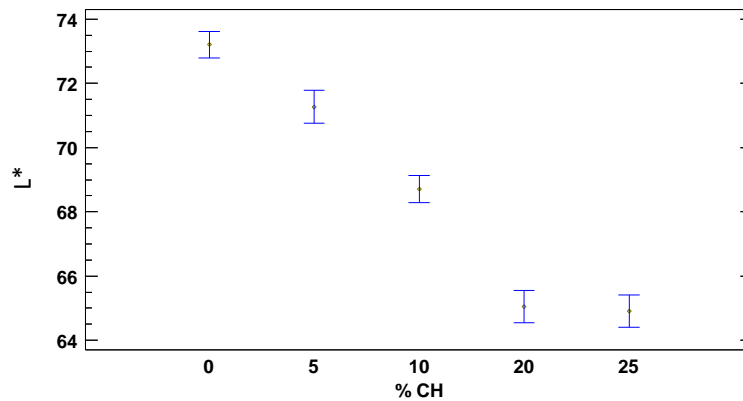


Figura 17. Medias e Intervalos LSD de L* de la miga del pan frente al % de HCH, para ambas levaduras.

En cuanto al parámetro a* en la miga se han encontrado un efecto significativo debido al tipo de levadura empleada, figura 18. Este cambio de color es detectado instrumentalmente si bien no es apreciable a simple vista, tampoco se ha encontrado en bibliografía a que puede deberse esta diferencia.

En la figura 18, a* para ambos tipos de levadura, se puede observar que cuanto más cantidad de HCH el color de pan cambia hacia colores más marrones, si bien, en la miga, estas tonalidades son suaves y por tanto los valores no son muy altos.

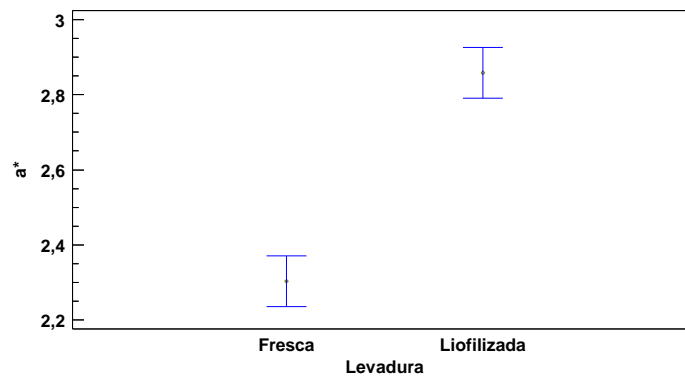


Figura 18. Medias e Intervalos LSD de a* de la miga del pan frente al tipo de levadura.

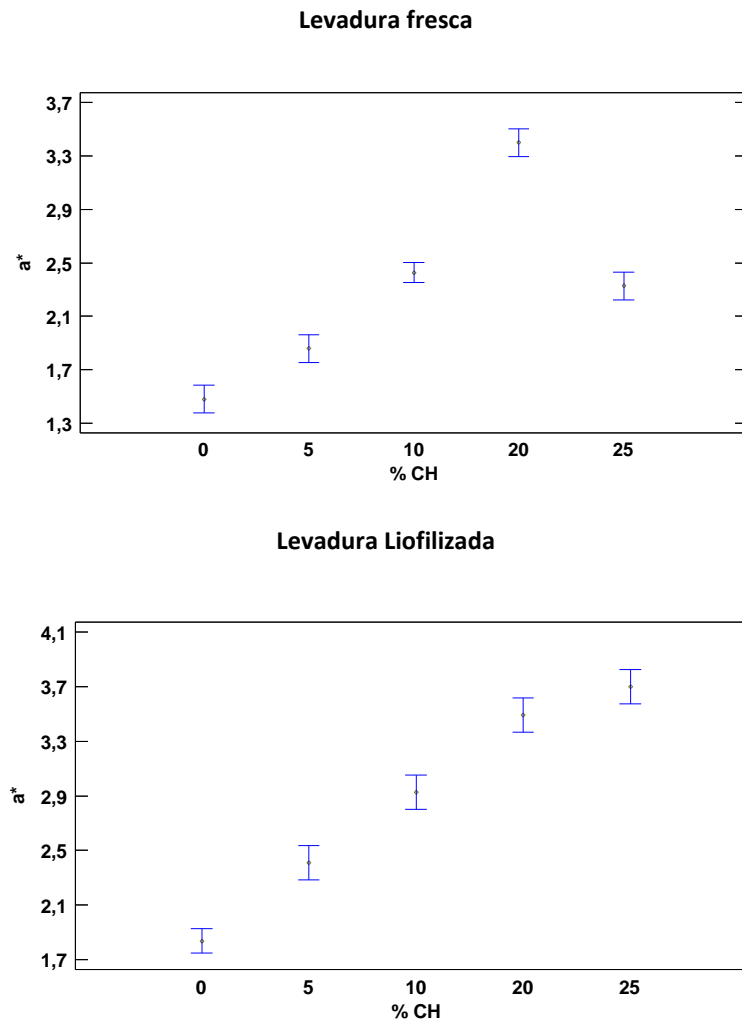


Figura 19. Medias e Intervalos LSD de a^* de la miga del pan frente al % de HCH.

Se observaron ligeras diferencias significativas por efecto de la sustitución de HCH y la levadura empleada sobre los valores de b^* y C^* (anexo II), mostrándose valores muy similares entre las distintas formulaciones que no pusieron de manifiesto una tendencia de cambio.

En el caso de h , nuevamente se encuentran diferencias significativas por efecto del tipo de levadura y al mismo tiempo se ha encontrado una tendencia a disminuir el tono de la miga de los panes al aumentar la cantidad de HCH incorporada, tal como se muestra en la figura 20.

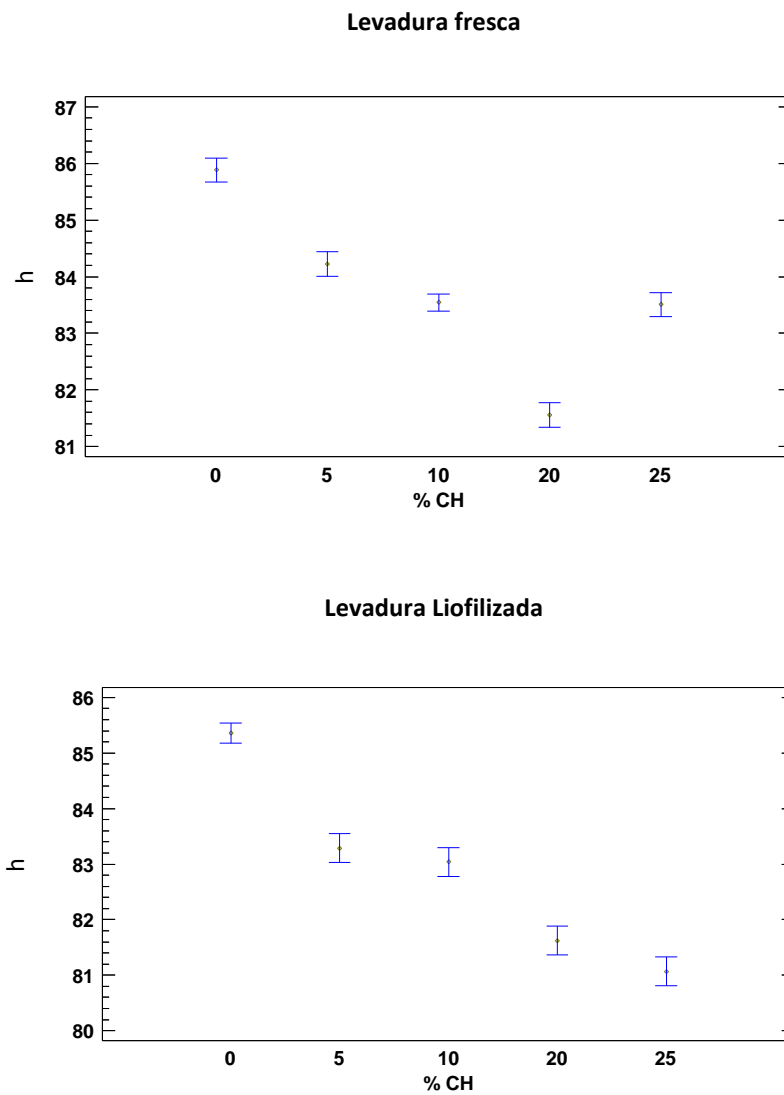


Figura 20. Medias e Intervalos LSD de h de la miga del pan frente al % de HCH.

En la figura 21 se observa el diagrama cromático L^*a^* , en este gráfico puede verse la evolución del color descrita. Las formulaciones con incorporación de HCH tienden a ser más oscuras y viran hacia tonalidades marrones.

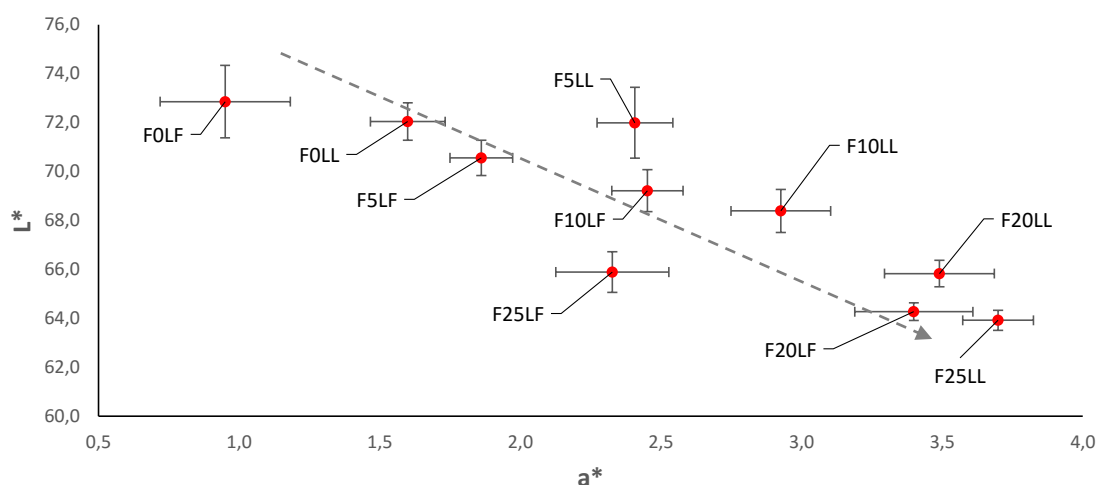


Figura 21. Diagrama cromático (L* vs a*) de la miga del pan.

El pan control, F0, elaborado únicamente con harina de trigo, posee un color más blanco-amarillo que los panes elaborados HCH. Tal y como se ha mencionado, la harina de chufa es ligeramente marfil con trazas de fibras de tonalidades marrones, mientras que la harina de trigo tiene un índice de blancura elevado. Por tanto, al aumentar el porcentaje de sustitución de harina blanca por harina de chufa, se observa la producción de un cambio de color en la miga del pan hacia tonalidades marrones.

COLOR DE LA CORTEZA

A continuación, se analizarán los datos obtenidos, recogidos en la tabla 8, para los mismos parámetros que están descritos en el apartado III.3.6. de Materiales y Métodos, para la corteza del pan. El análisis se realizó sobre la corteza superior del pan, es decir el de la superficie expuesta al calor y convección de aire, no las cortezas laterales e inferior en contacto con el molde. En los datos obtenidos relativos a dicha corteza se puede apreciar una gran variabilidad de los parámetros de color estudiados es muy elevada, esto es debido a que la corteza no resulto uniforme en toda el área de la pieza por efecto del horneado.

Pese a lo comentado, se han encontrado diferencias significativas en la luminosidad por efecto del tipo de levadura, siendo más claras las muestras que se desarrollan con levadura fresca que las realizadas a partir de la liofilizada. También se ha encontrado una tendencia al oscurecimiento de los panes elaborados con HCH, anexo II, no tan evidente en los panes con levadura liofilizada.

Tabla 8. Media y desviación estándar del color de la corteza del pan.

% Chufa	Levadura	L*	a*	b*	C*	h
F0	LL	47,0 ^y (0,8)	15,5 ^y (0,7)	31,4 ^y (0,9)	35,1 ^y (0,8)	63,7 ^y (1,3)
	LF	67,4 ^c (1,9)	7,1 ^a (0,4)	29,6 ^b (0,6)	30,4 ^b (0,7)	76,4 ^d (0,7)
F5	LL	54,3 ^z (1,1)	12,7 ^x (1,0)	30,9 ^y (1,2)	33,4 ^y (1,3)	67,7 ^y (1,8)
	LF	61,3 ^{bc} (1,9)	9,6 ^b (0,4)	30,0 ^b (0,6)	31,5 ^b (0,7)	72,3 ^{bc} (0,7)
F10	LL	46,1 ^y (1,1)	15,1 ^{xy} (1,0)	29,6 ^y (1,2)	33,3 ^y (1,3)	62,9 ^y (1,7)
	LF	56,8 ^b (1,4)	9,2 ^b (0,3)	26,7 ^b (0,5)	28,3 ^a (0,5)	70,9 ^b (0,5)
F20	LL	44,2 ^y (1,1)	14,8 ^{xy} (1,0)	29,3 ^y (1,2)	32,8 ^y (1,3)	63,2 ^y (1,8)
	LF	41,7 ^a (1,9)	12,1 ^c (0,4)	25,5 ^b (0,6)	28,2 ^a (0,7)	64,6 ^a (0,7)
F25	LL	30,6 ^x (1,1)	14,0 ^{xy} (1,0)	17,4 ^x (1,2)	22,4 ^c (1,3)	50,8 ^x (1,8)
	LF	58,0 ^b (1,9)	8,0 ^a (0,4)	26,8 ^a (0,6)	28,0 ^a (0,7)	73,4 ^c (0,7)

*Diferentes letras representan diferencias significativas para p<0.05

***(a-d: diferencias levadura fresca; x-z: diferencias levadura liofilizada)*

Respecto a los valores de a* obtenidos solamente se ha puesto de manifiesto la influencia del tipo de la levadura, los valores de este parámetro fueron más elevados en el caso de los panes desarrollados con levadura liofilizada, frente a el empleo de levadura fresca que dio lugar a panes menos pardos. Respecto al parámetro b*, figura 22, se ha observado cierta influencia en el contenido en harina de chufa de los panes, solo en las formulaciones con mayor porcentaje (F25) siendo está formulación menos amarilla y significativamente más parda.

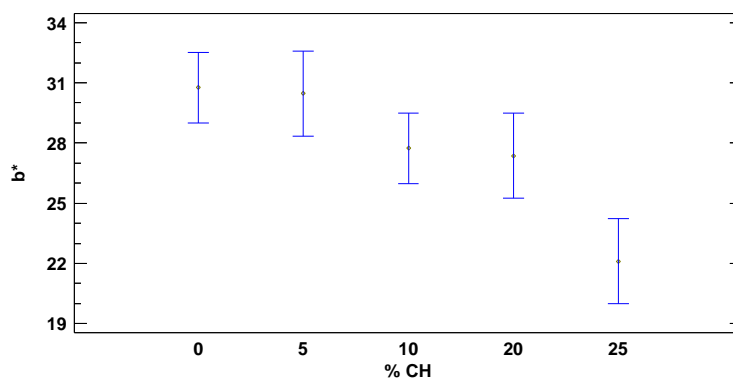


Figura 22. Medias e Intervalos LSD de b* de la corteza del pan frente al % de HCH, para ambos tipos de levadura.

El croma de la corteza de los panes, C^* (Anexo II), se ha mostrado ligeramente afectado por el tipo de levadura empleada y también mostro una ligera tendencia a disminuir en las formulaciones a partir del 10% de harina de chufa siendo el tono de estas más intenso.

En cuanto al tono, nuevamente hay influencia del tipo de levadura siendo mayor en los panes elaborados con levadura fresca (figura 23).

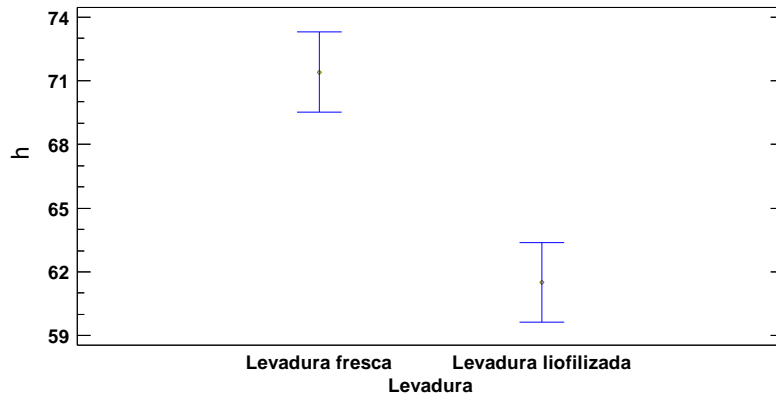


Figura 23. Medias e Intervalos LSD de h de la corteza del pan frente al tipo de levadura.

En la figura 24 se presenta el diagrama cromático L^*a^* , en este gráfico puede verse la evolución del color descrita. Las formulaciones se ordenan según el tipo de levadura empleado en su elaboración siendo el color de la corteza de las piezas elaboradas con levadura fresca más claras y menos marrones. En cuanto a las formulaciones realizadas con LL han dado lugar a cortezas pardo-rojizas y menos luminosas.

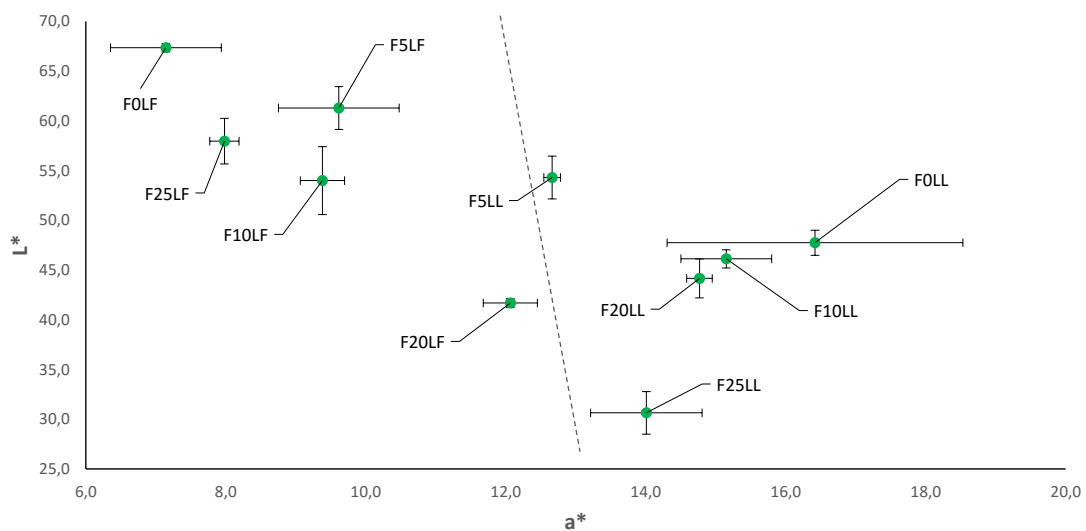


Figura 24. Diagrama cromático (L^* , a^*) de la corteza del pan.

V. CONCLUSIONES

El empleo de harinas distintas a las harinas de trigo convencionales puede suponer una mejora en propiedades funcionales y nutricionales de los panes. La harina de chufa puede aportar proteínas composición de aminoácidos más completa, vitaminas y minerales que las harinas refinadas de trigo no poseen. Si bien, la ausencia de gluten y el elevado tamaño de partícula de la harina de chufa pueden ser un inconveniente tecnológico al incorporarlas en las masas panarias, las sustituciones realizadas en el presente estudio han dado lugar a la obtención de productos fermentados con buenas características reológicas, estructurales y sensoriales que pueden permitir la aceptación del producto.

La obtención de piezas de pan de chufa ha sido posible gracias al detallado estudio realizado sobre las materias primas y el propio proceso de elaboración que fue modificado a partir de un proceso de panificación convencional.

Todas las formulaciones ensayadas dieron lugar a panes bien desarrollados durante la fermentación que tras la cocción proporcionaron panes con un aspecto muy similar al pan control (FO). El análisis de la estructura interna de los panes con incorporación de harina de chufa ha puesto de manifiesto que dicha incorporación (a partir del 10%) supone una disminución significativa de la altura de las piezas de pan. También la anchura se vio disminuida si bien su efecto no fue tan evidente. Al aumentar el contenido de harina de chufa aumento significativamente la porosidad, esto se traduce en un mayor número de alveolos, pero de pequeño tamaño, mientras que en las piezas de pan con menor cantidad de HCH se presenta un alveolado más amplio, pero en menor número.

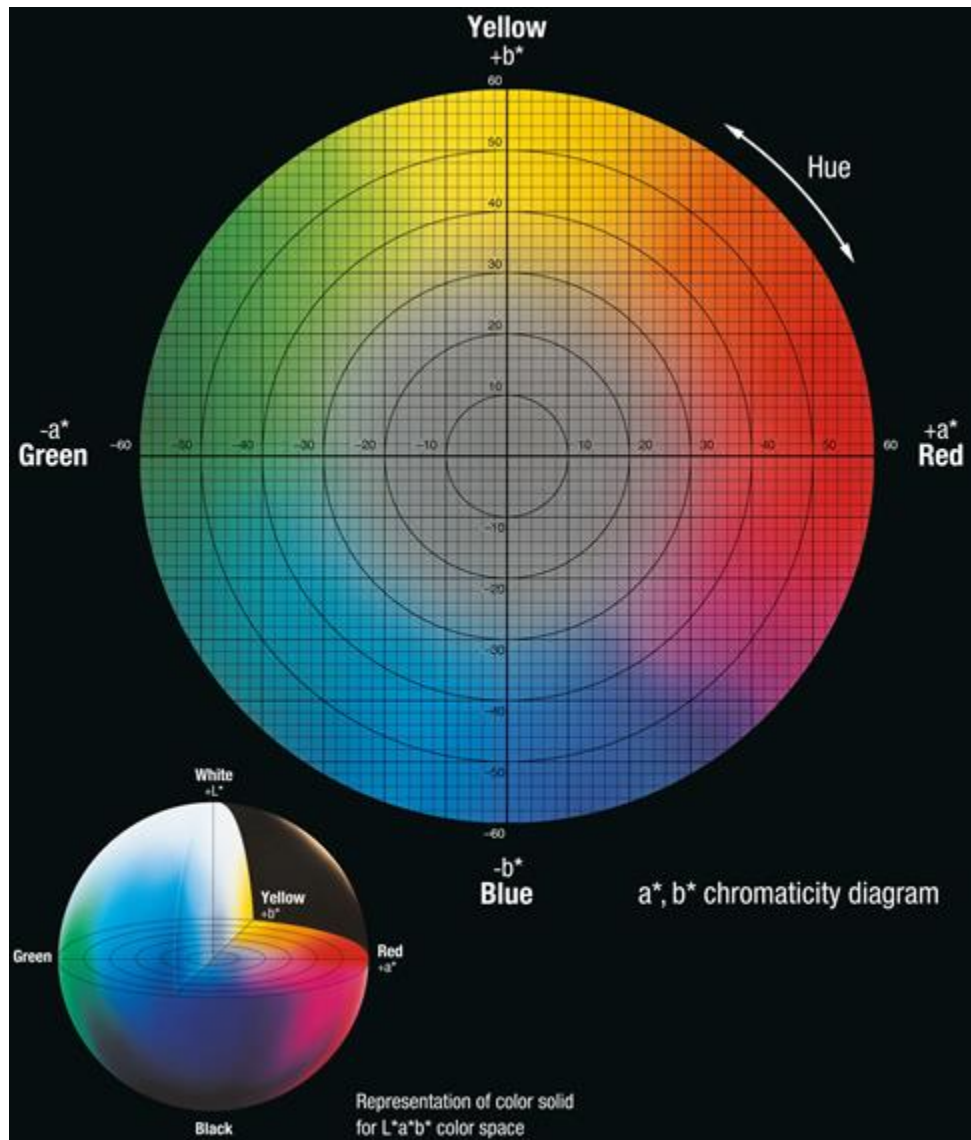
Los ensayos de compresión realizados sobre la miga del pan han mostrado que los panes desarrollados con levadura liofilizada son significativamente más duros que los elaborados con levadura fresca. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la fuerza debidas a la sustitución de harinas.

Los cambios de color en la miga han revelado diferencias por incorporación de harinas de chufa siendo estas más oscuras y ligeramente pardas. Sin embargo, los cambios de color sobre la corteza del pan se han visto afectados por el proceso de horneado, siendo la superficie de la pieza poco homogénea en cuanto al tostado, por ello los cambios en los parámetros de color de la corteza no han revelado cambios concluyentes en este sentido.

VI. ANEXOS

ANEXO I

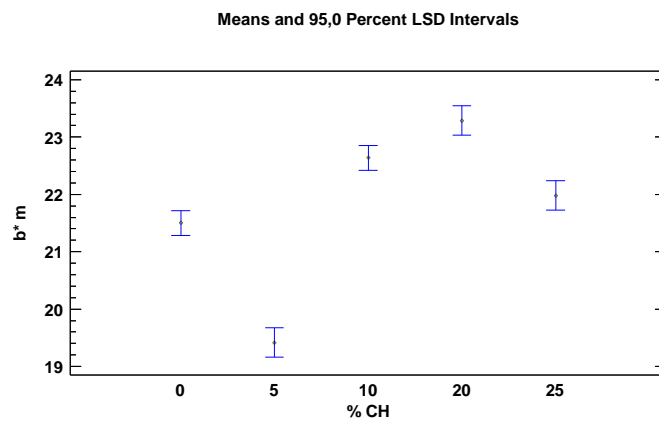
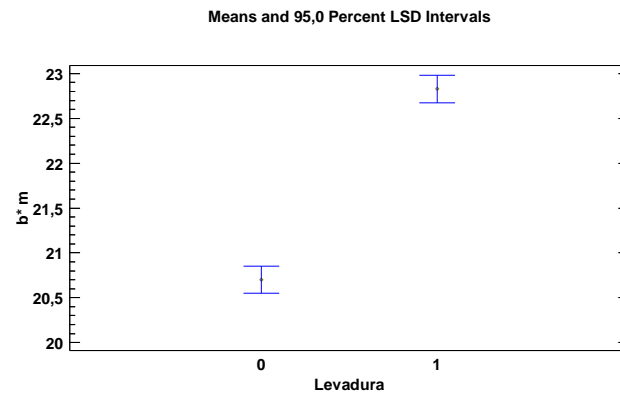
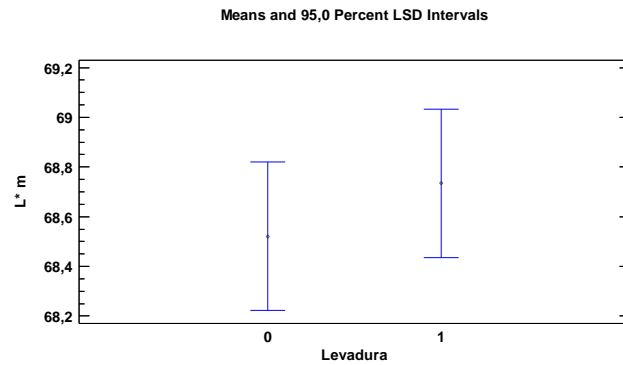
Espacio de color CIE Lab* (Minolta, S.A.)



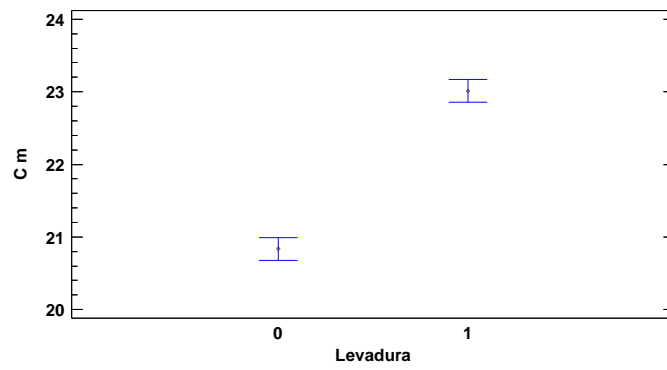
ANEXO II

Análisis de la Varianza. Color de la Miga.

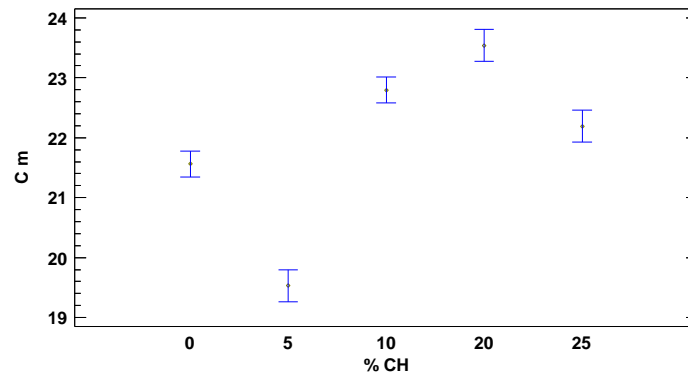
(0= levadura fresca, 1= levadura liofilizada)



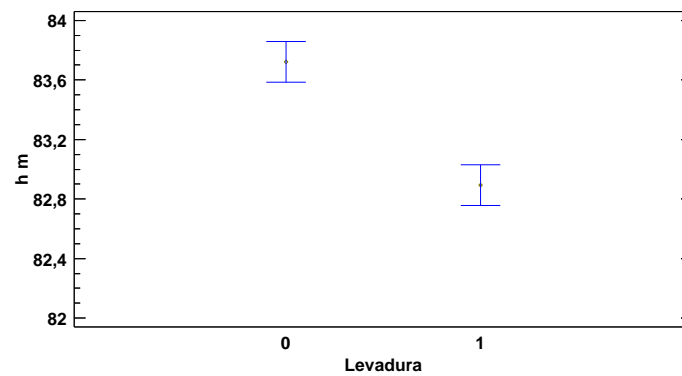
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Means and 95,0 Percent LSD Intervals

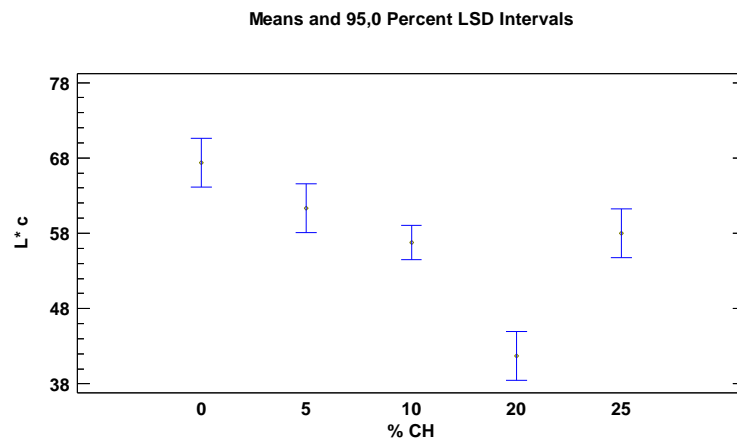
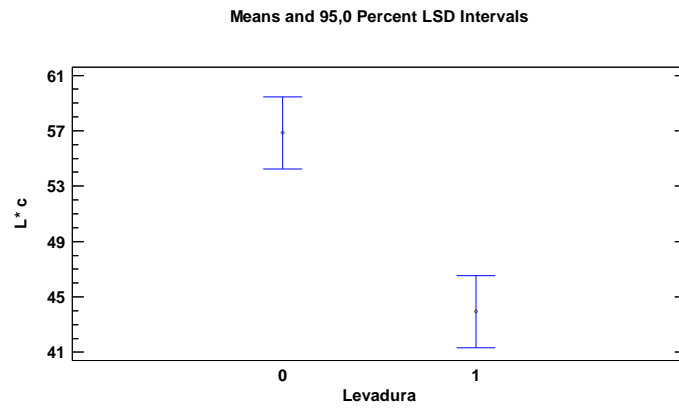


Means and 95,0 Percent LSD Intervals

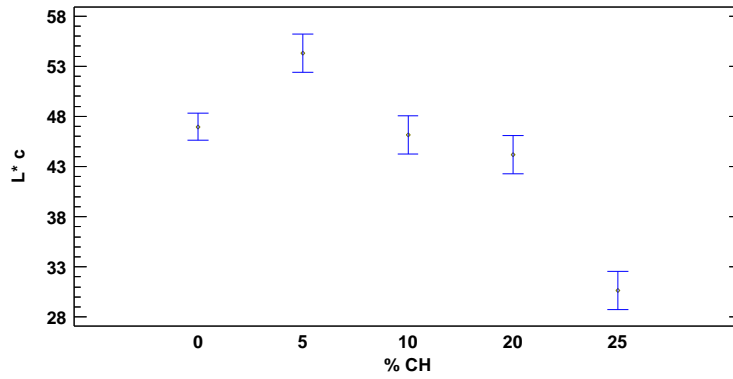


Análisis de la Varianza. Color de la Corteza.

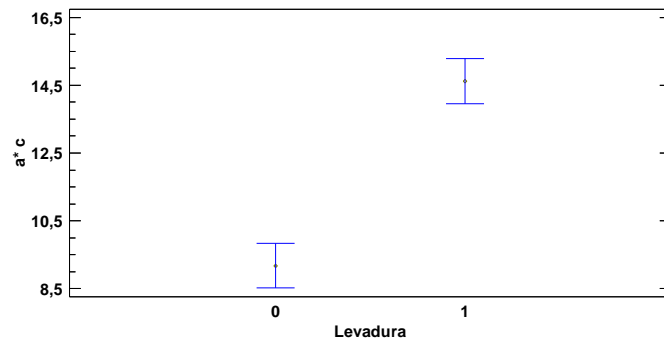
(0= levadura fresca, 1= levadura liofilizada)



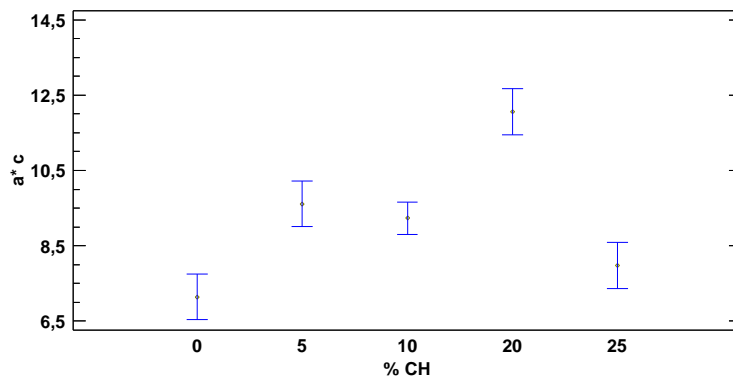
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



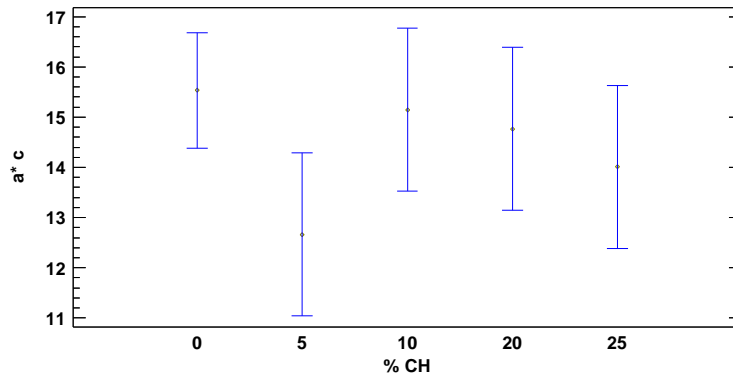
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



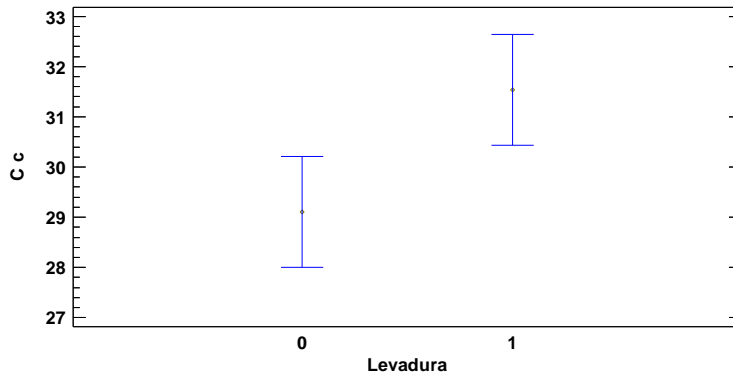
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Means and 95,0 Percent LSD Intervals

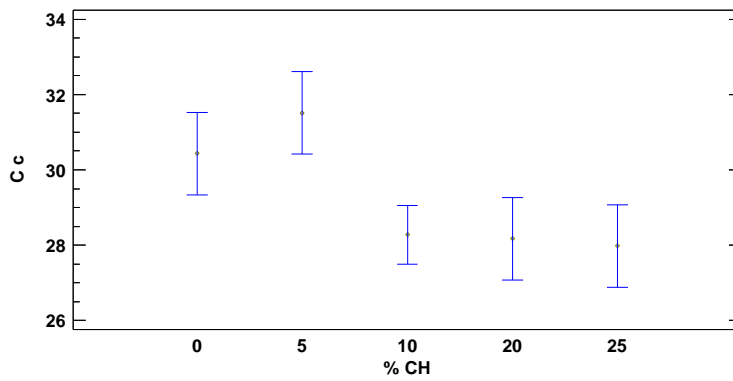


Means and 95,0 Percent LSD Intervals



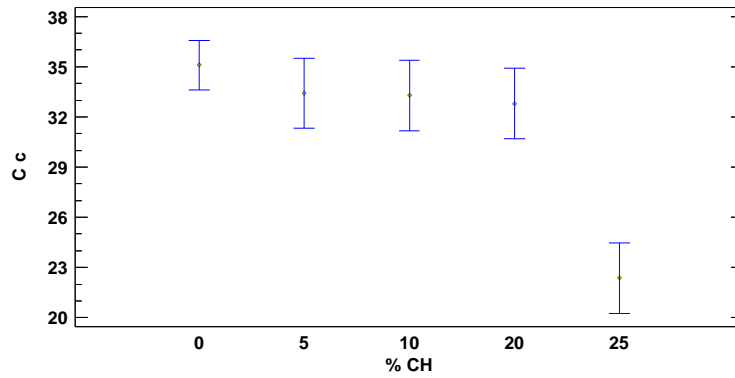
Levadura Fresca

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



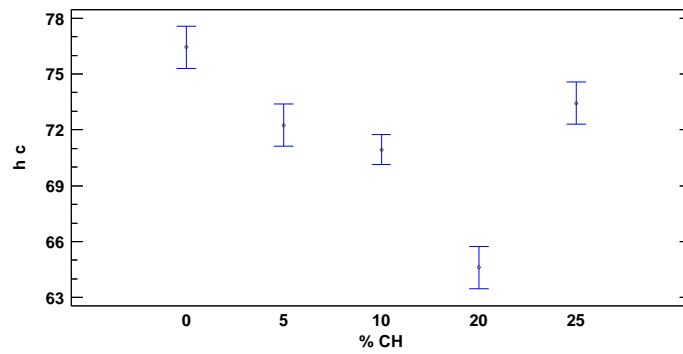
Levadura Liofilizada

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



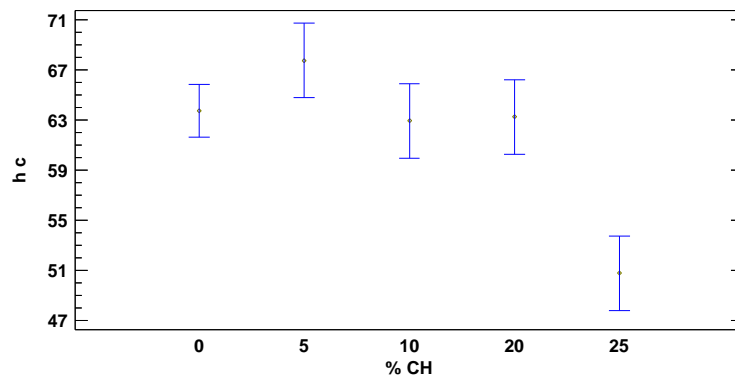
Levadura Fresca

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Levadura Liofilizada

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



VII. BIBLIOGRAFÍA

- AACC (74-09.01). Determination of bread firmness using the AACC - American Association of Cereal Chemists. Cereal Laboratory Methods.
- AACC - American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (9th ed.). St. Paul, MN, method 44-15A (1995)
- Adejuyitan, J. A. (2011). Tigernut processing: its food uses and health benefits. *American Journal of Food Technology*, 6(3), 197-201.
- Aguilar, N., Albanell, E., Minarro, B., Guamis, B., & Capellas, M. (2014). Effect of tiger nut-derived products in gluten-free batter and bread. *Food Science and Technology International*, 21(5), 323-331. <http://dx.doi.org/10.1177/1082013214535615>
- Arafat, S. M., Gaafar, A. M., Basuny, A. M., & Nassef, S. L. (2009). Chufa tubers (*Cyperus esculentus* L.): As a new source of food. *World Applied Sciences Journal*, 7(2), 151-156.
- ASEMAC. (2015). *Datos del sector 2014*. www.asemac.es. 18 Abril 2016, <http://www.asemac.es/docus/Datos%20del%20sector%202014.pdf>
- ASEMAC. (2016). *El mercado español de la panadería y bollería es el que más crece de Europa*. *Interempresas base de datos ASEMAC*. 9 Junio 2016, <http://www.interempresas.net/Hosteleria/Articulos/135197-El-mercado-espanol-de-la-panaderia-y-bolleria-es-el-que-mas-crece-de-Europa.html>
- *[Base de datos de consumo en hogares] – Alimentación - magrama.gob.es*. (2015b). <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/panel-de-consumo-alimentario/base-de-datos-de-consumo-en-hogares/consulta.asp>
- Bixquert Jiménez, M. (2016). *La horchata de chufa: propiedades saludables y de prevención de enfermedades digestivas*. (Doctor). Universidad de Valencia, área docente de Digestivo del Departamento de Medicina.
- Calaveras, J. (1996). *Tratado de panificación y bollería* (pp. 20-28). Madrid: A. Madrid Vicente.
- Callejo González, M., Rodríguez Badiola, G., & Gil González, M. (2002). *Industrias de cereales y derivados*. [Madrid]: Mundi-Prensa Ediciones. → (Callejo González, Rodríguez Badiola, y Gil González, 2002)
- CASP, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal*. Síntesis D.L. Madrid.
- *[Informe anual de la industria alimentaria española periodo 2014-2015] - Alimentación - magrama.gob.es*. (2015a). http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/_informeanualindustriaalimentaria2014-2015_tcm7-421229.pdf
- *[Informe del Consumo de Alimentación en España 2014] – Alimentación - magrama.gob.es*. (2014). http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informeconsumoalimentacion2014_tcm7-382148.pdf
- Mastromatteo, M., Guida, M., Danza, A., Laverse, J., Frisullo, P., Lampignano, V., & Del Nobile, M. (2013). Rheological, microstructural and sensorial properties of durum wheat

- bread as affected by dough water content. *Food Research International*, 51(2), 458-466.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.004>
- Magrama (2014). Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (2015). *Informe de resultados de aplicación del pan 2014* (pp. 1-7).
 - Mudgil, D.; Barak, S. & Khatkar, B.S. (2016) Optimization of bread firmness, specific loaf volume and sensory acceptability of bread with soluble fiber and different water levels, *Journal of Cereal Science*, Volume 70, July 2016, Pages 186-191, ISSN 0733-5210, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.009>.
 - Mulinacci, I. (2016). Distribución y Consumo - Nº 142 Panadería y Pastelería. www.mercasa.es. Junio 2016, http://www.mercasa.es/files/multimedios/1463941106_Panaderia_y_pasteleria.pdf
 - Martín Cerdeño, V. (2012). *Consumo de pan en España*. http://www.mercasa.es/files/multimedios/1298392414_pag_095-099_Pan_3.pdf
 - *Monográfico pan - Estudio de mercado Observatorio del Consumo y la Distribución Alimentaria*. (2010) http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/consumo_pan_tcm7-8058.pdf
 - [Panel de hogares] – *Alimentación - magrama.gob.es*. (2008). *Magrama.gob.es*. http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/monogr_pan_08_tcm7-7952.pdf
 - Ponce Sifre, Alejandra (2011). Estado actual de la industria de elaboración del pan precocido. Tecnología del proceso productivo. Trabajo fin de Carrera Ingeniería Técnica Agrícola Universidad Politécnica de Valencia (UPV).
 - Raga, A. (2015). Influencia de la harina de chufa y el maltitol en la caracterización fisicoquímica y sensorial de galletas (Graduado). Universidad Politécnica de Valencia (UPV).
 - *Ranking empresas de alimentación alimentos en España by marketing4food*. (2012). *marketing4food*. 9 Junio 2016, http://www.marketing4food.com/Ranking_empresas_Espana_alimentacion_alimentario
 - Rawle, A. *Principios básicos del análisis del tamaño de partículas* (1st ed., pp. 1-9). <http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/Malvern/Productos-MAL/DIF-Principios%20basicos%20Analisis%20Tam.%20Particula.pdf>
 - Renata R., Dziki, D., & Laskowski, J. (2014). Changes in the physical and the sensorial properties of wheat bread caused by interruption and slowing of the fermentation of yeast-based leaven. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 88-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.005>
 - Rzigue, R.; Monteau, J.Y; Marmi, K.; Le Bail, A.; Chevallier, S.; Réguerre, A-L. & Jury, V. (2016) Bread collapse. Causes of the technological defect and impact of depanning time on bread quality, *Journal of Food Engineering*, Volume 182, August 2016, Pages 72-80, ISSN 0260-8774, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.007>.

- Soriano del Castillo, J. (2014). *El gran libro de la horchata y chufa en Valencia* (pp. 60-65). Valencia
- Tejero, F. (2016) - *Asesoría Técnica en Panificación - Pruebas comparativas con panes integrales*. Francisco Tejero - *Asesoría Técnica en Panificación*. 11 May 2016, <http://www.franciscotejero.com/tecnicas/pruebas-comparativas-con-panes-integrales/>
- TIGERNUTS (2016). *Harina de chufas| Dulce & Saludable*. 9 Abril 2016, <http://www.tigernuts.es/productos/harina-de-chufa/>
- Tejero, F. (2002). *Aprender a hacer pan es fácil*. Barcelona: Montagud.
- Van Nieuwenhuijzen, N., Tromp, R., Mitchell, J., Primo-Martín, C., Hamer, R., & van Vliet, T. (2010). Relations between sensorial crispness and molecular mobility of model bread crust and its main components as measured by PTA, DSC and NMR. *Food Research International*, 43(1), 342-349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.015>
- Vargas, E. & Haros, M. (2010). *Mejora nutricional del pan con salvado de arroz colombiano*. <http://www.utadeo.edu.co>. 9 abril 2016, http://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field_attached_file/mejora_nutricional_del_pan_con_salvado_de_arroz_0.pdf
- Wronkowska, M., Zielińska, D., Szawara-Nowak, D., Troszyńska, A., & Soral-Åšmietana, M. (2010). Antioxidative and reducing capacity, macroelements content and sensorial properties of buckwheat-enhanced gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(10), 1993-2000. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02375.x>

LEGISLACIÓN DEL PAN

- CAE (2006). Código Alimentario Español y disposiciones complementarias Deleuze Isasi, P Madrid, Tecnos, 2006. 7ª ed. ISBN 8430943145
- REAL DECRETO 1137/1984, de 28 de marzo, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Fabricación, Circulación y Comercio del Pan y Panes Especiales (BOE núm. 146, de 19 de junio de 1984).
- REAL DECRETO 2627/1985, de 4 de diciembre, por el que se modifica el artículo 12 del Real Decreto 1137/1984, de 28 de marzo, por el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria para la fabricación, circulación y comercio del pan y panes especiales (BOE núm. 16, de 18 de enero de 1986).
- REAL DECRETO 285/1999, de 22 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1137/1984, de 28 de marzo, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Fabricación, Circulación y Comercio del Pan y Panes Especiales (BOE núm. 46, de 23 de febrero de 1999).
- REAL DECRETO 1202/2002, de 20 de noviembre, por el que se modifica la Reglamentación técnico-sanitaria para la fabricación, circulación y comercio del pan y panes especiales, aprobada por el Real Decreto 1137/1984, de 28 de marzo (BOE núm. 280, de 22 de noviembre de 2002)
- REAL DECRETO 1975/2004, de 1 de octubre, por el que se modifica la Reglamentación técnicosanitaria para la fabricación, circulación y comercio del pan y panes especiales, aprobada por el Real Decreto 1137/1984, de 28 de marzo (BOE núm. 249, de 15 de octubre de 2004).
- REAL DECRETO 1286/1984, de 23 de mayo (BOE de 26 de julio), por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria, para la elaboración, circulación y comercio de las harinas y sémolas de trigo y otros productos de su molienda para consumo humano.
- REAL DECRETO 285/1999, de 22 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1137/1984, de 28 de marzo, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para la fabricación, circulación y comercio del pan y panes especiales. (BOE núm. 46 martes 23 febrero 1999)