



# **APLICACIÓN DE HARINAS EXTRUSIONADAS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE REBOZADOS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Curso: 2014/15**

**Alumno: Natalia Paniagua Bermejo**

**Tutor: Manuel Gómez Pallarés**

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos**  
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)  
Universidad de Valladolid

# Índice

---

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>6</b>
2.1. Materiales	6
2.2. Métodos	7
2.2.1 Elaboración del batido	7
2.2.2 Rebozado de los <i>nuggets</i> de pollo y fritura	7
2.2.3 Determinación del índice de recubrimiento	7
2.2.4 Determinación del grosor de la corteza	9
2.2.5 Determinación de la humedad de la corteza	9
2.2.6 Determinación de la Grasa de la corteza	10
2.2.7 Determinación instrumental de la textura de la corteza. Ensayos de penetración.	10
2.2.8 Análisis sensorial	12
2.2.9 Determinación instrumental del color de la corteza	11
2.2.10 Determinación de la microestructura de la corteza	12
2.2.11 Análisis estadístico	12
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>13</b>
3.1 Determinación de la cantidad de recubrimiento y determinación del grosor de la corteza.	13
3.1.1 Índice de recubrimiento previo a la fritura	13
3.1.2 Índice de recubrimiento del <i>nugget</i> frito.	15
3.1.3 Determinación del grosor de la corteza	16
3.2 Determinación de la humedad y la grasa de la corteza.	17
3.3 Determinación instrumental de la textura de la corteza. Ensayos de penetración.	18
3.4 Análisis sensorial	21
3.5 Determinación instrumental del color de la corteza	22
3.6 Determinación de la microestructura de la corteza	24
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>25</b>
<b>5. AGRADECIMIENTOS</b>	<b>26</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>26</b>
<b>7. ANEJO I</b>	<b>30</b>

## Aplicación de harinas extrusionadas en la mejora de la calidad de los rebozados

---

Application of extruded flour to improve the quality of batters.

NATALIA PANIAGUA BERMEJO

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos, Universidad de Valladolid, 34004 Palencia, España.

---

### RESUMEN

El rebozado presenta un papel importante en la mejora de la textura, sabor, apariencia, peso y volumen de la matriz alimentaria que recubre. Las harinas extrusionadas, representan una alternativa económica y medioambiental, al uso de hidrocoloides y de almidones modificados como sustitutos de la harina. En este estudio se ha evaluado el efecto del remplazo de la harina de trigo, para niveles del 7.5%, 15%, por harinas de trigo sometidas a diferentes tratamientos de extrusión TOC 20,60 y 90. Se ha analizado las características del batido (consistencia, viscosidad, adhesión) y la calidad del rebozado final (pick up, grosor, color, textura, humedad y grasa), así como también la aceptabilidad por consumidores no entrenados de los distintos rebozados mediante una prueba de tipo hedónica. La sustitución de harina nativa por harina extrusionada incrementó el índice de recubrimiento y el tono dorado del producto final, siendo más acusado a medida que aumentó el grado de extrusión y sustitución de la harina empleada. Por el contrario, los rebozados elaborados con harina TOC 20 y 60 fueron preferidos por los consumidores frente al resto de muestras. Acorde a estos resultados, es posible elaborar rebozados con harinas extrusionadas como sustitutos de la harina nativa para mejorar las características del rebozado tradicional.

**Palabras clave:** Rebozado, harina extrusionada, índice de recubrimiento, textura.

### ABSTRACT:

The batters play an important role in the improvement of the texture, flavor, appearance, weight and volume of the food that cover. Extruded flours are an economic and environmental alternative that can be used as flour replacements instead of hydrocolloids or modified starches. This study evaluated the effect of replacement wheat flour to levels of 7.5%, 15% of wheat flour with different treatment of extrusion TOC 20, 60 &90. Characteristics of the batter (consistency, viscosity, and adhesion) as well as the quality of the final batter (pick up, thickness, color, texture, moisture and fat) and the consumer acceptability have been analyzed. The replacement of native flour by extruded flour increased pick-up value and golden color of the final product, being these levels more pronounced with increasing the degree of extrusion and the degree of replacing the flour used. In contrast, batter with TOC 20 and 60 were selected for consumers instead of the rest of the samples. According these results, wheat flour can be replaced by extruded flour to improve traditional batter characteristics.

**Key words:** Batter, extruded flour, Pick-up, texture.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos rebozados y fritos preparados tanto de forma tradicional como industrial (Fizman et al., 2003), constituyen una parte importante de la dieta en todo el mundo (Salvador et al., 2007). La demanda de alimentos rebozados se ha incrementado considerablemente en los últimos años, debido principalmente a su facilidad para almacenarlos en un congelador doméstico y la rapidez de su elaboración permitiendo su consumo inmediato (Llorca et al., 2007).

Los rebozados fueron clasificados por Loewe (1990) en dos categorías, rebozado interfacial o de adhesión y rebozado tipo tempura. Los **rebozados interfaciales o de adhesión** se utilizan con los empanados y actúan principalmente como una capa de adhesión entre la superficie del producto y el pan rallado. Por el contrario, los **rebozados tipo “Puff” o tempura**, hace referencia a la capa externa del producto, se elaboran a partir de harina de trigo, y un impulsor como ingredientes principales, siendo este último el responsable del desarrollo de una capa exterior aireada y esponjosa, tras producirse una expansión durante la fritura. Además de éstos, pueden ser añadidos otros ingredientes para mejorar la calidad del producto, tales como otras harinas, almidones, gomas, colorantes y/o saborizantes.

Para los sistemas de rebozado no existen formulaciones exactas, estas son extremadamente flexibles, permitiendo la máxima adaptabilidad en función de la matriz alimentaria a recubrir o de la aparición del revestimiento deseado (Baixauli et al., 2003). No obstante, de forma general, los batidos son mezclas líquidas compuestas de harina y agua en la que los productos alimenticios son sumergidos antes de la fritura (Fizman and Salvador., 2003) actuando como barrera frente a la pérdida de humedad, obteniendo un producto final tierno y jugoso en el interior y crujiente en el exterior (Albert et al., 2009). Los ingredientes que componen el batido y las condiciones de procesado del mismo determinan la apariencia, textura, sabor y estabilidad del producto final (Autio & Laurikainen, 1997). En estos alimentos, el rebozado se emplea para incrementar el valor de la matriz alimentaria, ya que mejora su textura, sabor, apariencia estética, peso y volumen (Baixauli et al., 2003).

Entre las diferentes materias alimentarias que son comúnmente rebozadas destacan anillas de calamar, trozos de bacalao, piezas de pollo tipo *nugget* y verduras (Sanz et al., 2005b). El atributo determinante para la aceptación de este tipo de productos se corresponde con el carácter crujiente (Sanz et al., 2008) y fragilidad de la corteza (Ling et al., 1998; Chen et al., 2008). Sin embargo, la automatización de la fabricación, la demanda cada vez mayor de alimentos de mejor calidad, la diversificación y la preocupación por desarrollar productos más saludables, se ha visto reflejado en todas las investigaciones recientes en esta área (Fizman et al., 2003). Entre los estudios

desarrollados destacan aquellos cuyo objetivo es reducir el contenido de aceite absorbido durante las frituras (Sanz et al., 2004; Teruel et al., 2014), el aumento de la crujencia (Chen et al., 2008) o incluso otros donde se consigue facilitar la preparación de los mismos mediante el empleo de microondas (Chen et al., 2009).

En cuanto al método con el que estos productos son cocinados es mediante un proceso de fritura. Freír en grasa es un método ampliamente utilizado en el ámbito culinario, que confiere muchos atributos sensoriales deseables a la alimentación. La fritura se puede definir como un proceso de cocinado de alimentos mediante la inmersión de estos en aceite de fritura, el cual se encuentra a una temperatura comprendida entre 150 y 200°C. (Farkas et al., 1996). Entre los cambios más importantes producidos durante la fritura que presentan gran repercusión en el producto final, destacan el desarrollo de las reacciones de pardeamiento que permiten el desarrollo del color típico del rebozado; la gelatinización del almidón, la desnaturalización de las proteínas (Autio & Salmenkallio-Marttila, 2001; Llorca et al., 2001; Rahimi & Ngadi, 2014b) y una modificación en la densidad del producto final (Loewe., 1993); jugando un papel crítico tanto en la absorción de aceite, como en los cambios llevados a cabo durante la fritura, la microestructura superficial del producto, (Kassama & Ngadi, 2004; 2005), la temperatura del aceite, y el tiempo de fritura al que son sometidos los productos (Cuesta et al., 2001; Dana & Saguy, 2006; Fiszman et al., 2005; Innawong, 2001; Moreira et al., 1999; Rimac-Brcic et al., 2004).

Entre los diferentes ingredientes empleados para la mejora de las características de los productos rebozados, destacando entre ellas el índice de recubrimiento de la matriz alimentaria y la textura, se encuentran los derivados de la celulosa, principalmente hidrocoloides estudiados por numerosos autores (Akdeniz et al., 2005; 2006; Chen et al., 2009; Fiszman et al., 2002; Mallikarjunan et al., 1997; Meyers & Conklin, 1990; Priya et al., 1996; Sahin et al., 2005; Sanz et al., 2004; Sanz, et al., 2005a; Sudhakar et al., 2006; Salvador et al., 2008), debido a su capacidad para formar una capa fina 'invisible' que evita la absorción excesiva de aceite durante los procesos de fritura y pre-fritura (Varela & Fiszman, 2011; Altunakar et al., 2004; Dogan et al., 2005b). Ayudan a mantener la integridad y la estructura durante la fritura, (Meyers, 1990), mejoran la adherencia (Chen & Cyr., 1970), la textura, la estabilidad a la congelación-descongelación y/o ayudan a mantener la frescura de los productos fritos rebozados/empanados (Duxburry., 1998; Varela & Fiszman., 2011), actúan como agentes espesantes o controladores de la viscosidad ((Arbolea & Wilde., 2005), ya que son capaces de formar una red tridimensional con capacidad de enlazar moléculas de agua dentro del sistema (Llorca et al., 2005; Xue & Ngadi, 2009;), aumentando la consistencia viscosa de los rebozados (Chen *et al.*, 2009). La

consistencia del batido es un factor importante que afecta en el proceso de fritura (Shih & Daigle., 1999), en el índice de recubrimiento y en la calidad del producto final, determinando principalmente la apariencia y la textura del producto (Dogan et al., 2005a; 2005b; Hsia et al., 1992; Mukprasirt et al., 2000). Los hidrocoloides como Metilcelulosa (CMC) e hidroximetilcelulosa (HPMC) y las gomas, tales como goma guar, xantana son adicionadas a las formulaciones de batido para proporcionar viscosidad e incrementar la capacidad de retención de agua (Akdeniz et al., 2006; Sanz et al., 2014) mejorando las características del producto final. Un problema que presenta el uso de derivados de celulosa en productos fritos está relacionado con su incremento en el contenido de agua de los mismos, que puede llegar a producir una disminución de su crujencia (Primo-Martín, 2010).

Por otra parte, se han llevado a cabo estudios sobre el efecto de la adición de otros componentes a las formulaciones del batido de rebozados, como clara de huevo la cual incrementa el índice de recubrimiento del rebozado (Baixauli et al., 2003; Baker & Scott-Kline., 1988). Mohamed, et al., (1988) y Loewe, (1993), incorporaron ovoalbúmina al batido de rebozado, observando un incremento del carácter crujiente y una mejora en el color y adhesión del batido a la matriz alimentaria. El uso de proteínas en la formulación de batidos proporciona una estructura consistente y estable al rebozado y una mejor adhesión del batido a la matriz alimentaria (Fizman & Salvador., 2003), además de incrementar la capacidad de retención de agua (Olewnik & Kulp, 1993)

La harina de trigo es la harina más comúnmente empleada en los sistemas de rebozado (Fizman & Salvador, 2003), debido a sus propiedades elásticas, formación de un revestimiento esponjoso al producirse la expansión del gluten durante la fritura, y su capacidad para facilitar el intercambio entre agua y aceite entre el producto y el medio durante la fritura, (Mukprasirt. Et al., 2001). Sin embargo, existe un creciente interés en el uso de otras harinas como las de maíz, arroz o soja (Rahimi & Ngadi, 2014a) o incluso almidones modificados, con el fin de mejorar la viscosidad, la calidad sensorial y la textura de los rebozados (Fizman & Salvador, 2003). Hay estudios, que muestran que la harina de arroz presenta una mayor resistencia a la absorción de aceite que la harina de trigo, aunque una capacidad espesante menor (Dogan et al., 2005a), La adición al batido de una harina de arroz pregelatinizada dio lugar a un aumento en la absorción de aceite debido a la naturaleza porosa del producto frito (Mohamed et al., 1998). La harina de soja, en los batidos, aumentó la crujencia, mejoró del color y disminuyó el contenido de aceite de los rebozados (Dogan et al., 2005a). Por otro lado, Purcell et al (2014b) y (2014a) y Jeon et al (2013), demostraron que la adición en la formulación del batido de almidones modificados ya sea mediante

tratamiento químico o enzimático, respectivamente, mejoran la calidad del rebozado, debido al aumento de la viscosidad y de la capacidad adhesiva del batido incrementando el valor del índice de recubrimiento del producto final.

En todos estos estudios la harina de trigo se sustituye por otras harinas y/o almidones con el fin de mejorar las cualidades organolépticas o nutricionales del rebozado, sin embargo, no existen estudios realizados con harinas extrusionadas como sustitutos de la harina de trigo. Las harinas extrusionadas se obtienen a través de un proceso de extrusión, tratamiento hidrotérmico en el que las harinas son sometidas a altas temperaturas y esfuerzos mecánicos durante periodos de tiempo muy cortos, y un nivel de humedad relativamente bajo (Camire et al., 1990; Martínez et al., 2015) con objeto de producir la pregelatinización de su almidón. La extrusión provoca cambios en el almidón más bruscos que los métodos de cocción tradicionales, dañando una mayor cantidad de gránulos de almidón y modificando el poder espesante en frío de los almidones (Wolf, 2010), permitiendo que el almidón se hinche y espese en contacto con agua (Chiu & Solarek, 2009) dando lugar a un incremento de la capacidad de absorción de agua en frío y de la solubilidad (Doublier et al., 1986). Junto a la gelatinización del almidón, debido a la ruptura de la estructura cristalina del almidón, también se produce una desnaturalización de proteínas y cambios de color en el producto final (Martínez et al., 2013). Hay que tener en cuenta que todos estos efectos producidos, y en especial la gelatinización del almidón dependen de la intensidad del tratamiento de extrusión al que es sometido la harina atendiendo a la temperatura, contenido de humedad y velocidad del extrusor (tiempo de residencia) (Martínez et al., 2014). Una mayor temperatura y contenido en humedad y una baja velocidad del tornillo producen un aumento en la gelatinización del almidón y de la capacidad de hidratación, mientras que el pico de viscosidad y la retrogradación disminuyen (Martínez et al., 2014). Así, las mejores propiedades de hidratación y viscosidad en soluciones frías confieren a las harinas extrusionadas unas propiedades adecuadas para la posible mejora de las características de los rebozados, como pueden ser la mayor adhesión del batido a la matriz alimentaria o la textura del producto frito final.

La modificación física mediante la extrusión es una manera alternativa de mejorar las propiedades de los almidones nativos sin recurrir a su modificación química (Hagenimana et al., 2006) obteniendo una etiqueta limpia "label -friendly", más aceptable por los consumidores, ya que no es necesario reflejarlas como aditivos en la etiqueta (Jacobs & Delcour, 1998). A pesar de que los estudios se han centrado en la modificación y utilización de almidones, las harinas modificadas por extrusión pueden ser utilizadas en alimentos como agentes espesantes y gelificantes (Mason, 2009), mejorando la adhesión y el índice de recubrimiento de los batidos al producto a

rebozar. Además, las harinas extrusionadas son productos más económicos y su producción tiene un menor impacto medioambiental que otros ingredientes previamente empleados en la formulación de los rebozados. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo nativa por harina de trigo extrusionada a diferentes porcentajes (7.5 y 15%) y con diferentes grados de extrusión o pregelatinización (TOC 20, TOC 60 y TOC 90). Para ello se determinó el efecto de esta sustitución en el batido y en la calidad final del rebozado (pick up, grosor, color, textura, humedad y grasa), así como también la aceptabilidad por consumidores no entrenados de los distintos rebozados mediante una prueba hedónica. Un rebozado elaborado con harina nativa se empleó como control.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Materiales**

La harina de trigo (11.73% y 11.20% p/p de humedad y proteína respectivamente) fue aportada por la Harinera Castellana (Medina del Campo, Valladolid, España). Los tres tipos de harina de trigo extrusionadas fueron suministrados por Molendum Ingredientes (Zamora, España), los cuales llevaron a cabo el tratamiento de extrusión en un extrusor de tornillo simple Bühler Basf (Bühler S.A., Uzwil, Switzerland). El ratio longitud-diámetro (L/D) del extrusor empleado es de 20:1. La harina de trigo fue sometida a diferentes tratamientos de extrusión, donde la temperatura del extrusor, la velocidad de alimentación y el contenido de humedad de la masa de alimentación fueron modificados. Tras someter la harina de trigo a diferentes condiciones de extrusión se obtienen tres tipos de harinas con creciente grado de pregelatinización del almidón; TOC 20, 60 y 90. La harina TOC 20 (12.4% y 9.87% p/p de humedad y proteínas) y la harina TOC 60 (13.9% y 8.36% p/p de humedad y proteínas) sufrieron un tratamiento más suave, ya que se extruyeron a una temperatura máxima de la cámara de 120°C y una velocidad de tornillo de 397rpm. La diferencia en el tratamiento de la TOC 20 y 60 reside en el caudal de alimentación de harina el cual fue de 700 y 400kg/h, respectivamente y en el caudal de humedad de 50 y 60L/h, respectivamente, obteniendo así un distinto grado de pregelatinización. La harina TOC 90 (11.2% y 8.74% p/p de humedad y proteínas), en la cual la totalidad de su almidón fue pregelatinizado, se extruyó a una temperatura máxima de la cámara de 160°C y una velocidad del tornillo de 340 rpm. El caudal de alimentación de harina empleado fue de 500kg/h y el de humedad de 50L/h. Tras el tratamiento de extrusión las harinas fueron molidas con un rodillo de compresión hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 200 micras.

Los agentes impulsores utilizados son bicarbonato sódico suministrado por Manuel Riesgo, S.A (Madrid, España) y pirofosfato sódico (Adín S.A. Paterna, España). Los *nuggets* de pollo empleados como matriz alimentaria fueron aportados por Productos Florida (Almazora, Castellón, España). Otros ingredientes empleados en la formulación de los batidos fueron sal comercializada bajo la marca Disal (Alimentos selectos Disal,S.L, Pamplona, España) y aceite de girasol de marca Abrilsol (Aceites Abril, S.L, Ourense, España comprados todos ellos en un supermercado local y agua obtenida de la red local.

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1 Elaboración del batido**

Un batido control elaborado con harina de trigo nativa y seis batidos en los que la harina de trigo nativa fue sustituida por cada uno de los tipos de harina extruida en dos porcentajes de sustitución diferentes (7,5 y 15%) fueron elaborados.

Para la elaboración del batido control se empleó la siguiente fórmula; harina de trigo (274,2g), sal (16,5g), bicarbonato sódico (3,96 g), pirofosfato sódico (5,34 g) y agua (360g). Los seis batidos restantes se prepararon reemplazando la harina de trigo nativa por tres tipos de harinas extruidas (TOC 20, TOC 60 y TOC 90), con dos grados de sustitución diferentes (7,5% y 15%).

Para preparar el batido en primer lugar, se incorporó el agua (21°C) en una Kenwood Major Classic *mixer* (Kenwood Ltd, Reino Unido) y posteriormente se adicionó a esta, en agitación suave (velocidad 1), los sólidos, mezclándolo todo ello durante 2 minutos a velocidad 2 utilizando el brazo mezclador en forma de “K”. Todos los batidos se prepararon dos veces.

### **2.2.2 Rebozado de los *nuggets* de pollo y fritura**

Los *nuggets* de pollo congelados se cubrieron con harina de trigo nativa para realizar un *predust* y se sumergieron individualmente en el batido durante 10 segundos, dejándolos escurrir otros 10 segundos. Finalmente se introdujeron en una freidora Taurus Profesional-3 (Taurus, Lleida, España), la cual contenía aceite de girasol a 190°C, durante tres minutos y medio, introduciendo 6 *nuggets* en cada fritura.

### **2.2.3 Determinación del índice de recubrimiento**

El índice de recubrimiento (IR) se determinó antes de la etapa de fritura y posterior a esta. El índice de recubrimiento es conocido como “*pick-up*”, haciendo referencia a la cantidad de rebozado adherido al *nugget* de pollo.

En primer lugar se evaluó el *IR* del batido en crudo empleando un texturómetro (TA-XT2 Stable Microsystems Surrey, Reino Unido) equipado con el software "Texture Expert". Para la realización del ensayo, el *nugget* de pollo se sujetó de una sonda P/0.25S y fue sumergido en un recipiente que contenía el batido empleado en el rebozado de las piezas. La velocidad de bajada de la sonda fue de 5mm/s con una distancia de penetración de 35mm. La medición se realizó en tres piezas de *nugget* para cada tipo de rebozado. En el ensayo se procedía a la inmersión en el batido del *nugget* de pollo congelado, sujeto en la sonda, durante un periodo de tiempo de 10s tras este tiempo de espera la sonda volvía a subir, hasta llegar al punto inicial, escurriéndose el *nugget* de esta manera durante otros 10s. A partir del gráfico se calcularon los valores de fuerza máxima, fuerza mínima y fuerza final.

El primer parámetro "1" se corresponde con el valor de fuerza máxima, el cual nos indica las propiedades que presenta el batido, tales como consistencia y viscosidad. El segundo "parámetro 2" (fuerza mínima), hace referencia a todo el batido que ha quedado adherido al *nugget* de pollo tras su inmersión en el batido durante 10 segundos y antes del escurrido. Y el tercer parámetro "3", representado como una fuerza final constante en el gráfico, hace alusión a la cantidad de batido que ha quedado adherido al *nugget* de pollo tras ser escurrido durante 10 segundos y que se corresponde con la cantidad de rebozado que presenta el producto en el momento de ser introducido en la freidora.

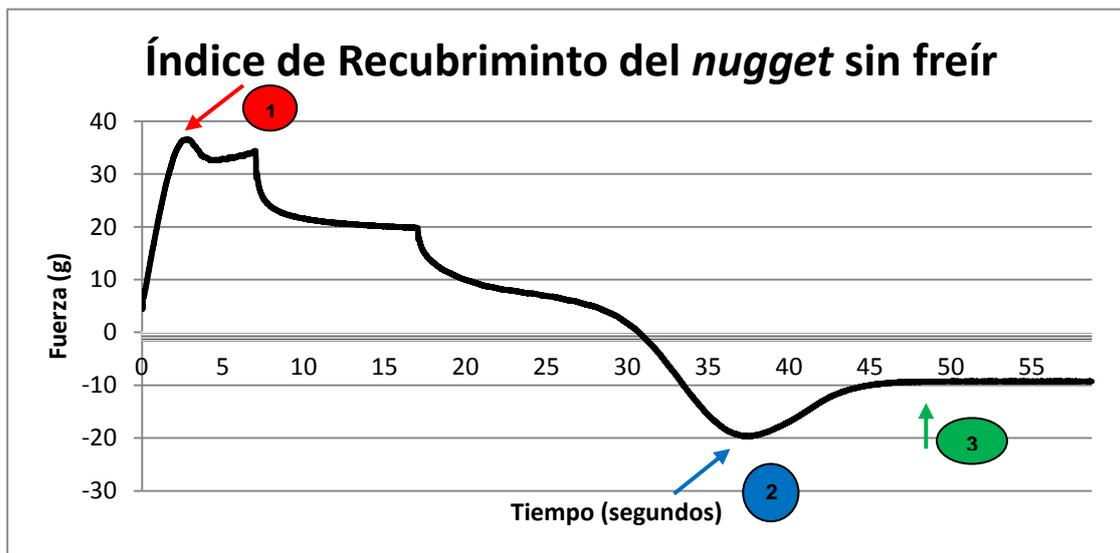


Figura I. Perfil de índice de Recubrimiento obtenido en un texturómetro al sumergir el *nugget* crudo en el batido y su posterior escurrido.

Por otra parte se analizó el índice de recubrimiento del batido en el *nugget* de pollo previamente frito, por ello, después de la etapa correspondiente, se retiró la corteza de

la matriz de pollo y se pesó tanto la corteza separada como la matriz de pollo. El índice de recubrimiento del *nugget* frito se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de recubrimiento (\%)} = \frac{B}{B+S} \times 100$$

Donde “B” hace referencia a la masa de rebozado adherida al *nugget* de pollo tras su fritura, y “S” a la masa del pollo obtenida al separar el rebozado tras su fritura.

El índice de recubrimiento se determinó en *nuggets* todavía sin freír con los siete batidos diferentes y en un total de tres *nuggets* por formulación. En cambio, en los *nuggets* previamente fritos se emplearon únicamente dos *nuggets* por formulación, siendo las formulaciones empleadas las mismas que en el caso anterior. Se realizaron dos repeticiones por formulación y etapa del proceso.

#### 2.2.4 Determinación del grosor de la corteza

El grosor del rebozado frito y separado de la matriz alimentaria se evaluó mediante un calibre digital Brüder Mannesmann M 823-160 (Remscheid, Alemania). Se determinó el grosor de la corteza de dos *nuggets* por cada formulación, realizando a su vez, tres mediciones en cada corteza. Se realizaron dos repeticiones por cada tipo de formulación.

#### 2.2.5 Determinación de la humedad de la corteza

La determinación de la humedad se realizó siguiendo el método oficial, AOAC (1984), mediante el cual, entre 5 y 6 gramos de corteza de rebozado previamente separado de la matriz de pollo se secaron en una estufa a 105 °C hasta conseguir un peso constante. Una vez conocida la pérdida de peso de cada corteza, se calculó el contenido de agua que presentaban los rebozados de cada muestra, a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Contenido en humedad} = (\text{Peso inicial de la corteza} - \text{Peso final de la corteza}) / \text{Peso inicial de la corteza} * 100$$

Se determinó la humedad de la corteza de dos *nuggets* por cada formulación, realizando, una medición de cada uno, analizando el valor de humedad de una de las dos mitades de cada *nugget*. Se realizaron dos repeticiones por cada tipo de formulación.

### 2.2.6 Determinación de la Grasa de la corteza

La determinación de la humedad se realizó siguiendo el método oficial, AOCS Official Procedure Am 5-04. Este método determina grasa cruda mediante la extracción con éter de petróleo. El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente: en primer lugar se introdujeron en una bolsa filtrante 1-2 gramos de la corteza de rebozado previamente frita, y secada en una estufa a 105°C (según se indica en el apartado 2.2.7) y molida en un molinillo eléctrico. Una vez rellena la bolsa se colocó en el extractor y finalmente se enfrió en un desecador y se procedió a su pesado.

El porcentaje de grasa se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Grasa (\%)} = (100 (P_2 / P_3)) / P_1$$

Donde:

P<sub>1</sub> =Peso inicial de la muestra.

P<sub>2</sub>=peso de la muestra presecada con la bolsa filtrante.

P<sub>3</sub>= Peso de la muestra seca con la bolsa filtrante tras el proceso de extracción.

Se determinó el porcentaje de grasa de dos *nuggets* por cada formulación, realizando, una medición de cada uno, analizando el valor de grasa de una de las dos mitades de cada *nugget*. Se realizaron dos repeticiones por cada tipo de formulación.

### 2.2.7 Determinación instrumental de la textura de la corteza. Ensayos de penetración.

La determinación instrumental de textura se realizó sobre la corteza de los *nuggets* de pollo, después de su cocinado por fritura. El aparato empleado fue un analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems Surrey, Reino Unido) equipado con el "Texture Expert" software. El ensayo de penetración consistió en una única compresión, donde la velocidad de la sonda era de 1mm/s y la distancia de penetración de 10mm. El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente: Tras separar la corteza de la matriz de pollo se recortaba esta primera en trozos rectangulares homogéneos (20mm x 10mm y 2mm de grosor aproximadamente) y se colocaron sobre una plataforma, la cual constaba de un orificio de 5mm de diámetro y se atravesaron con un émbolo cilíndrico de base plana (sonda P/6) de 4mm de diámetro.

A partir del gráfico de TPA "Análisis de Perfil de Textura" donde se representa la fuerza frente al tiempo, se determinaron los valores de fuerza máxima, distancia hasta alcanzar la fuerza máxima y pendiente.

La textura del rebozado se analizó inmediatamente tras la fritura, y a los 30 y 60 minutos tras su fritura. Se determinó la textura de la corteza de tres *nuggets* por cada formulación y cada tiempo, realizando a su vez, tres penetraciones por cada *nugget*. Se realizaron dos repeticiones por cada tipo de formulación.

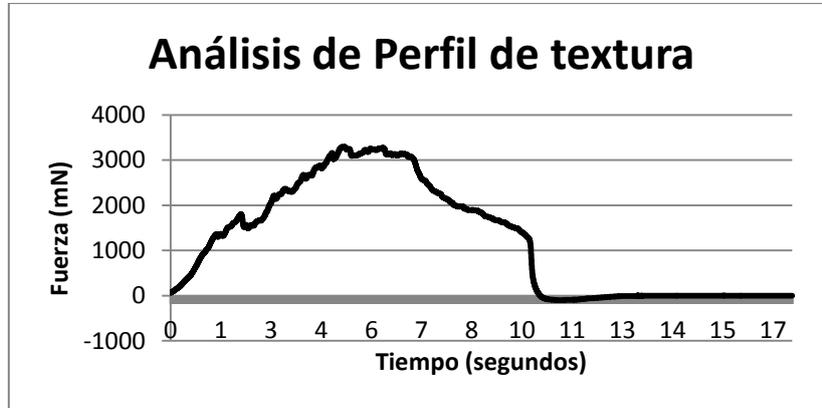


Figura II. Perfil de textura en un ensayo de una única compresión.

En el gráfico se representa el perfil de textura obtenido en el texturómetro al llevar a cabo un ensayo TPA sobre la corteza de un *nugget* de pollo. En él se observan los valores de fuerza que ejerce la sonda sobre la corteza a medida que va penetrando en la misma. Los picos originados en la curva se corresponden con el carácter crujiente de la corteza analizada. La fuerza máxima se corresponde con la fuerza máxima que ha ejercido la sonda sobre la corteza, encontrándose reflejada en el gráfico como el valor más alto de la curva en el eje de ordenadas. Este valor nos informa de la dureza de la corteza; mientras que la distancia de compresión desplazada por la sonda representa la deformación de la corteza a medida que la sonda se desplaza a su través. Cuanto mayor sea la distancia mayor es la deformación producida en la corteza, lo que se traduce en una mayor elasticidad de la corteza, encontrándose negativamente correlacionada con la fracturabilidad, y por tanto con la crujencia de la corteza. (Baixauli et al., 2003). Por último la pendiente, la cual nos indica la relación entre fuerza máxima y distancia, fue calculada a partir de los datos de fuerza máxima y distancia, ya que se corresponde con la siguiente expresión:

$$\text{Pendiente} = \text{Fuerza (mN)} / \text{Distancia (m)}$$

### 2.2.8 Análisis sensorial

El análisis sensorial realizado fue llevado a cabo mediante una prueba de tipo hedónico por un panel de 94 consumidores, no entrenados, correspondientes a estudiantes y personal del campus “La Yutera” (universidad de Valladolid), en Palencia, España. La evaluación sensorial se realizó en sala de catas con cabinas

separadas. Las muestras fueron preparadas y presentadas en orden aleatorio en platos de plástico blanco codificados con números de cuatro dígitos, junto con agua para enjuagar la boca entre muestras. Para la realización de la prueba, cuatro tipos de rebozados fueron analizados, la muestra control con harina de trigo, y las muestras con grado de sustitución del 15% con harinas TOC 20, 60 y 90, respectivamente. Los parámetros analizados se correspondieron con “aspecto visual”, “olor”, “textura” “sabor” y “valoración global” valorados mediante una escala de nueve puntos, donde 1 es “Me disgusta muchísimo” y 9 “Me gusta muchísimo”.

### 2.2.9 Determinación instrumental del color de la corteza

El color fue medido empleando un espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co.LTD, Tokio, Japón). Antes de realizar las mediciones se calibró con un blanco ( $L^*=98.92$ ,  $a^*=-0.11$  y  $b^*=-0.30$ ). Los resultados fueron expresados en el espacio de color CIE  $L^* a^* b^*$  y obtenidos usando el iluminante estándar D65 y un observador estándar de grado 2. La diferencia de color total ( $\Delta E$ ) de los rebozados elaborados a partir de harinas extruidas con respecto al rebozado elaborado con harina control, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta E = [\Delta L^*]^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Donde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  son las diferencias de color parciales entre cada uno de los parámetros de color.

Se determinó el color externo de la corteza de dos *nuggets* por cada formulación, realizando a su vez, dos mediciones en cada *nugget*, una para cada mitad del mismo. Se realizaron dos repeticiones por cada tipo de formulación.

### 2.2.10 Determinación de la microestructura de la corteza

Para el estudio de la microestructura de la corteza del rebozado, se empleó un estereoscopio (Optika SZM-T con cámara Optikam-B5 de 5Mpx). Congelando previamente las cortezas antes de ser analizadas.

Se determinó la microestructura de un trozo de corteza de dos *nuggets* por cada formulación, realizando, una medición de cada uno. Se realizaron dos repeticiones por cada tipo de formulación.

### 2.2.11 Análisis estadístico

Los datos obtenidos, se trataron estadísticamente mediante un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) mediante el test LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ), empleando para

ello el programa informático Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, EEUU). Antes de realizar el ANOVA de los datos se ha comprobado que todos los datos de interés siguen una distribución normal mediante el test de bondad de ajuste específico de la normalidad Shapiro-Wilks, empleando para ello el mismo programa informático.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Determinación de la cantidad de recubrimiento y determinación del grosor de la corteza.

El IR es un parámetro crítico en la industria alimentaria, ya que puede afectar a la calidad de los alimentos y al rendimiento final del producto (Hsia et al., 1992), ya que determina la cantidad de rebozado total que contendrá el producto final.

**Tabla I. Parámetros del análisis de perfil de textura del índice de recubrimiento del *nugget* crudo e índice de recubrimiento del *nugget* frito y calibre de la corteza del rebozado control y del rebozado elaborado con harinas con diferentes grados de extrusión y sustitución.**

Muestra	Recubrimiento en <i>nugget</i> crudo			Recubrimiento en <i>nugget</i> frito	Calibre
	Fuerza 1	Fuerza 2	Fuerza 3		
Control	37,12a ± 0,56	20,43ab ± 0,75	9,79a ± 0,70	45,12a ± 3,29	1,71ab ± 0,13
TOC20 (7,5%)	36,32a ± 1,41	19,42a ± 2,32	9,86a ± 0,91	45,52ab ± 3,87	1,52a ± 0,13
TOC20 (15%)	38,05a ± 2,31	21,05ab ± 2,62	12,40ab ± 0,65	48,15abc ± 2,40	1,68ab ± 0,11
TOC 60 (7,5%)	39,57a ± 2,14	22,74bc ± 1,55	10,99a ± 0,88	46,37abc ± 2,32	1,57a ± 0,19
TOC 60 (15%)	44,30b ± 2,34	24,34c ± 2,08	10,81a ± 1,60	48,91bc ± 0,84	1,79b ± 0,21
TOC 90 (7,5%)	50,12c ± 2,41	28,85d ± 2,15	12,77b ± 1,45	49,44c ± 2,43	1,69ab ± 0,07
TOC 90 (15%)	83,44d ± 4,70	41,38e ± 1,97	12,76b ± 1,71	57,23d ± 5,15	1,72ab ± 0,08

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes con un  $p > 0,05$ .

##### 3.1.1 Índice de recubrimiento previo a la fritura

Analizando los valores obtenidos, para fuerza 1 en la Tabla I. se aprecia que el batido elaborado con harina TOC 20 en su menor grado de sustitución presentó una mayor fluidez frente al resto de muestras lo que indica que la harina menos extruida en su menor grado de sustitución, puede incluso disminuir estos parámetros con respecto al batido elaborado con la harina control.

Con lo que respecta a los batidos elaborados con la harina TOC 60 (15%) o los elaborados con harina TOC 90 (7.5 y 15%), los cuales se corresponden con los valores más elevados de fuerza máxima, observamos que la adición de harina extruida modifica las propiedades del batido, incrementando su consistencia, viscosidad y

densidad a medida que aumenta el grado de extrusión y de sustitución de la misma por harina de trigo nativa.

Por otro lado, Al analizar los valores obtenidos para la fuerza mínima, representada en la tabla como Fuerza 2 (expresada en valor absoluto) observamos que la cantidad de batido adherido al *nugget* de pollo para la muestra obtenida con la harina TOC 90 en su mayor grado de sustitución fue significativamente más elevado con respecto al resto de muestras ( $p < 0.05$ ). Esto puede ser debido al efecto hidrófilo aportado por la harina modificada, lo cual provoca una consistencia más viscosidad del batido (como se demostró al analizar la fuerza 1), parámetro que determina la forma en que el rebozado se adhiere a la matriz alimentaria antes de proceder a su fritura, incrementándose la adhesión a medida que aumenta la viscosidad del batido (Dogan., et al 2005a). Con lo que respecta a la fuerza 2, es decir todo el rebozado capaz de adherirse a la matriz alimentaria antes de su escurrido, de la harina TOC 20 en sus dos grados de sustitución y la harina control, presentan los valores más bajos sin diferencias significativas entre ellos ( $p > 0.05$ ). Podemos encontrar su explicación, en que el batido presenta una mayor fluidez con respecto al resto de muestras (menor valor de Fuerza 1), produciendo un batido con una menor adhesión. Todo ello indica que el tratamiento previo sufrido por las harinas ha conseguido modificar las propiedades del batido final y a su vez la cantidad de batido adherido al *nugget* de pollo.

Finalmente con el último valor obtenido, (expresado en valor absoluto y representado en la tabla como Fuerza 3.) obtenemos la cantidad de batido unido al *nugget* y que va a constituir el rebozado del producto que va a ser introducido en la freidora. Este valor de fuerza, en la gráfica, permanece constante durante un periodo de tiempo, dado que una cierta cantidad de batido que constituirá el rebozado del producto, se adhiere fuertemente a la matriz alimentaria, cayendo únicamente el rebozado sobrante. Entre los resultados obtenidos de cada muestra para este parámetro, se observa que presentan el mismo orden que los valores obtenidos en las fuerzas 1 y 2, lo cual indica que cuanto mayor sea la consistencia en la viscosidad del batido y la cantidad de rebozado adherida, mayor será la cantidad de rebozado final en la matriz alimentaria.

Esta vez los batidos de la harina TOC 90 en sus dos grados de sustitución, no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en cuanto a la cantidad de batido adherido se refiere, lo que permite enunciar que el batido elaborado con cualquiera de los grados de sustitución de esta harina, modifica la viscosidad del batido, permitiendo obtener un producto final con un mayor contenido en rebozado.

En general para las tres fuerzas obtenidas, se observan mayores valores para los batidos elaborados con harina TOC 90 (7.5 y 15%) y unos resultados más bajos para los batidos obtenidos a partir de harina Control y TOC 20 (7.5%), comprobándose así los efectos que presentan las harinas extruidas a la hora de modificar las propiedades (consistencia, viscosidad, adhesión) del batido, incrementándose a medida que aumenta el tratamiento de extrusión de las harinas y el grado de sustitución de estas por harina nativa.

### **3.1.2 Índice de recubrimiento del *nugget* frito.**

En la tabla I se observa que la incorporación de TOC 90 (harina con tratamiento más intenso y mayor nivel de almidón gelatinizado) aumentó el IR de las muestras, presentando este efecto mayor repercusión a medida que se incrementó el nivel de sustitución. Sin embargo en el caso de la TOC 20 no se observan diferencias significativas con el control, y en el de la TOC 60 solo se aprecia un incremento significativo frente al control para la mayor sustitución. Por lo tanto, se aprecia que a medida que la intensidad del tratamiento hidrotérmico de las harinas es más severa se incrementa el efecto de estas harinas sobre la cantidad de rebozado adherido al *nugget* en el producto final. Debido a la viscosidad, adhesión y consistencia del batido, como se explicó en el apartado anterior (3.1.1) al hablar de la Fuerza 1, es entendible que la harina TOC 90 presente un mayor valor de pick\_up medido tras la fritura, con respecto al resto y que sea precedido por la harina TOC 60 y 20 en sus mayores grados de sustitución, situando en último lugar el batido elaborado con la harina control, carente de este tipo de harinas extruidas, siendo el batido mucho más ligero y por lo tanto, más fácil de soltarse de la matriz alimentaria durante el escurrido del mismo, presentando una menor adhesión al *nugget* de pollo con respecto al resto de batidos. Una vez analizados los resultados para ambas formas de medición, se aprecia que todos ellos presentan un valor de pick up aceptable por la industria alimentaria. Como explicación a los resultados de IR obtenidos podemos relacionarlo como ya se ha mencionado previamente, con diferentes parámetros de la masa, siendo estos la viscosidad, adhesión y consistencia del batido. Según enuncia Dogan et al., (2005b) y Nasiri, Mohebbi, Yazdi, y Khodaparast., 2010), la viscosidad del batido influye en el valor del pick-up, cuanto mayor es la viscosidad de la masa mayor es el porcentaje que se adhiere al sustrato. Esto puede ser relacionado con el incremento producido en la viscosidad del batido a medida que aumenta el grado de extrusión de las harinas, debido a su elevada capacidad hidrófila al formar una estructura granular que se hincha en presencia de agua y aumento de temperatura (Martínez et al., 2014). Lo que explica que la harina más extruída, tanto para los

valores de pick\_up medido en el *nugget* frito como para el medido en el *nugget* previo a la fritura, presente los valores más elevados. Sin embargo, el aumento de viscosidad causado por una mayor concentración de harina extruída no causa un aumento proporcional en la cantidad de batido adherido en el producto final (Varela and Fiszman., 2011), motivo por el cual el valor se invierte en la medida del IR en cada método (valores de IR medidos tras su fritura VS valores de fuerza 3 para el IR medido previo a la fritura) siendo mayor el valor obtenido, para el primer caso, con el batido elaborado con la harina TOC 90 (15%) y para el segundo caso, con harina TOC 90 (7.5%).

Otro factor importante que modifica el IR es la adhesión, es decir, la unión química y física de un recubrimiento alimenticio con la matriz alimentaria (Suderman and Cunningham, 1980). La alta consistencia del batido, incrementa la adhesión del mismo y con ello el valor de IR obtenido. Tanto en el pick\_up medido en el *nugget* frito como en el previo a la fritura se observó adherencia positiva de la corteza frita a la superficie del *nugget* de pollo, en todos los casos, siendo mayor la adhesión para el batido elaborado con harina TOC 90, en cualquiera de sus grados de sustitución, debido a su elevada consistencia previamente estudiada al analizar el valor de fuerza 1 del pick up previo a la fritura.

### 3.1.3 Determinación del grosor de la corteza

En cuanto al análisis del grosor de la corteza, este parámetro se puede relacionar con el valor del índice de recubrimiento final de los rebozados, dado que cuanto mayor sea la cantidad de rebozado adherida a la matriz de pollo, mayor será el grosor de la corteza formada. En nuestro caso, el rebozado obtenido a partir de la harina TOC 90, no presentaba el valor de grosor más elevado, siendo incluso el valor de la corteza elaborada con harina TOC 90 (7.5%) inferior que la corteza control (Tabla I), ya que debe tenerse en cuenta que el rebozado obtenido con las harinas TOC 90 en cualquiera de sus dos grados de sustitución, daba lugar a un rebozado no lo suficientemente frito, que ocasionaba una corteza blanda la cual necesitaba de un mayor tiempo de fritura para alcanzar su máxima expansión (Figura XV del Anejo I). También cabe destacar que las harinas extruidas (TOC 20 en ambos grados de sustitución, TOC 60 (7.5%) y TOC 90 (7.5%)), producen incluso unas cortezas más finas que los rebozados elaborados con la harina control, debido a la gran fluidez de la masa al disminuir la consistencia viscosa del batido, disminuyendo así la cantidad de batido ligado a la matriz de pollo que producirá por tanto un menor contenido en el recubrimiento del producto final (como se determinó al evaluar el valor de la fuerza 1 en la prueba del IR del *nugget* crudo). Por lo tanto, comparando los valores presentes

de índice de recubrimiento y teniendo en cuenta las salvedades ocurridas durante el proceso de fritura y las características del batido, es normal que la corteza del rebozado elaborado con la harina TOC 60 (15%) presente el grosor más elevado.

### 3.2 Determinación de la humedad y la grasa de la corteza.

Una vez analizados los datos de humedad podemos apreciar en la tabla II que la funcionalidad de la harina con un tratamiento de extrusión más severo es muy similar a los hidrocoloides, ya que la harina de trigo más extruida en sus dos grados de sustitución (7.5 y 15%) representan los valores más elevados de humedad, debido a su carácter hidrofílico. Son capaces de ligar el agua tanto del batido como de la matriz alimentaria incrementando el contenido de humedad en el producto final (Fizman & Salvador., 2003). En cuanto a las dos harinas restantes, es decir aquellas que presentan el menor grado de extrusión (TOC 60 y TOC 20) pueden incluso disminuir el valor de humedad del producto final, lo que indica una menor propiedad hidrofílica incluso que la harina nativa, presentando por tanto las cortezas elaboradas con estas últimas harinas mencionadas una mayor pérdida de humedad.(Martinez et al., 2013; 2014)

Tabla II. Parámetros de humedad y grasa en rebozado control y rebozados elaborados con diferentes grados de extrusión y de sustitución de harinas extruidas.

Muestra	Humedad	Grasa
Control	27,20b ± 2,86	13,85a ± 3,37
Toc 20 (7,5%)	25,63ab ± 2,66	20,39a ± 3,97
Toc 20 (15%)	23,26a ± 2,75	14,75a ± 5,04
Toc 60 (7,5%)	25,10ab ± 2,22	15,10a ± 4,64
Toc 60 (15%)	26,29ab ± 0,86	17,12a ± 4,17
Toc 90 (7,5%)	32,75c ± 2,97	15,33a ± 6,69
Toc 90 (15%)	37,06d ± 1,94	18,48a ± 5,26

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes con un  $p > 0,05$ .

Varios autores correlacionaron absorción de grasa y la pérdida de humedad. En general, debería haberse observado, que la absorción de grasa era mayor en aquellas muestras que presentan un menor contenido en humedad (TOC 20 y TOC 60), ya que, la mayor absorción de aceite está relacionada con una menor retención de humedad en el proceso de fritura (Gamble et al, 1987; Krokida et al, 2000; Salvador et al., 2005; Ufheil and Escher, 1996). Esto es debido a que aquellos rebozados que presentan una menor pérdida de humedad durante el proceso de fritura impiden la penetración de aceite desde el medio hasta el interior del producto, disminuyendo así la absorción del mismo. En nuestro caso, no se observó la existencia de una relación lineal entre la absorción de aceite y la pérdida de agua. No obstante, las diferencias resultantes entre

los valores obtenidos entre la primera y la segunda repetición de los valores de grasa no son del todo coherentes, siendo estas diferencias muy elevadas, incluso en algunos casos se aprecian diferencias de casi el doble, no debiéndose superar valores mayores del 10% para considerar los datos como válidos. Lo que nos indica, que el ensayo referente a la medición de grasa habría que volver a repetirlo desde el principio y dado que el tiempo de este trabajo está limitado, no han podido ser incluidos en el mismo.

### 3.3 Determinación instrumental de la textura de la corteza. Ensayos de penetración.

Tabla III. Parámetros del análisis perfil de textura para rebozado control y rebozados elaborados con harinas extruidas en diferentes grados de extrusión y sustitución inmediatamente tras su fritura.

Muestra	Fuerza	Distancia	Pendiente	Nº picos
Control	326,35a ± 248,83	6,89ab ± 1,90	46a ± 1.08	3,94a ± 4,21
TOC 20 (7,5%)	528,04bcd ± 192,02	5,87a ± 2,09	81e ± 1.20	15,11b ± 7,62
TOC 20 (15%)	536,64cd ± 228,44	5,94a ± 2,04	68f ± 1.35	23,50c ± 10,09
TOC 60 (7,5%)	596,17d ± 290,99	6,46ab ± 1,42	70g ± 1.27	20,81c ± 8,82
TOC 60 (15%)	419,45abc ± 223,32	7,60b ± 1,54	55d ± 1.18	10,50b ± 5,63
TOC 90 (7,5%)	383,82ab ± 246,59	7,35b ± 1,30	47c ± 1.45	12,72b ± 8,24
TOC 90 (15%)	328,73a ± 168,46	6,95ab ± 1,81	35b ± 1.69	13,05b ± 8,54

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes con un  $p > 0,05$ .

Con respecto a la fuerza observada en la tabla III, los valores más bajos se corresponden con la corteza producida a partir del batido control y la harina TOC 90 en cualquiera de sus dos grados de sustitución, lo que indica que las cortezas elaboradas a partir de harina TOC 90 da lugar a unas cortezas de carácter muy similar a las elaboradas mediante el batido control, no produciéndose modificaciones al sustituir estas por la harina nativa del batido en cuanto al valor de textura se refiere, mientras que el resto de harinas produce unas cortezas más duras con respecto a las producidas por el batido control.

Por otro lado, al analizar la distancia recorrida por la sonda, se aprecia, en general, como las cortezas que presentan un mayor valor de fuerza máxima, se corresponden con los valores más pequeños obtenidos para la distancia y viceversa. Las cortezas elaboradas con las harinas extruidas TOC 60 con un grado de sustitución del 7.5% y TOC 20 en sus dos grados de sustitución, dieron lugar a unas cortezas con mayor fuerza y menor distancia, lo que se traduce en unas cortezas más duras, con menos elasticidad y por tanto mayor fracturabilidad que supone un mayor carácter crujiente frente a la harina control. Mientras que las cortezas elaboradas a partir de harina TOC60 (15%) y ambas TOC 90, produjeron unas cortezas mucho más duras, pero

más elásticas que las cortezas elaboradas por la harina control. La relación existente entre la fuerza y la distancia se aprecia a partir de los valores de pendiente, los cuales confirman las conclusiones obtenidas en el párrafo anterior.

Según indicaban Suderman (1983) y Loewe (1993) los cambios producidos en los valores de textura se encuentran relacionados con la pérdida de humedad, la desnaturalización de proteínas y la gelatinización del almidón, lo que explica la existencia de estos cambios, dado que los batidos elaborados con harinas extruidas presentan un mayor grado de desnaturalización y gelatinización del almidón (Martínez et al., 2014) con respecto a la harina control. Y además relacionándolo con el valor de humedad, las cortezas elaboradas con los batidos obtenidos a partir de las harinas TOC 20 en sus dos grados de sustitución y la TOC 60 (7.5%), presentaron una mayor pérdida del contenido en humedad (Tabla humedad), lo que explica que sus cortezas sean duras y poco elásticas.

Ngadi et al (2007) observó que los batidos con composiciones débiles producían cortezas menos crujientes tras la fritura. Según los valores obtenidos para la fuerza 1 en la prueba del índice de recubrimiento del rebozado, estos batidos se corresponderían con los elaborados a partir de la harina TOC 20 (7.5% y 15%) y TOC 60 (7.5%), mientras que una mayor viscosidad mejora la formación de una corteza dura y quebradiza durante la fritura, debido a que los fluidos con mayor viscosidad y / o una mayor densidad tienen un mayor coeficiente de transferencia de calor por convección, como sería en nuestro caso características propias de los batidos elaborados con harina TOC 90 (7.5 y 15%) y TOC 60 (15). La razón por la cual la harina TOC 90, tanto para el grado de sustitución del 7.5%, como para el del 15%, no presenta la corteza más crujiente, sino que se corresponde con la más elástica junto con la harina TOC 60 (15%) a pesar de ser las más viscosas y densas, se debe a su menor pérdida de humedad, (Tabla II) o incluso a la propiedad de termogelación de las harinas que dan lugar a la formación de un gel que evita la pérdida de agua en la corteza durante la fritura, o a su capacidad hidrófila, aportando una menor crujencia en la corteza de los rebozados elaborados, siendo más acusado este efecto en las cortezas elaboradas con harinas sometidas a un tratamiento de extrusión más severo, originando una mayor elasticidad en la corteza. (Chen et al., 2008).

La crujencia puede ser analizada no sólo por el valor de fuerza y distancia, sino también por el número de picos. Se observa que la incorporación de harina extrusionada, independientemente de su grado de extrusión o de sustitución incrementa notablemente el número de picos del rebozado y por tanto el carácter crujiente del mismo. Los valores más elevados se corresponden con la harina TOC 20

Aplicación de harinas extrusionadas en la mejora de la calidad de los rebozados

(15%) y TOC 60 (7.5%), debido como ya se ha comentado anteriormente a la consistencia del batido y al contenido de agua presente en el producto final.

El análisis de perfil de textura de todas las muestras analizadas representado en la Figura III confirma los resultados observados para cada uno de los parámetros de textura por separado.

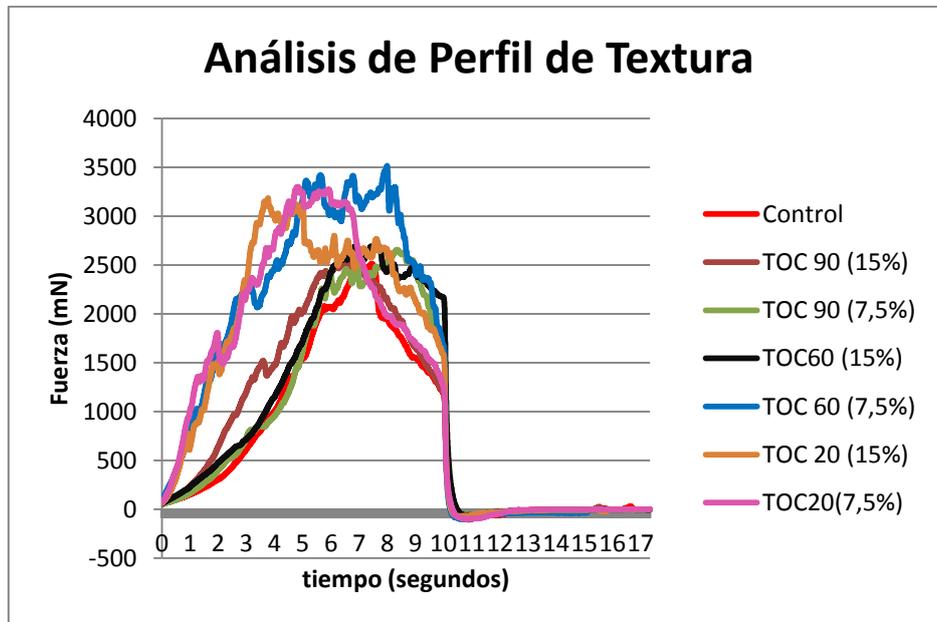


Figura III. Análisis de perfil de textura de la corteza control y de las cortezas con harinas extrusionadas a diferentes grados de extrusión y sustitución inmediatamente tras su fritura.

Además conviene indicar, como bien se puede apreciar en la Foto XV del Anejo I que otro factor que modifica la textura del rebozado es el tiempo de fritura al que es sometido el *nugget* de pollo previamente rebozado, siendo para el caso del rebozado elaborado con harina TOC 90 (7.5% o 15%), el tiempo de tres minutos y medio insuficiente, ya que la parte interna de la corteza presentaba un aspecto blando y pálido, signos que demuestran que el rebozado no habido sufrido los cambios propios del proceso óptimo de fritura, modificando esto la textura de la corteza. La explicación de esto a su vez, puede relacionarse con el elevado valor de pick up que presentan estas muestras, ya que al adherirse una mayor cantidad de batido, es lógico que el tiempo de fritura necesario para su total cocinado sea mayor que para el resto de muestras.

## Aplicación de harinas extrusionadas en la mejora de la calidad de los rebozados

**Tabla IV. Parámetros del análisis de perfil de textura para rebozado control y rebozados elaborados con harinas extruidas en diferentes grados de extrusión y sustitución inmediatamente tras la fritura y a los 30' y 60' después de esta.**

Muestra	Tiempo 0			Tiempo 30'			Tiempo 60'		
	Fuerza	Distancia	Pendiente	Fuerza	Distancia	Pendiente	Fuerza	Distancia	Pendiente
Control	326,35a ± 248,83	6,89ab ± 1,90	46a ± 1.08	339,910a ± 175,965	7,08a ± 1,78	47c ± 1.42	274,626a ± 130,595	8,29b ± 1,42	33c ± 1.53
TOC 20 (7,5%)	528,04bcd ± 192,02	5,87a ± 2,09	81e ± 1.20	260,684a ± 117,294	7,23a ± 1,47	36a ± 1.85	368,028a ± 176,892	7,51a ± 2,09	48d ± 1.29
TOC 20 (15%)	536,64cd ± 228,44	5,94a ± 2,04	68f ± 1.35	469,433a ± 267,217	7,88b ± 1,26	59d ± 1.26	464,303a ± 235,687	7,30b ± 1,43	63g ± 1.48
TOC 60 (7,5%)	596,17d ± 290,99	6,46ab ± 1,42	70g ± 1.27	510,454ab ± 198,923	7,05a ± 1,59	72e ± 1.83	373,322a ± 162,932	7,34a ± 1,42	50e ± 1.79
TOC 60 (15%)	419,45abc ± 223,32	7,60b ± 1,54	55d ± 1.18	318,472a ± 126,192	7,53a ± 1,22	42b ± 1,37	371,111a ± 227,531	7,09a ± 1,89	52f ± 1.03
TOC 90 (7,5%)	383,82ab ± 246,59	7,35b ± 1,30	47c ± 1.45	385,042a ± 312,064	8,14a ± 1,49	47c ± 1,96	252,647a ± 103,81	9,08b ± 1,10	27b ± 1.25
Toc 90 (15%)	328,73a ± 168,46	6,95ab ± 1,81	35b ± 1.69	306,212a ± 209,417	8,44b ± 1,37	36a ± 1,75	245,334a ± 135,137	9,23b ± 1,05	26a ± 1.36

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes con un  $p > 0,05$ .

Por lo general, en la tabla IV se observa que con el paso del tiempo la fuerza disminuye y la distancia aumenta, lo que se traduce en una corteza más dura y crujiente al principio, pero a medida que pasa el tiempo, se va volviendo más elástica y blanda, perdiendo su carácter crujiente, incrementándose su elasticidad. Aunque en la mayoría de los casos no existen diferencias significativas entre los tiempos ( $p > 0.05$ ), lo que indica que este efecto no es muy acusado. Tampoco se aprecian diferencias entre los cambios producidos a lo largo del tiempo entre las cortezas elaboradas con harinas extrusionadas y la corteza control, lo que indica que el empleo de harinas extrusionadas no produce modificaciones en este parámetro.

### 3.4 Análisis sensorial

**Tabla V. Parámetros sensoriales del *nugget* de pollo control y de los *nuggets* de pollo con harinas extrusionadas en diferentes grados de extrusión.**

Muestra	Aspecto visual	Olor	Textura	Sabor	valoración general
Control	5,63a ± 1,54	6,38a ± 1,37	6,64ab ± 1,54	6,69a ± 1,38	6,47a ± 1,29
Toc 20 (15%)	5,98ab ± 1,46	6,37a ± 1,38	6,75ab ± 1,49	6,86a ± 1,32	6,68ab ± 1,21
Toc 60 (15%)	6,71c ± 1,43	6,48 ± 1,37	6,94b ± 1,40	7,02a ± 1,40	7,00b ± 1,27
Toc 90 (15%)	6,37bc ± 1,73	6,47a ± 1,23	6,45a ± 1,55	6,68a ± 1,39	6,61a ± 1,27

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes con un  $p > 0,05$ .

En cuanto a los parámetros de **olor y sabor** de las diferentes muestras expuestas, los consumidores no apreciaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellas, permitiéndonos determinar que estos parámetros no se ven modificados al emplear las harinas extrusionadas. Con lo que respecta al **aspecto visual** el *nugget* elaborado con la harina TOC 60, y el elaborado con la harina TOC 90, no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), siendo estos evaluados con una puntuación superior al resto de muestras, lo que indica que visualmente, fueron los preferidos por los

consumidores. Siendo evaluado con la menor puntuación el rebozado obtenido a partir de la harina control, el cual fue calificado con la puntuación más baja, a su vez, este no presentaba diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con el *nugget* elaborado con la harina TOC 20 y por tanto, no resultando según los consumidores su aspecto visual tan apetecible como el resto de muestras. Su explicación reside en el índice de recubrimiento de las muestras, ya comentado en el apartado 3.1, presentando mayor cantidad de rebozado aquellas muestras preferidas por los consumidores.

En cuanto a la **textura**, uno de los aspectos que afecta a este parámetro es la crujencia, la cual fue destacada como más intensa, por los consumidores, en los *nuggets* elaborados con harina TOC 60. Al comparar estos valores obtenidos en la prueba hedónica con los valores de textura del texturómetro (apartado 3.3), se observa que el orden de preferencia de los consumidores de los diferentes rebozados presentados, coincide con el valor de los datos de textura obtenidos a partir del texturómetro para las cortezas en cuanto a dureza, elasticidad y crujencia, se refiere.

En general, el rebozado elaborado con la harina TOC 60 obtuvo una mayor puntuación por parte de los catadores en cualquiera de los parámetros analizados, lo cual puede traducirse como una mayor preferencia hacia este con respecto al resto de muestras.

El sabor y textura del *nugget* elaborado con la harina TOC 90 fue el peor evaluado, debido probablemente a, su insuficiente tiempo de fritura con respecto a la cantidad de batido adherido a la matriz de pollo, dando lugar a un rebozado crudo en la parte interna de la corteza, capaz de modificar la textura (poca crujencia y elevada elasticidad) y el sabor (tiempo insuficiente para desarrollar los “flavors” acordes al rebozado) del mismo, tal y como se ha comentado en pruebas previas, haciéndolo indeseable para el consumidor (Figura XV del Anejo I).

Aún así las puntuaciones para cada muestra fueron superiores o en torno a 6, lo que demuestra que todas las muestras rebozadas fueron consideradas como aceptables por los catadores.

### **3.5 Determinación instrumental del color de la corteza**

Se estudió la influencia del color de las cortezas de los rebozados obtenidos a partir de distintos batidos elaborados con distintas harinas y en diferentes grados de sustitución, mediante los parámetros de Luminosidad o claridad ( $L^*$ ), el componente verde-rojo ( $a^*$ ) y el componente azul-amarillo ( $b^*$ ) obtenidos de la superficie de la corteza externa de los *nuggets* previamente fritos y separados de la matriz alimentaria. (Tabla VI). Además puede apreciarse mediante las fotos incluidas en el Anejo I.

Tabla VI. Parámetros de color del rebozado control y de los rebozados con harinas extrusionadas a diferentes grados de extrusión y sustitución.

Muestra	L*	a*	b*	ΔE
Control	48,82ab ± 3,02	8,94abc ± 2,25	23,29ab ± 2,45	----
Toc 20 (7,5%)	54,41d ± 1,83	7,33ab ± 2,05	21,97ab ± 3,24	5,97f ± 1,05
Toc 20 (15%)	52,80cd ± 4,00	6,98a ± 3,07	22,32ab ± 1,32	4,54d ± 1,25
Toc 60 (7,5%)	51,50bc ± 1,63	8,06ab ± 1,27	20,84a ± 3,78	3,74c ± 1,78
Toc 60 (15%)	52,56cd ± 2,82	7,28ab ± 2,30	20,66a ± 3,49	4,86e ± 1,96
Toc 90 (7,5%)	51,27bc ± 2,94	9,69bc ± 2,10	24,81b ± 3,59	2,98b ± 1,42
Toc 90 (15%)	47,58a ± 2,98	11,13c ± 3,40	21,73ab ± 4,20	2,96a ± 1,65

Valores medios ± SD (desviación estándar) seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes con un  $p > 0,05$ . ΔE= diferencia de color total.

Todas las harinas extrusionadas en ambos grados de sustitución incrementan el valor de luminosidad de las muestras, excepto en aquella corteza elaborada a partir de harina TOC 90 (15%), la cual incluso produce una disminución de la luminosidad de la corteza con respecto a la muestra control.

Con lo que respecta al parámetro a\*, se observa que las harinas TOC 20 y 60 en ambos grados de sustitución, disminuyen el valor con respecto a la harina control, mientras que el batido elaborado con la harina TOC 90 (7.5% y 15%), lo aumentan. En general, el incremento de éste se asoció con una disminución del parámetro L\*. Visualmente el aumento en el parámetro a\* y la disminución en el parámetro L\* se tradujo en un color dorado un poco más intenso en el rebozado. Este color se apreció en todas las muestras como puede observarse en las figuras del Anejo I. Lo que indica que la corteza elaborada a partir de la harina TOC 90 (15%) presenta un color dorado más intenso que el resto de muestras, incluida la control, mientras que la TOC 20 y TOC 60, presentaron un color dorado menos intenso frente a la control. Probablemente esto se deba al proceso de pregelatinización sufrido del almidón durante el tratamiento de extrusión de la harina, lo que favorece la liberación de azúcares reductores y un mayor grupo de grupos amino que reaccionan entre sí facilitando la reacción de Maillard ocasionadas durante el proceso de fritura. (Loewe.,1993).

Por último mencionar la similitud entre las diferentes muestras en lo que respecta al parámetro b\* (azul-amarillo), siendo muy similares los valores obtenidos para todas ellas, existiendo únicamente diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la harina TOC 60 al 15 % de sustitución y la harina TOC 90 con un 7.5% de sustitución.

La diferencia de color total (ΔE) de los rebozados elaborados con harinas extrusionadas con respecto al rebozado control confirman los resultados observados para cada uno de los parámetros de color por separado.

La harina TOC 90, para cualquiera de sus grados de sustitución, presentó un menor valor de luminosidad y un mayor valor de a, lo que se traduce en un rebozado de un color dorado más intenso que el resto que mejora la apariencia del mismo, mejorando su apariencia visual (se observa en la prueba realizada de análisis sensorial donde el rebozado elaborado con harina TOC 90 para el parámetro de aspecto visual, fue valorado con una de las puntuaciones más elevadas). Hay que tener en cuenta que a pesar de haber quedado la corteza del rebozado elaborado con este tipo de harina no lo suficientemente frita por dentro, como se aprecia al analizar los resultados, no influyó en los resultados de color obtenidos.

### 3.6 Determinación de la microestructura de la corteza

En las imágenes que aparecen a continuación se observa la apariencia externa del rebozado.

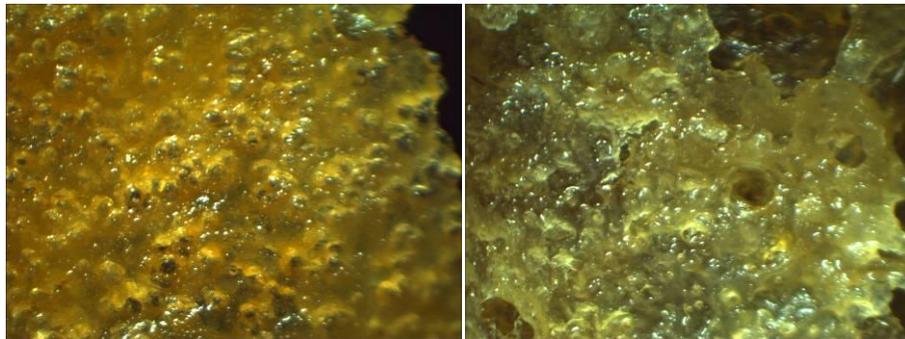


Figura IV. Parte externa e interna de la corteza de rebozado frito (de izda a dcha), elaborado con batido Control

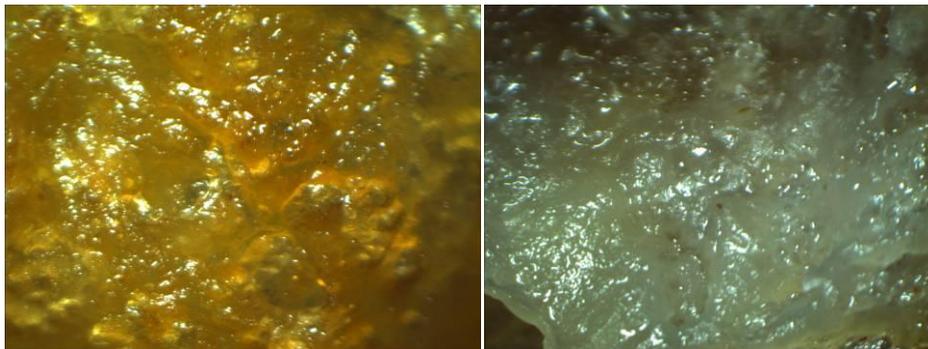


Figura V. Parte externa e interna de la corteza de rebozado frito (de izda a dcha), elaborado con harina TOC 20(15%)

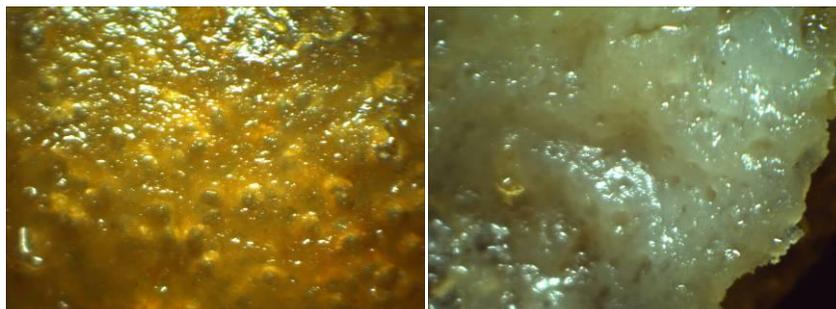


Figura VI. Parte externa e interna de la corteza de rebozado frito (de izda a dcha), elaborado con harina TOC 60(15%)

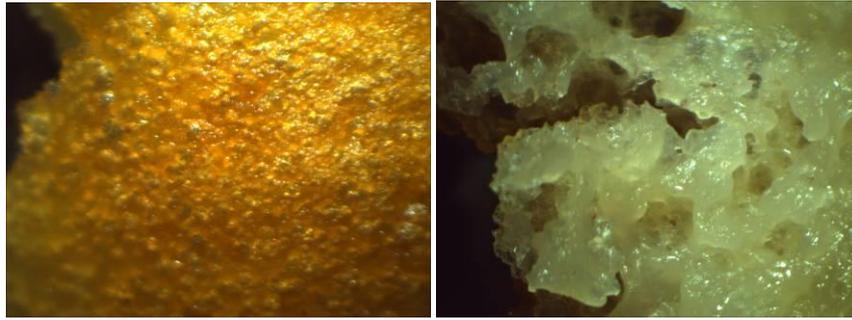


Figura VII. Parte externa e interna de la corteza de rebozado frito (de izda a dcha), elaborado con harina TOC 90(15%)

En las figuras se observa como a medida que se incrementa el grado de extrusión de las harinas empleadas en el batido, la corteza externa es más compacta, con un menor número de poros. La formación de poros es debida a la formación de una corteza gruesa durante la fritura que impide la evaporación, aumentando así la presión en el interior del producto debido al exceso de vapor, produciendo la rotura de la corteza, dando lugar a poros que actúan de canales de intercambio (Lalam et al., 2013; Mittelman et al., 1984). La corteza formada es mayor en las cortezas con harina extrusionada debido a la capacidad que poseen las harinas extrusionadas para formar geles termorreversibles. Este gel formado se aprecia en la parte interna de la corteza del rebozado elaborado a partir de los batidos a los cuales se les adicionó harinas extrusionadas, siendo casi inapreciable en la corteza del rebozado control (Figura IV). A su vez, se observa un gel más definido, con una mayor consistencia viscosa a medida que se incrementa el grado de extrusión de la harina empleada. Este gel formado junto con su elevada capacidad de retención de agua da lugar a una barrera que impide la pérdida de humedad de la matriz alimentaria, lo cual explica los valores obtenidos en la Tabla II. de humedad. Este mismo suceso ocurre al incorporar hidrocoloides en el batido, estudiado previamente por diversos autores (Arbolea & Wilde, 2005; Balasubramaniam, et al., 1997; García et al., 2004; Meyers & Conklin (1990); Nahrungbauer, 1995; Pérez, et al., 2007; Sahin et al., 2005; Sakar., 1979; Wollenweber, et al., 2000), permitiéndonos así comparar la similitud en cuanto a funcionalidad entre los hidrocoloides y las harinas extrusionadas.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la harina extrusionada puede ser utilizada como sustituta de la harina nativa para la elaboración de rebozados. A medida que se incrementaba el tratamiento de extrusión y el grado de sustitución de las harinas, se observó un aumento de la consistencia y de la viscosidad del batido, lo

que incrementa el índice de recubrimiento de la matriz alimentaria dando lugar a un producto final con un mayor contenido de rebozado. Por otro lado, los cambios en el color son mínimos, incrementándose el tono dorado con el nivel de extrusión. También se ha comprobado la preferencia de los consumidores de rebozados elaborados con harinas extrusionadas TOC 20 y 60, siendo estos los preferidos frente al rebozado elaborado con la harina en su mayor grado de extrusión o el elaborado con harina nativa.

La aplicación de harinas extrusionadas en sistemas de rebozados, requeriría de más estudios, que investigaran las modificaciones ocasionadas en la absorción de grasa y empleasen otros grados de extrusión y sustitución de estas harinas, con el propósito de analizar la mejora en la calidad de los rebozados.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Molendum Ingredientes, Harinera Castellana y Productos Florida que suministraron las harinas y los *nuggets*, respectivamente. Así como también a Laura Román Rivas, por su ayuda para realizar este trabajo de investigación.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akdeniz, N., Sahin, S., Sumnu, G., 2005. Effects of different batter formulation on the Quality of deep-fat-fried carrot slices. *European Food Research and Technology*, 221, 99 - 105.

Akdeniz, N., Sahin, S., Sumnu, G., 2006. Functionality of batters containing different gums for deep-fat-frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75 (4), 522 -526.

Albert, A., Perez-Munuera, I., Quiles, A., Salvador, A., Fiszman, S.M., & Hernando, I., 2009. Adhesion in fried battered *nuggets*: Performance of different hydrocolloids as pre-dusts using three cooking procedures. *Food Hydrocolloids* 23; 1443 – 1448

Albert, A., Varela, P., Salvador, A., Fiszman, S. M., 2009. Improvement of crunchiness of battered fish *nuggets*. *European Food Research and Technology*, 228(6), 923 - 930.

Altunakar, B., Sahin, S., Sumnu, G., 2004. Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken *nuggets*. *European Food Research and Technology*, 218, 318–322.

Annapure, U. S., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., 1999. Screening of hydrocolloids for reduction in oil uptake of a model deep fat fried product. *Fett/Lipid*, 101(6), 217–221.

AOAC., 1984. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 14th ed. AOAC, Arlington, VA.

AOCS Official Procedure Am 5-04. Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction. *ANKOM Technology Method* 2, 01-30-09.

Autio, K., Salmenkallio-Marttila, M., 2001. Light microscopic investigations of cereal grains, doughs and breads. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 34, 18–22.

Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M., 2003. Effect of the addition of dextrin or dried egg on the rheological and textural properties of batters for fried foods. *Food Hydrocolloids* 17, 305 - 310.

Baker, R. C., & Scott-Kline, D., 1988. Development of high protein coating using egg albumen. *Poultry Science*, 67, 557–564.

Balasubramaniam, V. M., Chinnan, M. S., Mallikarjunan, P., Phillips, R. D., 1997. The effect of edible film on oil uptake and moisture retention of a deep-fat fried poultry product. *Journal of Food Process Engineering*, 20, 17–29.

Chen, H., Kang, H., Chen, S., 2008. The effects of ingredients and water content on the rheological properties of batters and physical properties of crusts in fried foods. *Journal of Food Engineering* 88, 45–54.

Chen, S., Chen, H., Chao, Y., Lin, R., 2009. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish *nuggets*. *Journal of Food Engineering* 95, 359–364.

Cuesta, C., Romero, A., Sanchez-Muniz, F.J., 2001. Fatty acid changes in high oleic acid sunflower oil during successive deep-fat frying of frozen foods. *Food Science and Technology International* 7 (4), 317–328.

Dana, D., Saguy, I.S., 2006. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. A review. *Advances in Colloid and Interface Science* 128–130, 267–272.

Dogan, S. F., Sahin, S., Sumnu, G., 2005a. Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken *nuggets*. *Journal of Food Engineering* 71, 127–132.

Dogan, S.F., Sahin, S., Sumnu, G., 2005b. Effect of containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken *nuggets*. *European Food Research and Technology* 220, 502–508.

Farkas, B. E., Singh, R. P., & Rumsey, T. R., 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model development. *J Food Eng*, 29, 211e226.

Fiszman, S. M., Salvador, A., Sanz, T., Lluch, M. A., Castellano, J. V., Camps, J. L., Gamero, M., 2002. Proceso para la preparación de un alimento rebozado y congelado [Method of preparing a frozen, battered food product]. Patent ES 2,197,009/WO 101228 A1.

Fiszman, S. M., Salvador, A., 2003. Recent developments in coating batters. *Trends in Food Science & Technology* 14, 399 – 407

Fiszman, S.M., Salvador, A., Sanz, T., 2005. Why, when and how hydrocolloids are employed in batter-coated food – a review. *Progress in Food Biopolymer Research* 1, 55–68.

Gamble, M. H., Rice, P., Selman, J. D., 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. record UK tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22, 233–241

Hsia, H. Y., Smith, D. M., Steffe, J. F., 1992. Rheological properties and adhesion characteristics of flour-based batters for chicken *nuggets* as affected by three hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 57, 16–19, 24.

Jeon, S., Lim, J., Inglett, G. E., Lee, S., 2013. Effect of enzymatic treatments on the rheological and oil-resisting properties of wheat flour-based frying batters. *Journal of Food Engineering*, 115, 215–219.

Kassama, L. S., Ngadi, M. O., 2004. Pore development in chicken meat during deep-fat frying. *LWT - Food Science and Technology*, 37(8), 841 - 847.

## Aplicación de harinas extrusionadas en la mejora de la calidad de los rebozados

Kassama, L. S., Ngadi, M. O., 2005. Pore structure characterization of deep-fatfried chicken meat. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 369 - 375.

Llorca, E., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Fiszman, S. M., Lluch, M. A. 2001. Effect of frying on the microstructure of frozen battered squid rings. *European Food Research and Technology*, 213(6), 448 -455

Llorca, E., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Quiles, A., Larrea, V., Lluch, M. A., 2007. The structure of starch granules in fried battered products. *Food Hydrocolloids* 21, 1407 – 1412

Loewe, R., 1990. Ingredient selection for batter systems. En Kulp, K., Loewe, R. (Eds.) *Batter and breading in food processing*. American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, EEUU, 11-28.

Loewe, R., 1993. Role of ingredients in batter systems. *Cereal Foods World*, 38(9), 673–677.

Mallikarjunan, P., Chinnan, M. S., Balasubramaniam, V. M., Phillip, R. D., 1997. Edible coating for deep-fat frying of starchy products. *Food Science and Technology Lebensmittel-Wissenschaft and-Technologie*, 30 (7), 709 - 714.

Martínez, M., Oliete, B., Gómez, M., 2013. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science* 57, 424 – 429

Martínez, M., Pico, J., Gómez, M., Physicochemical modification of native and extruded wheat flours by enzymatic amylolysis. *Food Chemistry* 167, 447–453

Martínez, M., Rosell, C. M., Gómez, M., 2014. Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *Journal of Food Engineering* 143, 74-79.

Meyers, M.A., 1990. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems. En Kulp, K., Loewe, R. (Eds.) *Batter and breading in food processing*. American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, EEUU, 117–141.

Meyers, M. A., Conklin, J. R., 1990. Method of inhibiting oil adsorption in coated fried foods using hydroxypropyl methyl cellulose. US patent 4,900,573

Mittelman, N., Mizrahi, S., Berk, S., 1984. Heat and mass transfer in frying. In B. M. McKenna (Ed.), *Engineering and food. Engineering sciences in the food industry*, Vol. 1. London: Elsevier Applied Science.

Mohamed, S., Hamid, N. A., Hamid, M. A., 1998. Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78, 39–45.

Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., Barrufet, M.A., 1999. *Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications*. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, MD, pp. 3–6, 33–51, 75–77, 118.

Mukprasirt, A., Herald, T. J., & Flores, R. A., 2000. Rheological characterization of rice flour-based batters. *Journal of Food Science*, 65 (7), 1194–1199.

Olewnik, M., Kulp, K., 1993. Factors influencing wheat flour performance in batter systems. *Cereal Foods World*, 38(9), 679–684.

Priya, R., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., 1996. Carboxymethylcellulose and hydroxypropylmethylcellulose as additives in reduction of oil content in batter based deep-fat fried boondis. *Carbohydrate Polymers*, 29, 333–335.

Purcell, S., Wang, Y.-J., & Seo, H.-S., 2014a. Enzyme-modified starch as an oil delivery system for bake-only chicken nuggets. *Journal of Food Science*, 79, 802-809.

Purcell, S., Wang, Y.-J., & Seo, H.-S., 2014b. Application of oxidized starch in bake only chicken nuggets. *Journal of Food Science*, 79, 810-815.

Rahimi, J., Ngadi, M. O., 2014a. Effect of batter formulation and pre-drying time on oil distribution fractions in fried batter. *LWT - Food Science and Technology* 59, 820 – 826.

Rahimi, J., Ngadi, M. O., 2014b. Inter-particle space fractions in fried batter coatings as influenced by batter formulation and pre-drying time. *LWT - Food Science and Technology* 57, 486 – 493

Rimac-Brcic, S., Lelas, V., Rade, D., Simundi, B., 2004. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 64, 237–241.

Sahin, S., Sumnu, G., Altunakar, B., 2005. Effect of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken *nuggets*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2375 - 2379.

Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S. M., 2007. Performance of methyl cellulose in coating batters for fried products. *Food Hydrocolloids* 22, 1062 - 1067

Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M., 2004. Effect of concentration and temperature on properties of methylcellulose-added batters Application to battered, fried seafood. *Food Hydrocolloids* 18, 127 - 131.

Sanz, T., Fernández, M. A., Salvador, A., Muñoz, J., Fiszman, S. M. 2005a. Thermogelation properties of methylcellulose (MC )and their effect on a batter formula. *Food Hydrocolloids*, 19, 141 - 147.

Sanz, T., Salvador, A., Vélez, G., Muñoz, J., Fiszman, S.M., 2005b. Influence of ingredients on the thermo-rheological behavior of batters containing methylcellulose. *Food Hydrocolloids* 19, 869–877.

Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M., 2008. Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit. *Food Hydrocolloids* 22, 543–549

Shih, F., Daigle, K., 1999. Oil uptake properties of fried batters from rice flour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, 1611–1615.

Suderman, D. R., 1983. Use of batters and breadings on food products: A review, in: D.R. Suderman, & F. Cunningham (Eds.), *Batter and breading*, Westport:Avi Publishing Company, (p. 2).

Sudhakar, S. G., Pandey, M. C., Manral, M., Radhakrishna ,K., Bawa, A. S., 2006. Effect of enrobing with carboxymethylcellulose or hydroxypropylmethylcellulose in corn or gram flour on moisture and fat content of chicken during frying. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 43(4), 377 - 381.

Teruel, M.R., García-Segovia, P., Martínez-Monzó , J., Linares , M.B., Garrido, M.D., 2014. Use of vacuum-frying in chicken *nugget* processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 26, 482–489.

## 7. ANEJO I

Fotos de los rebozados



Figura VIII. Rebozado con batido Control; Figura IX. Rebozado con harina TOC 90 (15%); Figura X. Rebozado con harina TOC 90 (7.5%) (Numeradas de izda a dcha)



Figura XI. Rebozado con harina TOC 60 (15%); Figura XII. Rebozado con harina TOC 60 (7.5%); Figura XIII. Rebozado con harina TOC 20 (15%); Figura XIV. Rebozado con harina TOC 20 (15%) (Numeradas de izda a dcha)



Figura XV. Interior de la corteza del rebozado con harina TOC 90 (15%);