

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI  
NATURAL



## SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE AVENA PARA LA ELABORACIÓN DE PAN.

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO  
RURAL

ALUMNA: DÑA. CARLA MEDINA VENTURA

TUTOR: Prof. D. JOSÉ MANUEL BARAT BAVIERA

CODIRECTOR: Prof. D. RAÚL GRAU MELÓ

DIRECTOR EXPERIMENTAL: D. SAMUEL VERDÚ AMAT

**Curso Académico: 2014/2015**

**VALENCIA, JULIO DE 2015**

Licencia Creative Commons

# SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE AVENA PARA LA ELABORACIÓN DE PAN.

## RESUMEN:

En el presente trabajo se ha planteado el uso de harina de *Avena Sativa* (harina de Avena) para la mejora del procesado de masas panarias. Para ello se evaluó la mejor combinación de harina de avena y harina de trigo con el fin de reducir los costes de las empresas de panificación, así como la incidencia del uso de dos pre-tratamientos en la harina de avena. El estudio de la fermentación, la variación de masa y de la textura mostraron que el 10% de sustitución por harina de avena fue el que mejor resultados obtuvo, llegando a superar el obtenido por panes donde se utiliza el 100% de harina de trigo. Los resultados obtenidos por los pre-tratamientos muestran que sí que influyeron en las variables del proceso evaluadas. Siendo el pre-tratamiento con calor que se le realiza a la harina de avena el que mejor resultados obtiene.

**Palabras claves:** Avena, fermentación, variación de masa, pan.

## ABSTRACT:

For this research we have thought of using oatmeal flour to improve the processing of bread dough. In order to do this we considered using the best combination of oatmeal flour and wheat flour so as to reduce the costs for the bread manufacturers, and at the same time, assess the impact the use of two pre-treatments would have on the oatmeal flour. The study of the fermentation, dough variation and texture showed that 10% of the substitution for oatmeal gave the best results, exceeding those obtained with bread where 100% of wheat flour is used. The results obtained show that the pre-treatments influenced the variables of the assessed process. The best results were obtained from heat pre-treatment carried out on the oatmeal flour.

**Key words:** oatmeal, fermentation, dough variation, bread.

**Titulación:** Grado en ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

**Curso académico:** 2014/2015

**Alumna:** DÑA. Carla Medina Ventura

**Tutor:** Prof. D. José Manuel Barat Baviera

**Codirector:** Prof. D. Raúl Grau Meló

**Director experimental:** D. Samuel Verdú Amat

Valencia, julio de 2015

# Índice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	7
3. Material y Métodos.....	7
3.1 Plan de trabajo.....	7
3.2 Materias primas.....	8
3.3 Pretratamiento de las harinas.....	9
3.4 Proceso de elaboración de la masa.....	9
3.5 Estudio previo de retención de gas.....	9
3.6 Preparación de panes.....	10
3.7 Estudio del envejecimiento de los panes.....	11
3.7.1 Textura.....	11
3.8 Estudio estadístico.....	12
4. Resultados y discusión.....	13
4.1 Estudio de la fermentación.....	13
4.2 Variación de masa durante el horneado.....	14
4.3 Análisis de textura.....	15
5. Conclusiones.....	18
6. Bibliografía.....	19

## Índice tablas

Tabla 1. Composición de harina de fuerza y harina de avena.....	8
Tabla 2. Formulación para la elaboración de la masa del pan.....	9
Tabla 3. Resultados de la textura en el día 0 en pre-tratamiento con frío (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).....	17
Tabla 4. Resultados de la textura en el día 7 en pre-tratamiento con frío (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).....	18
Tabla 5. Resultados de la textura en el día 0 en el pre-tratamiento con calor (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).....	18
Tabla 6. Resultados de la textura en el día 7 en pre-tratamiento con calor (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).....	18

## Índice figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de pan.....	4
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso seguido y los análisis realizados.....	8
Figura 3. Masa antes de la fermentación.....	10
Figura 4. Muestra después de la fermentación.....	10
Figura 5. Panes tras 15 minutos del horneado.....	11
Figura 6. Evolución de la altura en el tratamiento en frío de la harina junto con la desviación estándar.....	13
Figura 7. Evolución de la altura en el tratamiento en calor de la harina junto con la desviación estándar.....	14
Figura 8. Variación de la masa de cada uno de los elementos con una diferencia significativa del 95% ( $p\text{-value}<0.05$ ).....	15
Figura 9. Evolución en el tiempo de la textura y elasticidad en frío junto con la desviación estándar.....	16
Figura 10. Evolución en el tiempo de la dureza y elasticidad en calor junto con la desviación estándar.....	17

# 1. INTRODUCCIÓN

El sector de los cereales, y su transformación, es uno de los más importantes a nivel mundial en cuanto a la cuota de mercado en la industria alimentaria, puesto que los cereales forman una parte muy importante de la dieta de muchas personas.

Los cereales son plantas herbáceas monocotiledóneas de ciclo vegetativo anual que comprenden varias especies como trigo, cebada, avena, centeno, triticale, maíz, sorgo, mijo y alpiste, originarios de zonas templadas y subtropicales, son especies vegetales cultivadas principalmente por sus granos. La mayor parte de estos cereales pertenecen a la familia de las Gramíneas, excepto el trigo sarraceno (*Fagopyron esculentum*) que pertenece a la familia de las Polygonáceas.

Estos se caracterizan por un tallo corto con nudos, un tronco denominado caña formado por nudos, separados entre ellos por entrenudos. Los nudos son zonas meristemáticas a partir de las cuales se alargan los entrenudos y se diferencian las hojas. Las hojas son alternas, rectas, largas y con una vaina que envuelve al tallo. El aparato reproductor es una inflorescencia que depende del cereal, ya sea una espiga en el caso de trigo, cebada, centeno, triticale, o una panícula en el caso de avena, arroz y sorgo. El embrión, es decir el grano o semilla, es una carióspside, fruto seco indehiscente en el que los tegumentos del grano se encuentran soldados a los tegumentos del ovario (Osca, 2001).

Su adaptabilidad a diferentes suelos y condiciones climáticas ha propiciado su uso extendido en países en desarrollo y desarrollados, desempeñando un papel importante en la vida rural. Además se puede diferenciar cereales de invierno que vegetan en invierno para realizar su ciclo vegetativo, ya que necesitan de las bajas temperaturas de sus semillas en germinación o de sus panículas para llegar al espigado, esto se conoce como vernalización, cereales de primavera que son sembrados en esta estación que le permiten encañar y cereales alternativos que pueden encañar si se siembra a finales de invierno (Osca, 2001).

Según MAGRAMA.GOB.ES, el sector de los cereales (excluido el arroz) cuyo valor de producción en 2009 es de 3.216 millones de euros, representa el 8.6% de la PRA (Producción de la Rama Agraria) y el 14% de la PRV (Producción de la Rama Vegetal) en España.

La superficie cultivada de cereales se ha reducido un 12% desde 2002 hasta 2011. Mientras que el rendimiento medio de los últimos 15 años ha sido de 3.4 t/ha, frente al de los últimos diez años que fue de 3.2 t/ha.

En el 2011 la superficie total cultivada de cereales es de 5911.3 por 1000 ha, la producción es de 21704.1 por 1000t y un rendimiento de 3.7 t/ha. Y excluyendo el arroz la superficie total cultivada es de 5789.6 por 1000 ha, la producción es de 20774.2 por 1000t y un rendimiento de 3.6 t/ha.

El comercio internacional de cereales, tiene un gran peso dentro del comercio de productos agrarios, tanto por el volumen y el número de operaciones comerciales, como por su valor estratégico, ya que los cereales constituyen la base de la alimentación humana.

En España, la balanza comercial es negativa ya que la producción nacional no cubre las necesidades de esta por la creciente industria de elaboración de piensos. Por lo que se acude a los mercados internacionales.

En la campaña de comercialización 2010/2011 las importaciones totales de cereales son de 10703921 t mientras que las exportaciones de 1949438 t. Esto significa que España no puede cubrir la demanda de cereal por lo que se importa. Los cereales más importados son el maíz, sorgo y trigo blando.

Los cereales de grano se han cultivado por sus semillas comestibles que aportan en un pequeño volumen una cierta cantidad de calorías y que es fácil de transportarla y conservarla. Además se puede emplear como paja para lechos, alimentación de ganado y para cubierta vegetal en algunos cultivos como, por ejemplo olivo y frutales, y para la obtención de biomasa.

Los granos de cereales sufren diferentes procesos de transformación para prepararlos para el consumo humano los cuales están diseñados para eliminar capas fibrosas del grano disminuyendo a su vez el valor nutricional del grano.

Hay muchas industrias relacionadas con los cereales, la cervecera, arrocería, producción de productos cocidos y extruidos, producción de piensos y ,la más importante, la molinera la cual moltura el grano para obtener harina que consta de un subsector de segunda transformación que es la panadera, galletera, de bollería y para la fabricación de pastas alimenticias.

Para la obtención de harina se les realiza una molienda intensa los cuales han perdido la mayoría del germen, capas externas y con ello la mayoría de las vitaminas, proteínas y minerales.

Al principio el pan era una pasta plana, no fermentada y cocinada pero hoy en día se fermenta produciendo burbujas de aire en el interior de la masa haciendo que aumente su volumen.

El pan es uno de los alimentos más demandados y comprados por los hogares españoles. En la actualidad, cada español consume al año cerca de 46 kilos de pan y gasta en este producto en torno a 116 euros. Durante los últimos años han aparecido distintas variedades de pan y otros productos de panadería. Tendencias relacionadas con la salud (integral, gluten...) o la sostenibilidad (orgánicos, sin aditivos).

Dentro de España en las diferentes comunidades autónomas hay unas con un mayor consumo de este alimento, como es el caso Asturias, Galicia y País Vasco, mientras que hay otras que están por debajo, como es el caso de la Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, Canarias, Región de Murcia y Cataluña, entre otras.

Durante el año 2013, el gasto alimentario total ha aumentado en un 0.6%, rompiéndose así la tendencia de 2012 y 2011. La composición de la cesta se puede expresar tanto en millones de euros como en millones de kilogramos/litros. Por lo que expresado en millones de euros la composición de la cesta tiene un total de 69225 del cual el 5.7% corresponde al pan, por detrás de él hortalizas y patatas frescas que tienen un 7.9% y frutas frescas con un 9.3%. Si lo expresamos en millones de

kilogramos/litros hay un total de 30717 del cual el 5.5% del volumen corresponde al pan. Aumentado el consumo de pan en un 2.8% mientras que el consumo de carne desciende en un 0.1% y el de vinos disminuye un 3.7%.

Según el REAL DECRETO 1137 / 1984, de Marzo de 1984 por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitario para la Fabricación, Circulación y Comercio del Pan y Panes Especiales, se define el pan como el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propias de la fermentación panaria, como el *saccharomyces cerevisiae*. Además el REAL DECRETO 1137/1984 diferencia panes según la composición y el formato, pan común, pan especial, pan bregado, pan de flama, pan integral, pan glutinado, pan de Viena y pan Francés, pan tostado, biscote, colines y pan de huevo.

La legislación española limita al 15% el máximo de humedad, al 9% el mínimo de proteína y al 30% el máximo de acidez de la grasa.

El 85% de las proteínas son Gliadinas y Gluteninas, proteínas insolubles que en conjunto reciben el nombre de gluten, debido a su capacidad para aglutinarse cuando se las mezcla con agua dando una red o malla que recibe igualmente el nombre de gluten. Esta propiedad que poseen las proteínas del trigo y que (salvo raras excepciones como el centeno) no poseen las proteínas de otros cereales, es la que hace panificables las harinas de trigo y la que proporciona las características plásticas de la masa del pan. (Calvel, 1983 ; Eliasson y Larsson, 1993; Calaveras, 1996)

Cada uno de los componentes que se adicionan a la hora de realizar la masa tiene su objetivo, por ejemplo:

La harina, que es el componente más importante en la elaboración del pan, se clasifica en fuerte, media y débil dependiendo del contenido de proteína. En este caso cabe destacarla la harina fuerte, cuya composición oscila entre los valores nombrados a continuación: humedad 13-15%, Proteínas 9-14%, Almidón 68-72%, Cenizas 0.5-0.65 %, Materias grasas 1-2 %, Materias grasas 1-2%, Materias celulósicas 3%, Vitamina B1 y E.

Por ser el ingrediente esencial del pan, la harina es el factor principal que determina la calidad del producto final, porque: forma la estructura básica de los productos cocidos al horno, actúa como un agente aglutinante y absorbente, contribuye al sabor y aroma del producto, influye en las calidades de mantenimiento, añade valor nutritivo (Calderón, 2005).

El agua hace posible el amasado de la harina hidratándola y facilitando la formación del gluten. También es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan. Esta debe ser potable y apta para el consumo humano.

La sal le da sabor al pan y hace que la masa sea más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan.

La levadura consta de miles de millones de células vivas de *Saccharomyces cerevisiae*. En el proceso de elaboración del pan la levadura fermenta los azúcares sencillos y produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y alcohol. Esta fermentación es gradual:

1. las células de la levadura se están multiplicando, y sus enzimas se hacen más activas a medida que la masa se elabora y se conserva;
2. el azúcar para la fermentación se está liberando paulatinamente del almidón mediante la acción de las enzimas naturales de la harina (Calderón, 2005).

La materia grasa según Tejero (2003), actúan como emulsificantes, retardan el endurecimiento del pan y mejoran la calidad de la miga, haciéndola más suave y de mejor apariencia. Además proporciona humedad y retiene burbujas de dióxido de carbono, evitando que se unan para formar burbujas muy grandes.

Según Tejero (2003) la función principal de los azúcares es servir de alimento para la levadura. Las levaduras convierten el azúcar complejo en mono y disacáridos, listos para ser consumidos. Además aporta características de aroma y color al pan.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la elaboración de pan.

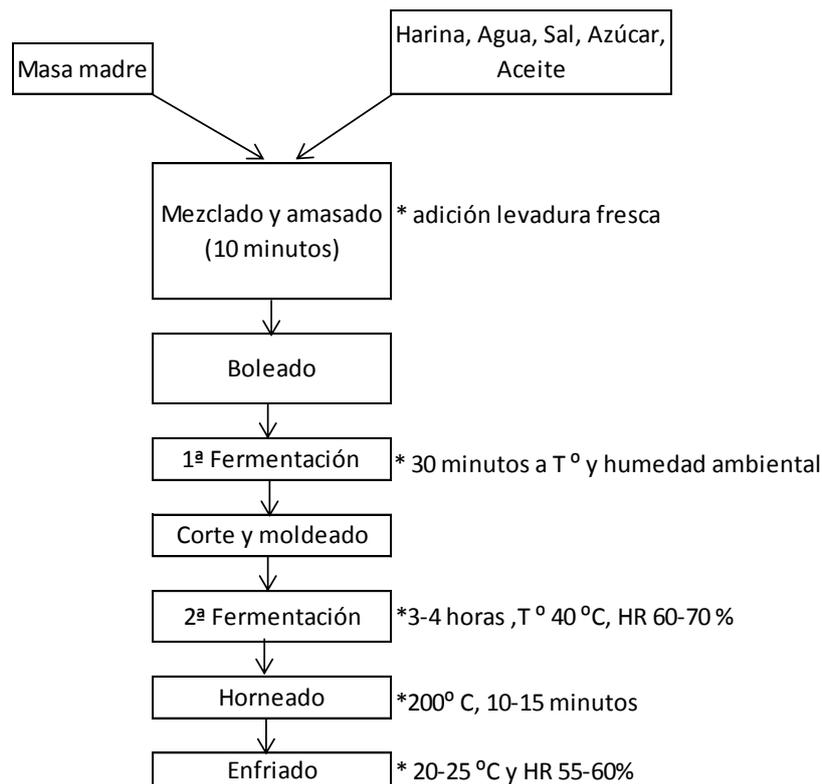


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de pan

A la harina base introducida se le puede realizar un pretratamiento térmico que modificará sus propiedades físicas, reológicas y bacteriológicas. Al mismo tiempo se

produce una pérdida de peso en forma de su contenido en agua, expresado como humedad.

También se han realizados estudios para mejorar la calidad de los panes como por ejemplo en el estudio en el cual se evaluó los efectos de la glucosa oxidasa y la xilanasa después de la optimización por adición de  $\alpha$ -amilasa. Esto produjo una mejora en la calidad del pan (Shadisoltani et al., 2014). En otro estudio se realizaron tratamientos térmicos sobre harina que mejoraron la estabilidad de la masa y tratamientos hidrotermales para modificar las propiedades tecnológicas y funcionales de la vida útil de los productos de molienda de trigo (BucSELLA et al., 2015).

Los productos de harina blanca (pan blanco, pasta, etc.) contienen fibra soluble, que es la porción soluble que está formada de gomas, mucílagos, pectinas, las cuales forman un gel cuando se mezclan con líquidos. Esta fibra soluble baja los niveles de colesterol en sangre, ayuda al control de azúcar en sangre en diabéticos y reduce el requerimiento de insulina (Rayas y Romero, 2008).

En un estudio reciente de consumo de alimentos, muestra que el pan es la principal fuente de fibra para los niños, siendo el pan blanco el suplemento que proporciona la mitad del consumo de fibra diaria (Rayas y Romero, 2008).

Con respecto al consumo de cereales se observa que los productos derivados del trigo, fundamentalmente el pan blanco y las galletitas saladas, fueron consumidos por la mayor parte de individuos en todos los grupos seguido, es decir, entre 18-24 años y 25-50 años diferenciando a su vez entre sexo, en orden decreciente por pan de Viena, las galletitas dulces, las pastas, las tapas y la pizza.

El consumo de panes, galletitas, pizza y pastas fue superior en los varones que en las mujeres, destacándose que los varones jóvenes de ambos grupos presentan consumos mucho más elevados que los adultos (Pacini et al., 1998).

En el año 2005 el 30 % de las muertes en el mundo fue debido a enfermedades cardiovasculares. En España en el 2002 la mortalidad relacionada por la enfermedad hipertensiva se estimó a un 35% de la población afectando a unos 10 millones de personas.

Uno de los principales factores implicados en el origen de la hipertensión arterial primaria es el excesivo consumo de sodio, que se ingiere en la dieta en forma de cloruro sódico (sal común). La OMS ha recomendado que la ingesta máxima de sal diaria sea de 5 mg con el objeto de la prevención de la hipertensión arterial.

En el año 2004, en el marco de la Estrategia NAOS, la Confederación Española de Organizaciones de Panaderías (CEOPAN) y la Asociación Española de Fabricantes de Masas Congeladas (ASEMAC) acordaron con el Ministerio de Sanidad y Consumo (MSC) una reducción en el porcentaje de sal utilizado en la elaboración de pan, que pasaría de los 22 g de NaCl /Kg de harina hasta un máximo de 18 g de NaCl /Kg de harina en un periodo de cuatro años, disminuyendo a razón de 1 g cada año.

Los resultados del estudio, que finalizó en el 2008, demostraron que desde la firma del convenio se ha llevado a cabo una reducción notable en la cantidad de sal adicionada en el proceso de elaboración del pan.

Elaborar un pan integral a base de pura avena integral presenta dificultades técnicas, entre ellas la agregación de la masa durante el proceso, es por ello que se utiliza harina fuerte de trigo y avena integral, variando en su proporción, de esta manera se logra una masa con las características adecuadas de elasticidad y esponjosidad.

Por ello se desarrolló un estudio, para determinar una formulación adecuada a nivel técnico y asimismo asegurarse de que el producto logre una aceptación para los consumidores evaluando tres proporciones en sus formulaciones (Calderón, 2005).

También se puede sustituir harina de trigo por harina de avena. La avena es un cereal que pertenece a la familia de las Gramíneas, subfamilia Festucoideas al igual que el trigo, se cultiva en zonas templadas, frescas y húmedas, siendo menos cultivada que el trigo. La avena tiene alto contenido de fibra (de las glumillas) y grasa (Osca, 2001).

La avena es uno de los cereales con mayor contenido en proteínas, vitaminas B1, B2 y E, hidratos de carbono, nutrientes, minerales como magnesio zinc, calcio, hierro y niacina, en cantidades superiores a otros cereales. Este cereal reduce el riesgo de enfermedad cardiovascular, es un diurético natural y evita los niveles de colesterol alto. En medicina tradicional se usa como remineralizante, diurético, emoliente, analéptico, laxante ligero, timoléptico, tónico cardíaco, antidispéptico, antiastánico y antidiarreico. Se emplea en casos de debilidad y síntomas de menopausia. La paja de avena y la semilla se utilizan como hipoglucémicos, tónicos nerviosos, antidepresivos, para favorecer la sudoración, contra la debilidad física, catarro, deficiencias tiroideas y estrogénicas, enfermedades degenerativas como esclerosis múltiple, insomnio, ansiedad, enfermedades de los órganos genitales y trastornos menstruales. También calma dolores reumáticos, ciáticos, hepáticos entre otros (Arendt y Zannini, 2013).

Contiene aproximadamente de un 12-16% de fibra dietética, lo cual mejora el contenido de fibra dietética de los productos horneados. De esta fibra dietética aproximadamente el 10% es fibra soluble y la demás insoluble. Esta posee aproximadamente un 15% de proteína, la avena carece de gluten, de manera que no contribuye a aumentar la resistencia de la masa. Pero este producto resulta bastante útil por su composición nutricional (Calderón, 2005).

## **2. OBJETIVOS**

En base a lo expuesto en la introducción, este Trabajo Final de Grado tiene como objetivo general la sustitución parcial de harina de trigo por harina de avena para la elaboración de pan, con el fin último de reducir los costes de las empresas de panificación y la dependencia del trigo. Para la consecución de dicho objetivo se fijan dos objetivos específicos, por un lado el estudio de pre-tratamientos térmicos de harina avena para la mejora de sus propiedades en el proceso de panificación, y por otro la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por avena sobre las propiedades del producto terminado.

## **3. MATERIAL Y METODOS**

### **3.1 PLAN DE TRABAJO**

Para llevar a cabo los objetivos planteados se desarrolló el siguiente plan de trabajo.

- Estudio de la panificación mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harina de avena pre-tratada; en frío (almacenamiento a -18 °C durante 2 días) y en caliente (tratamiento a 130 °C durante 30 minutos).
  - 100% harina de trigo.
  - 90% harina de trigo 10% harina de avena en frío
  - 90% harina de trigo 10% harina de avena en caliente
  - 80% harina de trigo 20% harina de avena en frío
  - 80% harina de trigo 20% harina de avena en caliente

Con la finalidad de recoger en un solo esquema todos los estudios realizados, y con el objeto de facilitar la comprensión del presente documento, a continuación en la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de procesado y análisis realizados en cada momento.

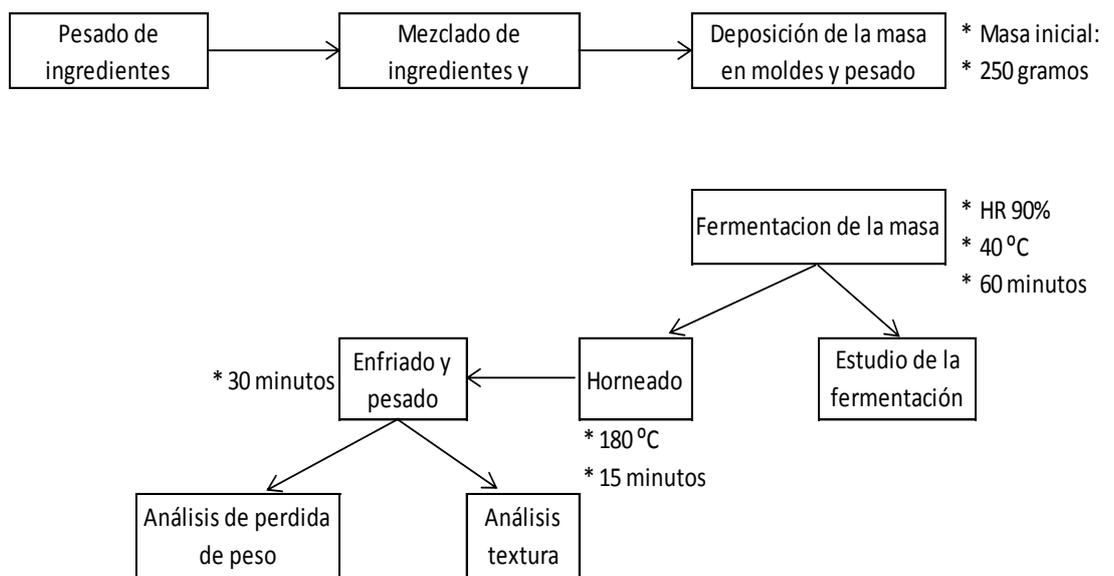


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso seguido y los análisis realizados en el trabajo.

### 3.2 MATERIAS PRIMAS

Para la elaboración del pan en las diferentes combinaciones se utilizó harina de fuerza de trigo (Harinas Segura, S.L. Molí de Pico) denominada de gran fuerza ya que se destina para fermentaciones largas y panes enriquecidos, cuyos datos alveográficos son: P 94, L 128, Q 392 y L/W 0.73. Para la obtención de panes en los que se sustituye harina de trigo en un 10% o un 20 % por la harina de *avena sativa*, comúnmente denominada, harina de avena (Biográ, Barcelona). Además también se utilizó agua potable, sal fina seca (Hacendado, Mercadona, Valencia), azúcar (Azucarera, Madrid), aceite refinado de girasol (Aceites La Masía, Consum, Sevilla).

La composición de harina de fuerza y harina de avena está recogida en la tabla 1.

Tabla 7. Composición de harina de fuerza y harina de avena.

	Harina de fuerza (%)	Harina de avena (%)
Carbohidratos	66,7	60
Proteínas	14,7	11
Humedad	14,5	12
Lípidos	1,1	8
Fibra	3	9

### 3.3 Pre-tratamiento de las harinas

A la harina se le realizó un pre-tratamiento en caliente y otro en frío.

El pre-tratamiento en caliente consistió en extender 300g de harina de avena en la placa a una altura homogénea en un horno (Fagor, 2CF-3V) a temperatura constante de 130 °C durante media hora. Tras media hora en el horno la harina de avena se extrajo para que se rehidratase hasta el 13% en una cámara de condiciones controladas.

El pre-tratamiento con frío consistió en depositar la harina de avena en una cámara a -18 °C durante 2 días.

### 3.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MASA

Para la obtención de la masa se usó una balanza (Kern 440 49N) para pesar los ingredientes y un robot de cocina Thermomix. TM31 (Vorwek S.A.) para hacer el amasado. Durante todo el proceso la temperatura se mantuvo constante a 37 °C.

En la tabla 2. se muestra la formulación para la elaboración de la masa.

**Tabla 8. Formulación para la elaboración de la masa del pan**

Componente	%
Harina	58,2
Azúcar	4,03
Aceite	2
Agua	30,53
Sal	1,65
Levadura	3,59

En primer lugar se adicionó agua y sólidos (azúcar y sal) y aceite durante 3.5 minutos a velocidad 3 (700 rpm). A continuación se adicionó la levadura durante 30 minutos a velocidad 3 (700 rpm) .Después se añadió el 50% de la harina durante 30 segundo a velocidad 6 (3250 rpm) y por último se adicionó el resto de la harina poniendo la función espiga, amasando la mezcla durante 4.5 minutos.

### 3.5 ESTUDIO PREVIO DE RETENCIÓN DE GAS

Una vez obtenida la masa perfectamente homogénea se pesaron 70 gramos y se depositaron en un vaso de cristal de 16 cm de alto y 5.7cm de diámetro donde se mantuvo la muestra en el fondo del vaso. De cada masa se obtuvo 5 vasos que se depositaron en un tablero de corcho junto con una regla posicionada para poder medir cuanto sube la muestra.

Posteriormente se depositaron en la cámara de fermentación durante 1 hora. Para analizar la evolución de la fermentación en el tiempo se midió su altura cada 10 minutos durante 1 hora.

La cámara de fermentación se mantuvo a 40 °C y una humedad relativa del 90%.



**Figura 3. Masa antes de la fermentación**



**Figura 4. Muestra después de la fermentación**

### **3.6 PREPARACIÓN DE PANES**

Una vez se finalizó el proceso de amasado se dispusieron 200 gramos de masa en cada molde de 7,5 x 17 cm, los cuales previamente fueron recubiertos con papel de plata. Los moldes se depositaron en la cámara de fermentación a una humedad relativa del 90% y temperatura de 40 °C durante 1 hora y posteriormente se realizó el horneado (Fagor, 2CF-3V) a 180 °C durante 15 minutos.

Como se realizó un estudio sobre la variación de masa durante el horneado de los panes, se apuntó la cantidad exacta que se depositó en el molde y tras media hora del

horneado se volvió a pesar. La diferencia entre después del horneado y antes de horneado dividido la inicial es la variación de masa durante el horneado.

$$\text{Variación de masa} = \frac{\text{Peso final} - \text{peso inicial}}{\text{Peso inicial}}$$

Tras media hora del horneado se depositó en bolsas de Polietileno que simulan a las usadas en el almacenaje del pan que evitaron el intercambio de agua con el ambiente de 15 x 30 cm.



**Figura 5. Panes tras 15 minutos del horneado.**

### **3.7 ESTUDIO DEL ENVEJECIMIENTO DE LOS PANES**

Una vez se obtuvo los panes y fueron depositados en bolsas de Polietilenos se analizó la textura. En el tratamiento en frío se estudió durante los días 0 (día de elaboración) 1, 3 y 7. En el tratamiento en calor se estudió la textura durante los días 0 (día de elaboración), 2 y 7. Analizando la dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia en cada uno de estos días.

#### **3.7.1 Textura**

Una vez se midió la pérdida de agua se analizó la textura en el tiempo. Para ello se realizó un análisis mecánico, concretamente Análisis del Perfil de Textura (TPA). La textura de las muestras fue analizada en un texturómetro Stable Micro Systems (Mod. Texture Analyzer–XR2, Godalming, Surrey UK). Para ello se sacaron mediante un sacabocados 4 cilindros de cada pan que se cortaron a una altura de 4 cm cortando siempre la parte superior del pan. Esto se realizó cada uno de los días establecidos en el apartado anterior con el fin de estudiar el envejecimiento a lo largo del tiempo. Después se depositó en el texturómetro cada uno de los cilindros que se obtuvieron se comprimieron mediante un pistón de compresión (P/75) de 75 mm de diámetro, con una velocidad de ensayo de 10 m/s y deformación del 50%.

Una vez se tuvo los datos de textura, mediante las fórmulas que se muestran a continuación se obtuvieron cada uno de los parámetros.

La dureza es la fuerza máxima que tiene que ejercer la prensa en la primera etapa de deformación (Rizzello et al., 2014), la gomosis es el producto entre la cohesividad y la dureza (Tong et al., 2010), la masticabilidad es el producto entre elasticidad por gomosis (Osuna et al., 2013). Otros parámetros que se calcularon fueron la elasticidad que define la eficacia que tiene un material para recuperar su forma inicial después de haber ejercido una fuerza sobre él, se calcula mediante:  $Elasticidad = \frac{Time\ difference\ 4:5}{Time\ difference\ 1:2}$ . La cohesividad representa la capacidad de un material para soportar una segunda deformación, tras el segundo ciclo de prensado del TPA y se obtiene

mediante:  $Cohesividad = \frac{Área\ F-T\ 4:6}{Área\ F-T\ 1:3}$ .

Por último tenemos la resiliencia que expresa la capacidad de un material para recuperarse forma original (Rizzello et al., 2014) que se calcula:  $Resiliencia = \frac{Área\ F-T\ 2:3}{Área\ F-T\ 1:2}$ .

### 3.8 ESTUDIO ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados mediante un método estadístico. Que fue el ANOVA, el cual se aplicó para la determinación de diferencias significativas entre los grupos de datos de las muestras con diferentes condiciones de procesado. Para ello se utilizó Statgraphics versión Centurión XVI.II con un nivel de significación del 95 % ( $p < 0.05$ ). En el caso en el que las diferencias fueron significativas estas se evaluaron mediante el análisis de comparación de medias con la distribución Fisher LSD).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ESTUDIO DE LA FERMENTACIÓN DE LAS MASAS

En primer lugar se valoró el efecto de la incorporación de harina de avena y los pre-tratamientos de estos sobre la cinética de crecimiento de las masas durante la fermentación. En la figura 6 se recogió las curvas de la evolución de la altura de las tres masas formuladas cuya harina sufrió un pre-tratamiento con frío nombrado en el apartado 3.3., sustitución del 10% de avena, del 20% de avena y muestra control. Como se observó el efecto de la incorporación de avena en frío hizo que la fermentación se realizase más rápido favoreciendo la capacidad de la masa para subir, es decir para retener gas, siendo la de avena al 20% la que más pendiente obtuvo. En el tiempo final, no se observó diferencias significativas entre un 10% de sustitución de avena en frío cuya altura es de 6.5 cm y el 20% de sustitución de avena de valor 6.65 cm puesto que se produjo el agotamiento de las levaduras, pero sí con respecto a la muestra control cuyo valor fue de una altura de 5.78 cm.

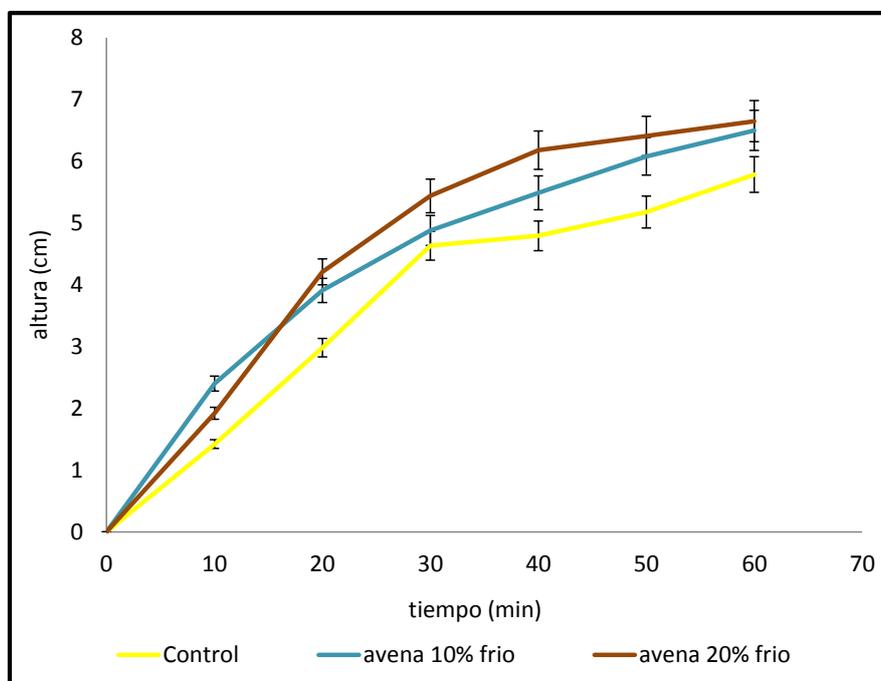


Figura 6. Evolución de la altura en el tratamiento en frío de la harina junto con la desviación estándar.

Por otro lado en la figura 7 se muestra la evolución en el tiempo de la fermentación de harina que se sustituyó por un 10% de avena, un 20% que sufrió un pre-tratamiento con calor y la muestra control. Como se observa en la figura 7 la masa que se sustituyó por un 10% de avena es la que más capacidad de retener gas obtuvo durante la fermentación. Cuando se alcanzó el tiempo final, la masa que se sustituyó por un 20% y un 10% de avena no tienen diferencias significativas alcanzando un valor de 7.1 y 6.84 cm respectivamente, pero si se compara la sustitución del 10 % de avena que es la que mejor resultado obtuvo del pre-tratamiento de la harina con calor con la muestra control sí que se observó diferencias significativas tomando un valor de

7.1 cm la masa que contuvo un 10% de sustitución de avena y de 5.78 cm la masa control.

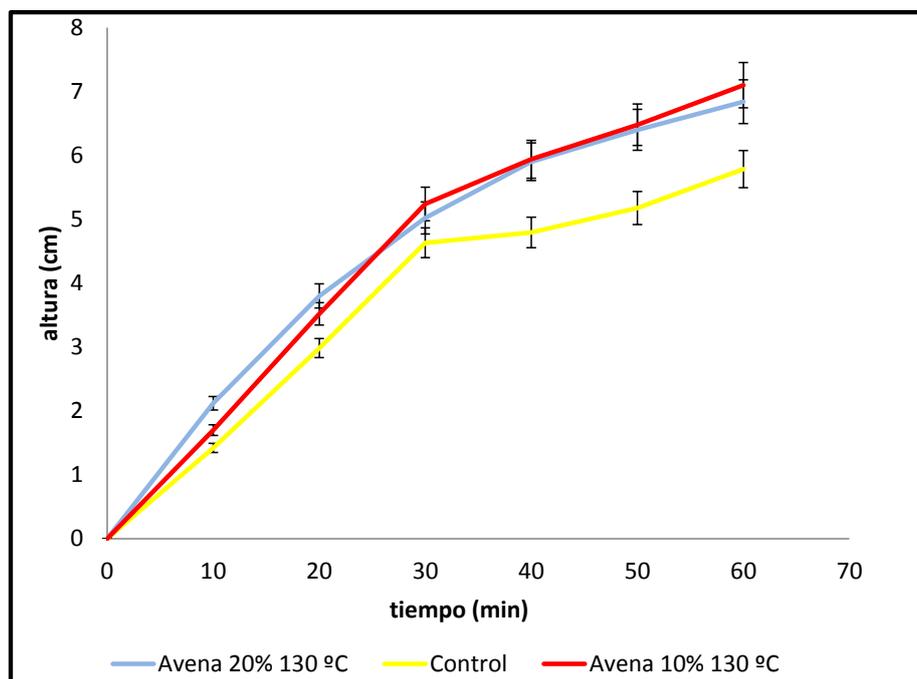


Figura 7. Evolución de la altura en el tratamiento en calor de la harina junto con la desviación estándar.

Si se compara el pre-tratamiento con calor con el de frío a los 40 minutos se observó que el pre-tratamiento con frío (masa con 20% de avena) obtuvo un resultado mayor, de 6.18 cm mientras, que al que se le realizó el pre-tratamiento con calor de la masa que contiene un 10% de sustitución de avena se obtuvo a ese tiempo un resultado de 5.94 cm. Por lo que se puede decir que el frío favoreció la subida, la capacidad de retención de gas.

## 4.2 Variación de masa durante el horneado

Las variaciones de masas ocurridas (junto con la desviación estándar) durante el proceso del horneado fueron estudiadas y se recogió en la Figura 8. Como se puede apreciar el pre-tratamiento con calor de la harina se produjo una mayor variación de la masa siendo la masas con un porcentaje de sustitución del 20% avena de  $0.124 \pm 0.005$  y del 10% avena de  $0.126 \pm 0.003$  fue superior que en el pre-tratamiento con frío ya que la masa con un 10% de avena tomó un valor de  $0.096 \pm 0.004$ . Por debajo se encontró la masa que contuvo un porcentaje de sustitución de un 20% de avena que tomó un valor de  $0.066 \pm 0.0172$ . La masa con un porcentaje de sustitución del 20% de avena es la que más se aproximó a la muestra control que además es el que menos variación de masa obtuvo alcanzando un valor de  $0.0487 \pm 0.004$ . Con esto se pudo determinar que la harina que ha sufrido un pre-tratamiento con calor aumenta la variación de masa durante el horneado.

Para analizar las pérdidas de peso de las muestras fue necesario tener en cuenta la capacidad de retención de agua de sus componentes, así como el volumen alcanzado y por tanto las diferencias en el efecto de los mismos tratamientos térmicos entre ellos.

Según se ha estudiado por diferentes autores, la presencia de hidrocoloides en las masas ejerce el efecto de incrementar la retención de agua (Moreira et al., 2013)

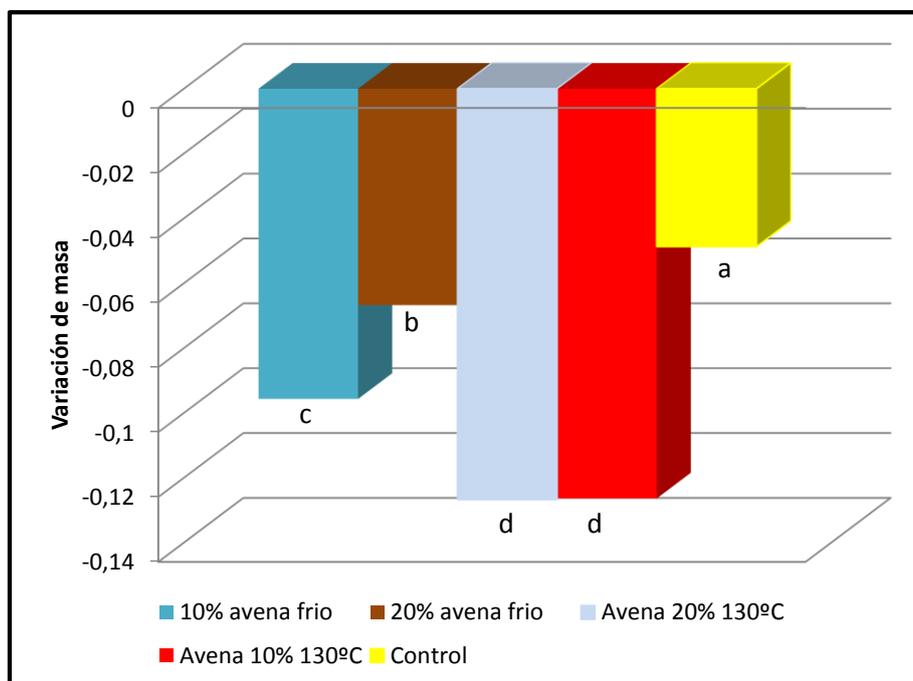


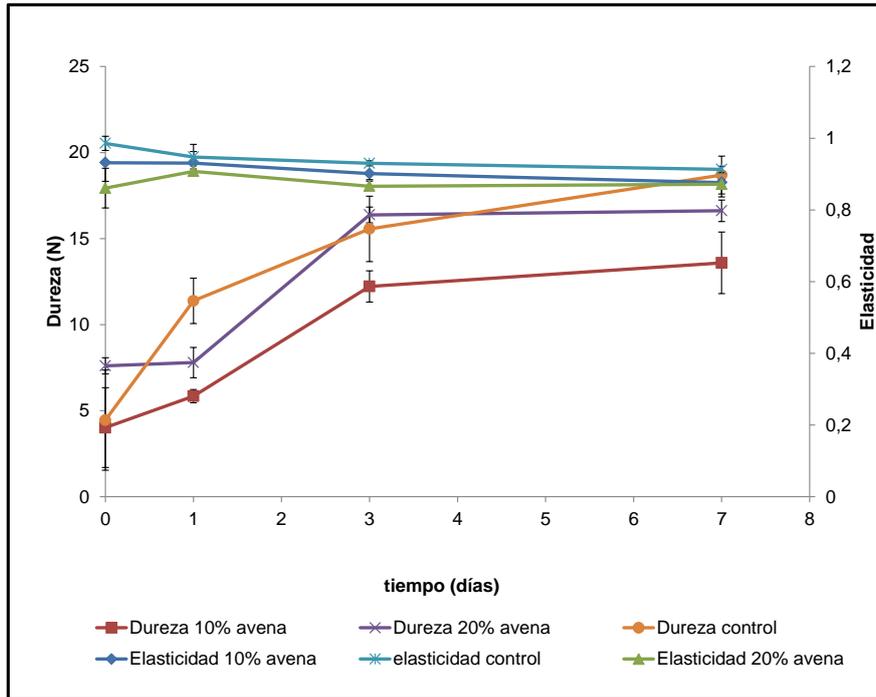
Figura 8. Variación de la masa de cada uno de los elementos con una diferencia significativa del 95% (p-value<0.05).

### 4.3 Análisis de textura

Los estudios de evolución de textura a lo largo del almacenamiento de los panes elaborados con las diferentes formulaciones y tratamientos se muestran en las Figuras 9 y 10. En la figura 9 se muestra la evolución en el tiempo sobre la elasticidad y dureza y las desviaciones de la masa con un 10% de sustitución de avena, un 20% de avena que sufrieron un pre-tratamiento con frio y el control.

Los valores de dureza, fueron los que más se modifican con respecto al control y fueron aumentando respecto al tiempo, siendo el que menos dureza obtiene la masa que contiene un 10% de sustitución de avena, por encima se obtuvo la masa con un 20% de avena y el que obtuvo el valor más alto de dureza fue el control. En el día 7, el control obtuvo un valor de  $18.69 \pm 0.62$ , la masa con un 20% de sustitución de avena obtuvo un valor de  $16.62 \pm 0.62$  y la masa con un 10% de avena fue de  $13.59 \pm 1.79$ . Se puede decir que la incorporación de avena con tratamiento en frio produjo una menor dureza en el tiempo.

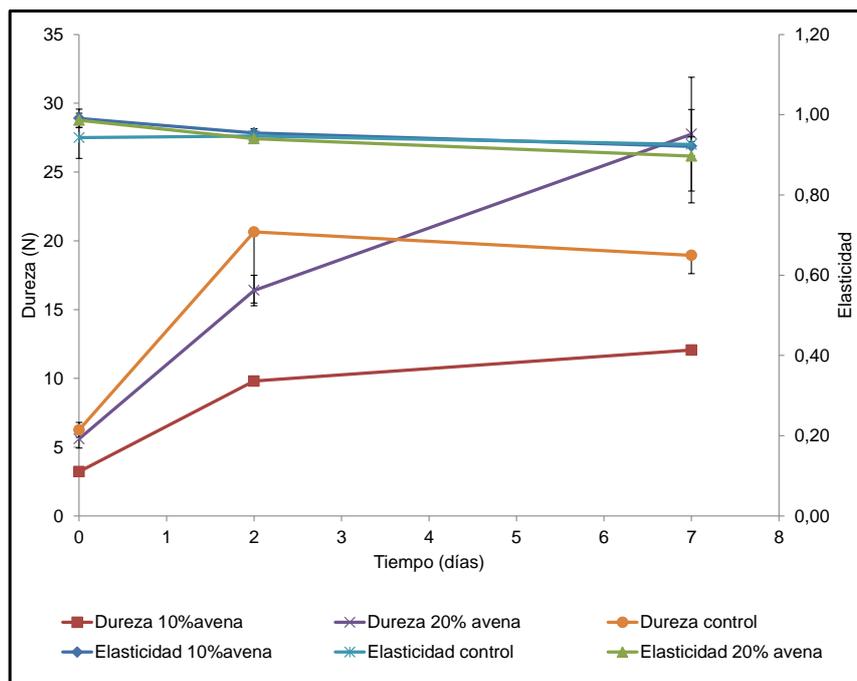
Por otro lado en la figura 9 también se representó la elasticidad en este caso en el pre-tratamiento en frio no hay diferencias significativas entre las masas con un porcentaje de sustitución de un 20% y un 10% de avena con respecto al control.



**Figura 9. Evolución en el tiempo de la textura y elasticidad en frío junto con la desviación estándar.**

La evolución de la dureza y elasticidad de los panes cuya harina sufrió un pretratamiento con calor se observa en la Figura 10, en este caso se observó que la masa con un 20% de sustitución de avena fue el que más se endureció en el tiempo y obtuvo un valor en el día 7 de  $27.76 \pm 4.14$ . La masa con un 10% de sustitución de avena fue el que menos dureza obtuvo alcanzando un valor en el día 7 de  $18.95 \pm 1.33$ , estando el control por debajo de la masa con un 20% de sustitución de avena y por encima de la masa con un 10% de avena que tuvo un valor de  $12.06 \pm 3.57$ .

Por otro lado la elasticidad no obtuvo diferencias significativas respecto al control.



**Figura 10. Evolución en el tiempo de la dureza y elasticidad en calor junto con la desviación estándar.**

Si se compara los dos pre-tratamientos en el día 7, se observó que la masa con un 20% de sustitución de avena que sufrió un pre-tratamiento con calor fue el que más dureza obtuvo comparados con los que sufrió un pre-tratamiento con frío. La masa con un 10% de avena se mantuvo por debajo del control. Mientras que en todos ellos, la elasticidad se mantuvo sin diferencias significativas en ambos pre-tratamientos.

Otras de las características que se analizó cuando se realizó el análisis de textura, fueron cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia que se muestra en el apartado 3.7.1 como se calculó, los resultados se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 9. Resultados de la textura en el día 0 en pre-tratamiento con frío (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).**

	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
20 % avena en frío	0,46±0,02 a	1,37±1,89 a	1,14±1,56 a	0,19±0,01 a
10% avena en frío	0,69±0,17 c	2,24±1,25 a	2,11±1,14 ab	0,33±0,10 b
Control	0,82±0,01 ab	3,65±2,38 cd	3,57±2,32 de	0,43±0,00 cd

**Tabla 10. Resultados de la textura en el día 7 en pre-tratamiento con frio (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).**

	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resilencia
20 % avena en frio	4,39±2,93 a	5,91±1,83 a	3,84±2,57 a	0,15±0,01 a
10% avena en frio	0,44±0,02 c	5,91±1,83 a	5,19±1,64 ab	0,19±0,01 b
Control	9,34±0,01 ab	9,34±0,45 cd	8,53±0,41 de	0,20±0,01 cd

**Tabla 11. Resultados de la textura en el día 0 en el pre-tratamiento con calor (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).**

	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resilencia
10% avena 130 °C	0,85±0,01 b	2,74±0,47 ab	5,51±1,75 bc	0,46±0,01 cd
20% avena 130 °C	0,84±0,01 b	4,58±0,67 d	4,51±0,62 e	0,44±0,01 d
Control	0,82±0,01 ab	3,65±2,38 cd	3,57±2,32 de	0,43±0,00 cd

**Tabla 12. Resultados de la textura en el día 7 en pre-tratamiento con calor (ANOVA, 95% de significación, (p-value<0.05)).**

	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resilencia
10% avena 130 °C	0,59±0,03 b	7,03±1,83 ab	6,48±1,70 bc	0,28±0,02 cd
20% avena 130 °C	0,53±0,04 b	14,66±2,33 d	13,09±2,55 e	0,26±0,03 d
Control	9,34±0,01 ab	9,34±0,45 cd	8,53±0,41 de	0,20±0,01 cd

## 5. CONCLUSIONES

En base al estudio se puede afirmar que el pre-tratamiento con calor es una variable que tiene efectos significativos sobre el proceso mejorando la capacidad de retención de gas, disminuyendo la dureza y no modificando la elasticidad, por lo que resulta interesante tener conocimiento de su comportamiento de cara a mejorar el procesado del producto. El porcentaje de sustitución del 10% de avena es el que más modifica las propiedades presentando un mejor resultado, llegando a superar el obtenido por los panes control. Por otro lado el pre-tratamiento en frio es una variable que también tiene efectos significativos sobre el proceso, mejorando la capacidad de retención de gas, así como la variación de masa, siendo la masa con un porcentaje de sustitución del 20% de avena el que mejor resultados obtiene.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ARENDRT, E.; ZANNINI, E., (2013). Oats. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*, 243-282pp.

ALVÍDREZ, A.; EDELIA, B.; JIMÉNEZ, Z., (Septiembre 2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista Salud Pública y Nutrición*.

BERNABÉ, J.C., (2009). *Influencia de los componentes de la harina en la panificación*. Indespan S.L.

BUCSELLA, B.; TAKÁCS, A.; VIZER, V.; SCHWENDENER, U.; TÖMÖSKÖZI, S., (ENERO 2015). Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. *Food Chemistry* 190:990-996.

CALAVERAS, J., (1996). *Tratado de Panificación y Bollería*. Ed. AMV, Madrid.

CALDERÓN, C. A., (Diciembre 2005). Desarrollo de un pan de molde alto en fibra usando harina de trigo y avena integral.

CALVEL, R.,(1983). *La Panadería Moderna*. Ed. AméricaLee,

CAUVAIN, S.; YOUNG, L., (2006). La naturaleza de la estructura de los productos de panadería, en: *Productos de panadería. Ciencia, Tecnología y Práctica*. Acribia, S.A, Zaragoza, España. 251 pp.

CEOPAN, CONSUMO DE PAN EN HOGARES EN ESPAÑA. Mayo 2014 <http://www.ceopan.es/index.php?type=public&zone=smartportalcategorias&action=view&categoryID=291&codeID=291>

ELIASSON, A.CH ; Larsson, K., (1993). *Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach*. Ed. Marcel Dekker.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Visto 27 de junio de 2014.

<http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0u.htm>

GARIMELLA, S.; MILLER R.; SEIB, P.; GRAYBOSCH, R.; SHI, Y.,(2011). Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours. *Journal of Cereal Science* 54:37-43.

HÜTTNER, E.K.; ARENDRT, E.K., (2010). Recent advances in gluten-free baking and the current status of oats. *Food Science & Technology* 21:303-312.

LEE, G.H. (2011). A salt substitute with low sodium content from plant aqueous extracts. *Food Research International* 44: 537–543.

MARÍA OSCA, J., (2007). *Cultivos herbáceos extensivos: cereales*. Editorial Universitat Politècnica de València. València. 252pp.

- MERCASA.ES, CONSUMO DE PAN EN ESPAÑA. Enero –Febrero 2011.  
[http://www.mercasa.es/files/multimedios/1298392414\\_pag\\_095-099\\_Pan\\_3.pdf](http://www.mercasa.es/files/multimedios/1298392414_pag_095-099_Pan_3.pdf)
- MERCOLA.COM, TOME CONTROL DE SU SALUD, 27 de junio de 2011, visto 20 de junio de 2013.  
<http://espanol.mercola.com/boletin-de-salud/como-el-pan-de-harina-blanca-refinada-afecta-su-salud.aspx>
- MESAS, J.M.; ALEGRA, M.T., (Septiembre 2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 3: 307-313.
- MINISTERIO DE SANIDAD Y POLÍTICA SOCIAL, 19 y 20 de noviembre 2009.  
[http://www.naos.aesan.mspes.es/naos/ficheros/estrategia/Memoria\\_Plan\\_de\\_reduccion\\_del\\_consumo\\_de\\_sal\\_-\\_Jornadas\\_de\\_debate.pdf](http://www.naos.aesan.mspes.es/naos/ficheros/estrategia/Memoria_Plan_de_reduccion_del_consumo_de_sal_-_Jornadas_de_debate.pdf)
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, sector cerealístico. Visto 24 de junio, 2014.  
<http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/cereales/>
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M.D., (2013). Effect of chia (*Sativa hispanica* L.) and hydrocolloids on the rheology of gluten-free doughs based on chestnut flour. *LWT - Food Science and Technology* 50, 160 e 166.
- NEILL, G.; AL-MUHTASEB, A.; MAGEE, T.R.A., (2012). Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 113: 422-426.
- PACINI, A.; MARTINEZ, E.; DE PORTELA, M.L.; NEIRA, M.S., (1998). Consumo de alimentos en la población de la Universidad Nacional de Luján. Aporte energético y proteico. *La alimentación Latinoamericana* 221:28-36.
- RAYAS, P.; ROMERO, A. L., (Marzo 2008). Fibra a base de frutas, vegetales y cereales: función de salud. *Revista Mexicana de agronegocios*, 613-621pp.
- 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.
- RIZZELLO, C.G.; CALASSO, M.; CAMPANELLA, D.; DE ANGELIS, M.; GOBETTI, M., (2014). Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International Journal of Food Microbiology* 180, 78–87..
- RUSSO, J.V.; DOE, C.A., (1970). Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *Journal of Food Technology*, 5: 363–374.
- SHAFISOLTANI, M.; SALEHIFAR, M.; HASHEMI, M., (Abril 2014). Effects of enzymatic treatment using Response Surface Methodology on the quality of bread flour. *Food Chemistry* 148:176-183.
- TEJERO, F. 2003. MOLINERÍA y PANADERÍA DIGITAL. Consultado el 13 septiembre de 2004. <http://www.molineriaypanaderia.com/quienes/indice.html>

TONG, Q.; ZHANG, X.; WU, F.; TONG, J.; ZHANG, P.; ZHANG, J., (2010). Effect of honey powder on dough rheology and bread quality. *Food Research International* 43, 2284–2288.