

## Trabajo Fin de Grado

### FRITURA CON SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA OBTENER ALIMENTOS CON ALTO VALOR NUTRITIVO

Autor/es

Andrea Bordetas Gascón

Director/es

María Luisa Salvador Solano

Facultad de Veterinaria  
2013

**DATOS DEL ALUMNO**

**Apellidos:** Bordetas Gascón

**Nombre:** Andrea

**DNI:** 25483391-N

**Dirección:** C/Cervantes nº 22, Torres de Berrellén (Zaragoza)

**Teléfono:** 659532003

**Correo electrónico:** [andreabordetasgascon@gmail.com](mailto:andreabordetasgascon@gmail.com)

## INDICE

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
4.1 Materiales .....	14
4.2 Preparación de las muestras .....	14
4.3 Fritura .....	14
4.4 Contenido en grasa.....	15
4.5 Humedad .....	15
4.6 Tocoferol.....	16
4.7 Color .....	17
4.8 Textura .....	18
4.9 Análisis estadístico.....	18
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
5.1 Temperatura.....	19
5.2 Pérdida de peso.....	23
5.3 Pérdida de agua .....	24
5.4 Contenido en grasa.....	25
5.5 Tocoferol.....	28
5.6 Color .....	30
5.7 Textura .....	34
<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>7. IDENTIFICACIÓN DE LAS APORTACIONES QUE, EN MATERIA DE APRENDIZAJE, HAN SUPUESTO LA REALIZACIÓN DE ESTA ASIGNATURA .....</b>	<b>37</b>
<b>8. EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA Y SUGERENCIAS DE MEJORA.....</b>	<b>38</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>39</b>

## 1. RESUMEN

Recientemente se han incorporado al mercado placas de inducción dotadas de un nuevo sistema de control de temperatura, que permiten mantener la temperatura del aceite durante la fritura en superficie en el punto de consigna con una desviación de  $\pm 2$  °C. El objetivo de este estudio fue analizar la influencia de este nuevo sistema de control en algunas características físico-químicas y nutricionales de patatas fritas de la variedad “Monalisa” cortadas en bastones. Además se evaluó el efecto de la temperatura inicial de la fritura (160-200 °C), del tipo de aceite (aceite de oliva, girasol y girasol alto oleico) y del número de frituras realizadas con un mismo aceite (hasta tres tandas) en los siguientes parámetros: pérdida de peso, contenido graso, humedad, vitamina E, color y textura.

Si se comparan muestras fritas con la misma temperatura inicial del aceite, el contenido en grasa de las patatas utilizando el control de temperatura es menor que cuando se fríen sin que dicho control esté activado, llegando la reducción en la captación de aceite a ser del 20-30 %. El color es un parámetro muy sensible a la temperatura del aceite; al freír controlando la temperatura las patatas presentan una coordenada  $a^*$  más baja y una  $L^*$  más alta, desarrollando menos tonos marronáceos propios de algunos productos de la reacción de Maillard. El análisis de vitamina E pone de manifiesto la diferencia entre aceites; para una misma temperatura el aceite de oliva pierde aproximadamente un 40 % de tocoferol frente al 15 % de los aceites de girasol.

## ABSTRACT

Induction plates equipped with a new temperature control system have recently entered the market, with a new temperature control system, which helps maintain the oil temperature during frying surface in the set point with a deviation of  $\pm 2$  °C. The aim of this study was to analyze the influence of this new control system in some physico-chemical and nutritional variety fries "Monalisa" cut into sticks. Also to evaluate the effect of the initial frying temperature (160-200 °C), the type of oil (olive oil, sunflower and high oleic sunflower) and the number of chips made with the same oil (three runs) in the following parameters: weight loss, fat content, moisture, vitamin E, color and texture.

Fries when comparing samples with the same initial temperature of the oil, the fat content of the potatoes using the temperature control is less than the one when they are

fried without such control is enabled, reaching a reduction in oil uptake to be 20 -30%. Color is a very sensitive parameter for the oil temperature, controlling the temperature during the frying potatoes \* coordinate have a lower and higher L \*, developing less brownish tone characteristic of some products of the Maillard reaction. Vitamin E analysis reveals the difference between oils; same temperature for olive oil loses approximately 40% compared to 15% tocopherol of sunflower oils.

## 2. INTRODUCCIÓN

La fritura es un proceso antiguo que es utilizado para cocinar (Troncoso *et al*, 2009), su uso ya se ve reflejado en algunas escrituras del antiguo Egipto. Se fue extendiendo con el paso de los años, en gran medida gracias a la cultura generada en torno al aceite de oliva en la zona Mediterránea. Con la llegada de la revolución industrial su uso pasó de ser meramente doméstico a incorporarse en cadenas de producción de alimentos. Por lo que hoy en día la fritura está muy extendida tanto en el ámbito culinario como en el industrial.

La fritura es un proceso de cocción de un alimento por contacto con un aceite o grasa a temperatura superior a la de ebullición del agua (150 °C-200 °C), también es un proceso de deshidratación causada por la evaporación del agua al someter el alimento a altas temperaturas.

Dentro de los alimentos sometidos a fritura, las patatas tipo “chips” son el “snack” más consumido por diversas culturas en el mundo (Pedrechi *et al*, 2005). La deshidratación de la patata así como su captación de aceite, junto con otras reacciones y cambios, le proporcionan una textura y flavor único, muy apreciado por los consumidores.

Existen numerosas teorías sobre los fenómenos físico-químicos que se producen durante la fritura, pero casi ninguna de ellas está esclarecida del todo. Para poder entender bien los fenómenos que se producen durante la fritura, hay que diferenciar dos etapas que se producen durante el transcurso de ésta. La primera es una etapa corta de no ebullición, la cual se produce al principio, en la que hay un transporte de materia y calor relativamente pequeño. La segunda es la fase de ebullición, que se prolonga durante prácticamente toda la fritura, en la que el alimento pierde agua.

En este proceso hay una transmisión de calor tanto en el medio de fritura como en el alimento. Y una transmisión de materia que viene determinada por la pérdida de agua y la ganancia de aceite.

La transmisión de calor en la primera fase ocurre por convección natural, ya que al introducir el alimento en un aceite que está más caliente genera unos gradientes de temperatura y se modifica la densidad. En la segunda fase pasa a ser forzada, a causa de las agitaciones producidas por las burbujas al entrar en ebullición.

En cuanto al alimento, en la etapa de no ebullición, el aceite le cede calor sensible y va aumentando su temperatura lentamente al tener difusividad térmica baja. En cambio en la segunda fase, cede calor latente para el cambio de fase. Al principio se produce ebullición en la superficie, lo que provoca que se deshidrate y se comience a formar la corteza. Una vez formada, ésta sigue aumentando su temperatura para igualarse a la del aceite, y se va deshidratando el interior. Por último llega un momento, a causa de la formación de la corteza y de la deshidratación, que se estabiliza y cesa la ebullición.

Las pérdidas de agua dependen de la transferencia de calor del medio, es decir de la temperatura de fritura. Cuanto mayor es la temperatura del medio de fritura mayores son las pérdidas de agua. El agua que pierde el producto en forma de vapor puede unirse en burbujas grandes, las cuales abandonan el aceite, arrastrando compuestos como son los volátiles; y otra parte de agua se agrupa en burbujas pequeñas, éstas quedan en el aceite produciendo reacciones de degradación.

A la vez que se produce la pérdida de agua se lleva a cabo la absorción de aceite en el alimento, aunque la mayor parte de este se queda en forma de gotas en la superficie del alimento. Este aceite que queda en la corteza puede ser absorbido al interior del alimento durante la fritura o posteriormente en el enfriamiento, en ambos casos ocupa los huecos que quedan libres al evaporarse el agua.

Esta absorción de aceite está influida por multitud de factores, entre ellos las condiciones del proceso (temperatura y tiempo), los pretratamientos aplicados al producto que se va a someter a fritura, características físico-químicas del alimento, el tipo de aceite, composición química del aceite y otras (Halil *et al*, 2007). Cuanto más tiempo y mayor es la temperatura de fritura mayor es la deshidratación que se produce en el alimento, por lo que más ganancia de aceite hay por parte de este, aunque esto varía según la forma y tamaño del alimento. Así pues hay que comprobar cada caso concreto, pero en líneas generales cuanto mayor es la temperatura y el tiempo más grasa capta el alimento.

El tipo de aceite influye en cuanto a su densidad y viscosidad. Estos dos parámetros se ven modificados durante la fritura a causa de la evolución de la temperatura, y de la cantidad de alimento que se ha frito con un mismo aceite. Hay estudios que demuestran que aumenta el contenido en grasa si se utiliza un aceite usado

durante largos periodos de tiempo. Esto se debe a que se aumenta mucho la viscosidad con los usos y al carácter tensoactivo de los mono y diacilglicerolés que favorece la adsorción por adhesión del aceite superficial (Dana y Saguy, 2006). En cuanto al alimento, es importante tanto la cantidad de agua inicial que tenga como la capacidad para perderla. También dependerá de la forma del producto, si tiene una relación superficie/volumen pequeña se pierde menos agua, por lo que la absorción de aceite es menor.

Los transportes de materia y de calor, antes explicados, condicionan la vida útil del producto, su calidad sensorial y nutricional. Es decir todo esto produce una degradación del aceite. Los agentes principales que influyen en esta degradación son: el agua eliminada por el producto, el oxígeno y la temperatura.

A su vez se forman compuestos entre los que destacan ácidos grasos libres, mono y diacilglicerolés, polímeros oxidados, volátiles, óxidos de esterolés... El agua liberada por los productos durante la fritura es la que provoca la desesterificación de los triglicéridos, liberando mono y diacilglicerolés, glicerina y ácidos grasos libres. Esto se acelera al aumentar la temperatura, y cuantos más compuestos se generan más se oxida el aceite. Además los ácidos grasos disminuyen el punto de humo y dan acidez, proporcionando un sabor desagradable a los alimentos. Al generarse los mono y diacilglicerolés, que son polares, facilitan la formación de espumas, lo cual hace que se retengan más las espumas formadas y se adhiera más aceite a la superficie, aumentando la ganancia de aceite en el producto (Dana *et al*, 2006).

Un exceso de agua puede ser positivo al generar una capa de vapor que impide la acción del oxígeno y evitándose así los efectos de la oxidación. La cantidad de oxígeno disponible en el aire determina la velocidad de oxidación, dependiendo también a la temperatura a la cual transcurre la fritura. Uno de los productos que se forma son los hidroperóxidos, generados por reacciones autooxidativas en cadena, que se descomponen rápidamente en compuestos volátiles y no volátiles. Los no volátiles se quedan retenidos en el aceite de fritura, por lo que pueden pasar al alimento. Estos influyen en propiedades del aceite como color, viscosidad o la capacidad de formación de espuma. En cambio los volátiles solo influyen en el aroma, aunque negativamente ya que dan los típicos olores a rancio de los aceites muy usados.



La temperatura influye a todos los factores de degradación. Cuando la temperatura es elevada se desprende mucho vapor del producto lo que provoca que disminuya el oxígeno, una situación que implica que la polimerización predomine ante la oxidación. Esto genera compuestos que afectan al sabor, flavor y vida útil del producto.

Además de los cambios hasta aquí citados, tienen lugar durante la fritura modificaciones muy importantes en la forma y tamaño del producto, en el color, en la textura y en las características nutricionales.

El cambio de tamaño y de forma del producto se debe tanto a la pérdida de agua del producto como a su ganancia en aceite, esto afecta a la densidad y a la porosidad del producto. A veces se puede hinchar el producto al no poder eliminar el vapor que se genera en su interior debido a la evaporación del agua en este, ya que como se ha explicado desde un principio la fritura es una deshidratación. Aunque lo más habitual es que disminuya su volumen, sobre todo si son fritos en forma de bastones, como ocurre en la mayoría de los casos de las patatas fritas que son cortadas de esta forma. Esto se debe a que pierde agua rápidamente, lo que provoca la disminución de su tamaño y posteriormente la formación de la corteza externa hace que mantenga su forma. Por lo que cuanto más temperatura más se reduce del producto.

La textura es un parámetro sensorial muy importante y crítico para la fritura (Troncoso *et al*, 2009). La textura se ve modificada por la pérdida de agua y además por la formación de la corteza externa. También la cantidad de grasa absorbida afecta a la textura, además de al flavor y al aroma (Kita *et al*, 2007). Los alimentos fritos a distintas temperaturas, hasta un mismo contenido final de agua, presentan una textura final similar, aunque lógicamente adquirida a tiempos cortos cuanto mayor sea la temperatura del medio de fritura (Pedreschi *et al*, 2004).

El color es otro parámetro muy importante de calidad, además es visual por lo que permite un primer análisis del producto por parte del consumidor. A nivel doméstico es el parámetro que suele determinar el final del proceso de fritura. Los principales cambios que se producen se deben a la reacción de Maillard y a la caramelización. La reacción de Maillard es una cadena de complejas reacciones químicas en la que se generan compuestos indeseables como por ejemplo la acrilamida y el hidroximetilfurfural (HMF). Por lo que el color además de ser un parámetro de calidad

y poder definir el final de la fritura, es una medida indirecta de la formación de este tipo de compuestos considerados carcinógenicos.

La fritura es compleja además de por los cambios que produce, por la multitud de formas que hay de llevarla a cabo. En general se puede dividir en dos grandes grupos donde tenemos la fritura por inmersión y la fritura superficial. La fritura por inmersión, llamada “dep-frying”, consiste en sumergir el alimento totalmente en el aceite. Este tipo de fritura se lleva a cabo en freidoras, tanto domésticas como industriales o en recipientes con un alto nivel de aceite, en todos los equipos el alimento queda cubierto totalmente por el aceite y la fritura se produce uniformemente en toda la superficie. La fritura superficial, llamada “shallow-frying”, se sumerge en el aceite la superficie del alimento que se quiere freír. La fritura en superficie se realiza en sartenes o recipientes con poca profundidad y con bajo nivel de aceite, así el producto no queda totalmente cubierto. La parte del alimento sumergida se fríe y la que no está en contacto con el aceite se cuece debido al vapor intenso que se va desprendiendo del producto. Dentro de estos dos grandes grupos de fritura por inmersión y superficial, se puede hablar de continua o discontinua, en este estudio nos interesa la discontinua ya que es la que se lleva a cabo a nivel doméstico.

En la fritura en profundidad como se ha explicado los equipos que se emplean son freidoras, estas tienen un aporte de calor mediante una resistencia, durante el proceso de fritura es posible controlar la temperatura, ya que las freidoras tienen unos dispositivos para ello. En cambio en la fritura superficial el calor no lo aplica el mismo recipiente que contiene el alimento sino una fuente externa, como son las placas de inducción. En las frituras en sartén no se puede controlar la temperatura, por lo que produce un deterioro más rápido del aceite y una mayor absorción por parte del alimento de aceite, modificando su valor nutritivo. Pese a ello, es el método que más se utiliza a nivel doméstico para realizar las frituras. A consecuencia de esto, y del creciente interés ante productos con menor grasa, se están desarrollando unas placas de inducción con control de temperatura. Esta acción se logra mediante un sensor que establece una temperatura para cada uno de los niveles de la placa, así pues manteniendo constante y controlando la temperatura como ocurre en el caso de las freidoras. No hay muchos estudios existentes sobre la fritura doméstica en sartén, por lo que este proyecto es de gran relevancia en este campo de trabajo, y además trata el tema de las nuevas placas y la reducción de grasa.

Al igual que existen numerosas variables en la fritura tanto de parámetros, como tipos de fritura que se pueden realizar y por supuesto de tipos de alimentos que se someten a fritura, existe también gran variedad de aceites y grasas que se pueden emplear para freír. Dentro de éstos los más empleados en nuestro país son el de oliva y girasol, y su variedad de alto oleico especial para la fritura. Los dos tipos de aceite son ricos en ácidos grasos importantes para el organismo de los consumidores. El aceite de oliva tiene mayor cantidad de ácido oleico que el de girasol, el de oliva tiene 69,3 % de ácido oleico y el de girasol 57 % (Sánchez *et al*, 2008), este ácido graso monoinsaturado es muy valorado por la multitud de beneficios que tiene, entre ellos la disminución del colesterol sanguíneo. Por otro lado, el aceite de girasol es más rico en vitamina E, este compuesto es un antioxidante muy bueno, lo que permite mejor resistencia del aceite de girasol a la fritura que el de oliva, haciéndolo más idóneo. En cuanto a la viscosidad, el de oliva tiene una viscosidad de 60 mPas y el de girasol 80 mPas (Sánchez *et al*, 2008), por lo que como se ha explicado anteriormente, cuanto más viscoso mas absorción de aceite por parte del alimento se produce, así pues el aceite de oliva proporciona alimentos menos grasos. También está la variable de aceite de girasol de alto oleico, esto es un aceite de girasol enriquecido en ácido oleico para hacerlo mejor para la fritura, contiene aproximadamente un 70 % de ácido oleico.

### 3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La fritura es una operación básica muy habitual en la industria alimentaria y en el ámbito doméstico y de la restauración. Consiste en la cocción del alimento en un aceite o grasa a temperaturas entre 170-200°C. Durante este proceso tienen lugar complejas transformaciones como consecuencia de los transportes simultáneos de calor y materia (agua, vapor y aceite). Además, se producen reacciones de degradación del aceite, así como una cadena de complejas reacciones químicas (reacciones de Maillard) que originan cambios en la composición, estructura y color del alimento y del aceite.

Industrialmente esta operación tiene lugar en freidoras en las que se mide y controla la temperatura del aceite para que ésta permanezca constante durante el proceso, y el producto está totalmente sumergido en el aceite. La mayoría de los estudios científicos sobre el proceso de fritura abordan la fritura industrial (Pedrechi *et al*, 2005; Kita *et al*, 2007) y se centran en las modificaciones que sufre el aceite sometido a frituras muy prolongadas en las que un mismo aceite soporta un alto número de tandas de fritura (Quiles, 2002; Karayaka *et al*, 2011).

Sin embargo, a nivel doméstico, la fritura se realiza muchas veces en sartén, por lo tanto es una fritura superficial, y se lleva a cabo en equipos en los que no se controla la temperatura del medio de fritura, lo que origina sobrecalentamientos en el aceite o grasa. Recientemente se ha producido una innovación en las placas de inducción, y pueden contar con sistemas automáticos de control de temperatura que permiten mantener la temperatura del aceite en el punto de consigna con una desviación de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Esto se lleva a cabo mediante un sensor que lleva incorporado la placa y consigue regular la temperatura para así evitar sobrecalentamientos del aceite. Esta mejora debería dar como resultado alimentos fritos con una mayor calidad nutricional y organoléptica, ya que se reducirían los efectos negativos que los sobrecalentamientos originan en el alimento y en el aceite. Sin embargo, no existen todavía datos experimentales para evaluar el alcance de esta innovación.

Con este proyecto se pretende analizar la influencia de este nuevo sistema de control en algunos aspectos muy importantes desde el punto de vista nutricional y organoléptico de los alimentos fritos. El alimento elegido para el estudio ha sido la patata, porque es un alimento de consumo habitual, barato, de fácil conservación en fresco y que no requiere de una preparación complicada hasta su fritura. Los parámetros

que se van a analizar son: el contenido en grasa, la humedad, la concentración de tocoferol, la textura y el color. La influencia de las diferentes condiciones de fritura por inmersión sobre estos parámetros ha sido motivo de diversos estudios (Kalogeropoulos *et al*, 2007; Mir-Bel *et al*, 2009; Troncoso, 2009). Sin embargo, existe menos información cuando la fritura se realiza con equipos domésticos, a pesar del interés que sin duda tiene para los fabricantes de las placas de inducción, para la población en general como grandes consumidores de patatas fritas, y para los tecnólogos de los alimentos, ya que permitiría profundizar en el conocimiento de la fritura en superficie.

Dentro de los parámetros nutricionales antes destacados, hay un gran número de publicaciones que se centran en los mecanismos por los que el alimento capta aceite durante la fritura, que intentan establecer las condiciones más adecuadas para reducir el contenido en grasa, o que buscan nuevas técnicas para lograrlo sin modificar las propiedades organolépticas del alimento. Todo ello acompañado de una creciente demanda por parte de los consumidores de productos con bajo contenido en grasa.

Se han propuesto diferentes alternativas para disminuir la cantidad de grasa de los productos fritos, desde la fritura a vacío o con atmósfera controlada (Troncoso *et al*, 2009), hasta fritura mediante microondas como es el método Taguchi (Oztop *et al*, 2007). Otra posibilidad es realizar un pretratamiento como por ejemplo deshidratar el alimento (Pedrechi *et al*, 2005), o sumergirlo en disoluciones de NaCl (Bunger *et al*, 2003).

Por lo tanto, uno de los objetivos de este proyecto es determinar si utilizando el sensor de temperatura disminuye el contenido en grasa de las patatas. Al controlar la temperatura se evita el sobrecalentamiento del aceite, tan habitual en la fritura tradicional, y esto puede dar lugar a una menor captación de grasa por parte de la patata. Durante la fritura se evapora agua del alimento dejando un espacio libre que es ocupado por la grasa. Por lo tanto, además de la captación de aceite se determinará la pérdida de agua de las patatas para relacionar ambos fenómenos. Otro factor a tener en cuenta por su influencia en la ganancia de grasa es la formación más o menos rápida de una corteza externa, lo cual viene determinado por la temperatura de fritura así como el tiempo.

La vitamina E es el antioxidante más eficaz en fase lipídica, se sabe que los aceites de origen vegetal son muy ricos en vitamina E (Chiou *et al*, 2012). Esta vitamina protege al aceite durante la fritura, a pesar de que se degrada con las altas temperaturas;

ya que si no estuviese presente en los aceites, éstos se oxidarían mucho más durante este proceso. Esta vitamina está compuesta por tocoferol, por ello se va a analizar el contenido en tocoferol en el aceite y en las patatas tras la fritura. Cada aceite tiene diferente concentración de tocoferol, por eso se estudian tres tipos diferentes de aceite: uno de oliva, otro procedente de semillas que es el girasol, y otro mejorado para freír. Se analizará en el aceite para ver cómo influyen las diferentes temperaturas su degradación y cómo esto afecta cuando se cambia el tipo de aceite. Hay que tener en cuenta que también degrada al tocoferol el oxígeno ya que es un compuesto que se oxida muy fácilmente, este parámetro se debe de tener en cuenta ya que no es una fritura en inmersión. Pero en cuanto a ver diferencias no nos influirá mucho ya que se fríe siempre en las mismas condiciones, con la misma superficie de aceite expuesta al oxígeno. También se analizará en las patatas ya que si el alimento absorbe aceite también absorberá parte del tocoferol, por tanto el alimento se enriquecerá en vitamina E. Se intentará establecer una relación entre la reducción de vitamina E del aceite y el posible aumento en la patata.

Para la fritura los aceites más empleados son el de girasol, su variante alto oleico y los de otras semillas como el de maíz. Actualmente, se observa un aumento en la demanda de aceite de oliva para la fritura. El aceite de oliva da un sabor diferente, proporciona al alimento un sabor más intenso y se crean menos aromas indeseables. Además el aceite de oliva es más resistente a la fritura, sobre todo las variedades “Picual” y “Cornicabra”. Por lo tanto se van a utilizar en este estudio aceite de girasol, aceite de girasol alto oleico y aceite de oliva, para comprobar cómo afecta la variación del aceite en las distintas propiedades nutritivas y organolépticas mencionadas anteriormente. Por otra parte se pretende determinar si los diferentes aceites tienen igual o distinto comportamiento en la fritura a temperatura controlada, y si el tipo de aceite influye sensiblemente en la ganancia de grasa.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Materiales**

Para este estudio se utilizaron patatas *Solanum tuberosum* de la variedad “Monalisa” ya que son las ideales para freír, son ideales para cualquier uso culinario, y son muy duraderas. Es una variedad de patata muy común por lo que es muy fácil encontrarlas en el supermercado. La variedad “Monalisa” es una patata de maduración semitemprana, de piel y carne amarillas, forma oval, ojos superficiales y buen rendimiento (NIVAP, 2007). Hasta el momento de su uso se han mantenido en una cámara de refrigeración a 8 °C.

Los aceites empleados para freír fueron: aceite de oliva, aceite de girasol y aceite de girasol alto oleico, todos de la marca Koipe.

### **4.2 Preparación de las muestras**

Las patatas se pelaron y a continuación se cortaron en bastones con un grosor de 12 mm, esta medida se mantiene en todas las patatas. Se cortan con un cortador de patatas CS320 LEIFHEIT. La largura de los bastones es variable según el tamaño de la patata, pero no influye en la homogeneidad de la fritura, lo que importa es que tengan un grosor constante para que sea homogénea. Una vez cortadas y peladas se lavaron con agua fría durante 1 minuto, para eliminar la suciedad adherida. Se eliminó el exceso de agua secándolas con un papel.

### **4.3 Fritura**

La relación producto/aceite fue de 100g de patata en 200 mL de aceite. Se tomaron estas proporciones ya que se va a simular una fritura a nivel doméstico, en una sartén de cerámica e inducción, de 15 cm de diámetro y 6 cm de profundidad.

La fritura se realizó en una placa de inducción BOSCH PIB675L34E dotada de un sistema de control de temperatura. Cuando el sensor que permite freír a temperatura controlada está activado, la fritura se puede realizar a tres niveles denominados Low, Med y Max, que corresponden a 160, 180 y 200 °C respectivamente. Cuando no está activado este sensor, los niveles de fritura que se utilizaron fueron el nivel 7 y el 8, cuya temperatura inicial de fritura se corresponde con la de los niveles Med y Max respectivamente.

Durante la fritura se midió la temperatura del aceite en el centro de la sartén y en una posición próxima a la pared utilizando dos termopares tipo T conectados al registrador de datos Testo 177-T4.

Las frituras se realizaron del siguiente modo: se puso el aceite y se encendió la placa, se seleccionó el nivel deseado y la opción con/sin sensor, y cuando se alcanzó la temperatura inicial de fritura correspondiente a cada nivel, se añadieron las patatas. La fritura se prolongó durante 6 min, dando la vuelta al producto a los 3 min. Con un mismo aceite se frieron tres tandas de patatas. Tras cada tanda se sacó una muestra de aceite (5 mL) para su análisis posterior. Las patatas se sacaron y fueron escurridas en papel absorbente, para quitarles el exceso de aceite, durante unos segundos y a continuación se pesaron para comprobar su pérdida de peso.

#### **4.4 Contenido en grasa**

El contenido en grasa se determina mediante una extracción con un disolvente orgánico (Ngadi *et al*, 2007). 50 gramos de patatas se trituraron finamente en un molinillo homogeneizador refrigerado IKA A10 (Janke & Kunkel GmbH) hasta obtener una masa. A continuación se tomaron 4 g de la muestra de patata y se procedió a la extracción con 50 mL de éter de petróleo en un equipo SOXTEC 2055 (FOSS, Suecia). El programa de extracción empleado trabajaba a 115 °C y consta de tres fases: 30 minutos de inmersión, 1 hora de extracción y 20 minutos de escurrido. Una vez finalizada la extracción, el extracto se introdujo en una estufa a 102°C durante 30 min para eliminar el solvente y la humedad. El contenido en grasa se expresó en base seca (g grasa/100g bs). Las determinaciones se realizaron por duplicado para cada muestra.

#### **4.5 Humedad**

La pérdida de agua se determinó mediante un método gravimétrico (Ngadi *et al*, 2009). Se pesaron 3 g de patata, previamente triturada, y se introdujo en la estufa de convección a 105°C durante 24 h. Tras este tiempo se enfriaron en un desecador y se pesaron hasta obtener un peso constante. La pérdida de agua se expresó en base seca (g agua/ 100g bs) determinándose por duplicado para cada muestra.



#### 4.6 Tocoferol

El contenido en tocoferol se determinó tanto en las patatas fritas como en el aceite. El análisis se realizó tras un proceso de extracción mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Kalogeropoulos *et al*, 2007).

Para extraer el tocoferol del aceite, se pesó 1 g de aceite y se añadieron 10 mL de cloroformo:isopropanol (3/1, v/v) y se introdujeron 2 mL en un eppendorf. En el caso de la patata, se pesaron 2 g de patata triturada y se añadieron 10 mL de hexano con BHT (20 mg/kg). Esta mezcla se llevó al ultraturrax durante 1 min. Se recogió el extracto en un matraz, y se repitió la extracción dos veces más a la misma muestra. El extracto combinado de las tres extracciones se sometió a evaporación en el rotavapor. El residuo se disolvió en 10 mL de cloroformo:isopropanol (3/1, v/v), se recogieron 2 mL en un eppendorf. Tanto los eppendorf del aceite como los de las patatas se someten a centrifugación de 5 minutos a 5 rpm. El sobrenadante se introduce en viales para proceder a su análisis en el HPLC.

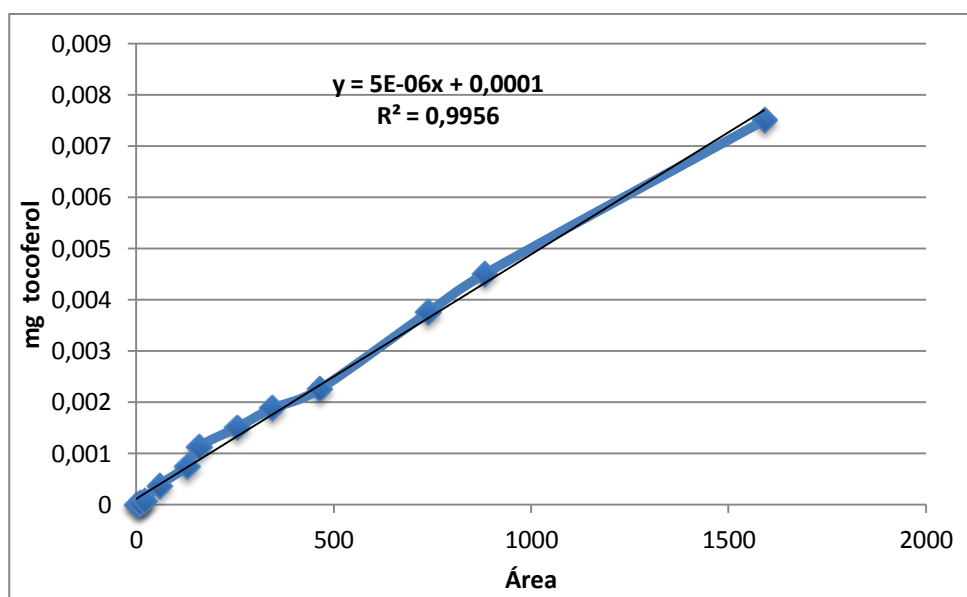
Se empleó un equipo de HPLC Agilent 1100 series (Agilent Technologies, Santa Clara, CA), dotado de desgasificador, bomba cuaternaria, inyector automático ALS y detector de fotodiodos. Se utilizó para detectar el tocoferol una longitud de onda de 284 nm. Como columna se emplea una Agilent Zorbax SB C18 150 mm x 4,6 mm i.d 3,5  $\mu$ m (Agilent, Waldronn, Alemania) termostatzada a 27° C. El análisis se realiza con un sistema de disolvente cuaternario que consiste en agua gasificada con ácido orto-fosfórico a pH 3, metanol, acetonitrilo y propanol-2. A una velocidad de flujo de 1 mL/min y una inyección de muestra de 50  $\mu$ L. Las combinaciones de solventes y tiempos durante la extracción son las siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Combinación de solventes y tiempos durante la extracción de tocoferol en HPLC

Tiempo (min)	MeOH (D)	Agua pH=3 (B)	Acetonitrilo (C)	Isopropanol (A)
0	90	10	0	0
10	95	5	0	0
15	100	0	0	0
20	100	0	0	0
25	100	0	0	0

26	20	0	20	60
36	20	0	20	60
40	90	10	0	0
Post run (30)	90	10	0	0

Se realizó una curva patrón con patrones estándar de  $\alpha$ -tocoferol FLUKA (BioChemika) con concentraciones entre 0,25 y 100 ppm. La recta de calibrado que se obtuvo fue la siguiente (Figura 1):



**Figura 1. Recta de calibrado del tocoferol**

Este análisis se realiza por duplicado para cada muestra de aceite y patata. El contenido en tocoferol se expresa en mg/100g.

#### 4.7 Color

El color de las patatas se determinó mediante análisis digital de imagen. Se escanearon 5 patatas por cada tanda de fritura en escáner EPSON Perfection 2450, con una resolución de 600 píxeles. La imagen es tratada con el programa Matrox Inspector 8.0. A diferencia de otros estudios que solo toman una pequeña porción de la patata para analizar su color, en este caso se ha tomado la patata entera para tener una medida más homogénea y real del color de la patata. Con este programa obtenemos las coordenadas RGB, las cuales son transformadas a  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  mediante un modelo cuadrático simple, basado en el de León et al, 2006. Para el calibrado del escáner se eligieron como

referencia imágenes patrón correspondientes a la norma española de colores UNE 48-103-94 (UNE, 1994).

#### **4.8 Textura**

La textura de las patatas se determinó con el texturómetro TA.XT plus (Stable Micro Systems, Godlming, UK), mediante análisis de punción con la sonda P/2 de 2 mm de diámetro, célula de carga de 5 kg y velocidad de 2 mm/s hasta una penetración de 5 mm. Para cada patata se realizaron medidas en tres puntos (central y ambos extremos) y se analizaron cuatro patatas de cada una de las tandas de fritura. Los resultados se analizan con el software de este equipo y se utilizó la fuerza máxima como medida de fuerza de las patatas expresada en kg.

#### **4.9 Análisis estadístico**

A partir de los datos experimentales se calcularon la medida y las desviaciones estándar, de forma que los datos mostrados en las figuras son las medias de todas las repeticiones, mientras que las barras de error representan la desviación estándar. Para la comparación entre medias se realizó un análisis de varianza de una vía, ANOVA, seguido de un test de Tukey con  $P < 0,05$ .

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Temperatura

La temperatura del aceite se registró durante la fritura para comprobar su evolución en las diferentes condiciones de estudio.

#### Temperatura del aceite sin producto durante el calentamiento con y sin control de temperatura

La placa de inducción que se ha utilizado en este estudio no permite seleccionar directamente la temperatura deseada del medio de fritura. Lo que se elige es un nivel de fritura. Por lo tanto, el primer paso previo fue determinar a qué temperatura se estabiliza el aceite para cada uno de los niveles de fritura. Esto se realizó utilizando la función de control de temperatura (con sensor) y cuando dicha función estaba desactivada (sin sensor). Esto es necesario para poder hacer las comparaciones posteriores y demostrar si el sistema de control de temperatura es efectivo o no. Estas pruebas se realizaron sin freír alimento, simplemente calentando aceite.

Cuando está activado el sistema de control de temperatura, los niveles que se pueden seleccionar son min, low, med y max. Para el registro de la evolución de la temperatura en el aceite se utilizó la misma sartén y la misma cantidad de aceite que posteriormente se empleó para la fritura de las patatas. En la Figura 2, se muestra la evolución de la temperatura del medio de fritura en cada uno de los niveles seleccionados. Como se puede observar en esta figura, el tiempo de estabilización de la temperatura es aproximadamente de unos 4 minutos, aunque hay variaciones entre los niveles, ya que med tarda en torno a unos 5-6 minutos. Las temperaturas a las cuales se estabilizan cada uno de los niveles son: 140 °C el nivel min, 160 °C, el low, 180 °C el med y 200 °C el nivel max.

Con esta prueba también se fijaron los niveles que iban a ser objeto de estudio en las frituras. Se seleccionaron los niveles low, med y max, descartándose el nivel min, porque, como se puede comprobar en la Figura 2, la temperatura que se alcanza con este nivel es muy baja para una fritura convencional (140 °C). La temperatura a la cual se suele llevar a cabo es 170 °C. Con los niveles low y med la temperatura está dentro del intervalo habitual en la fritura (160-190 °C), en cambio con el nivel max, se alcanza una temperatura más elevada de lo normal, pero no se descartó este nivel para estudiar la

influencia de una temperatura elevada combinada con un sistema de control de temperatura.

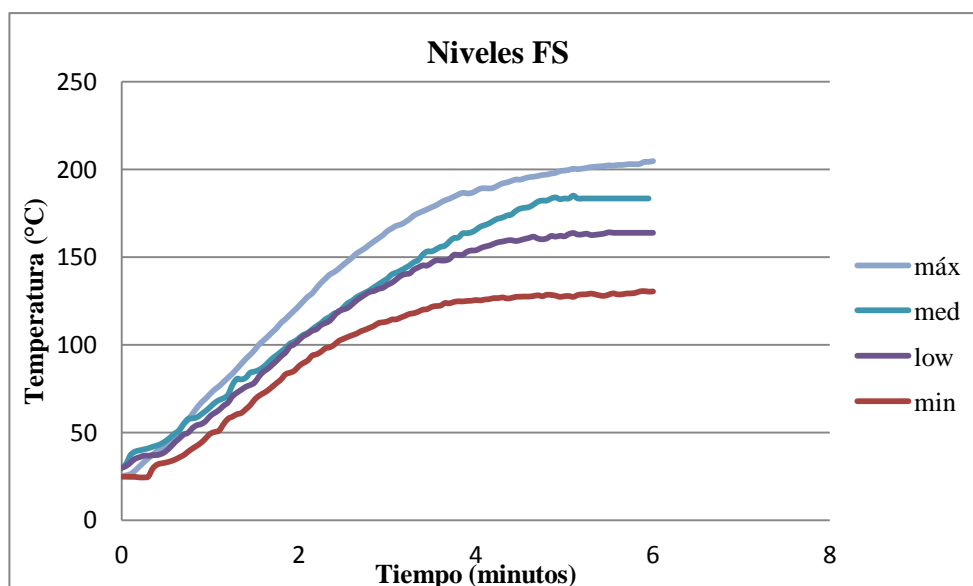
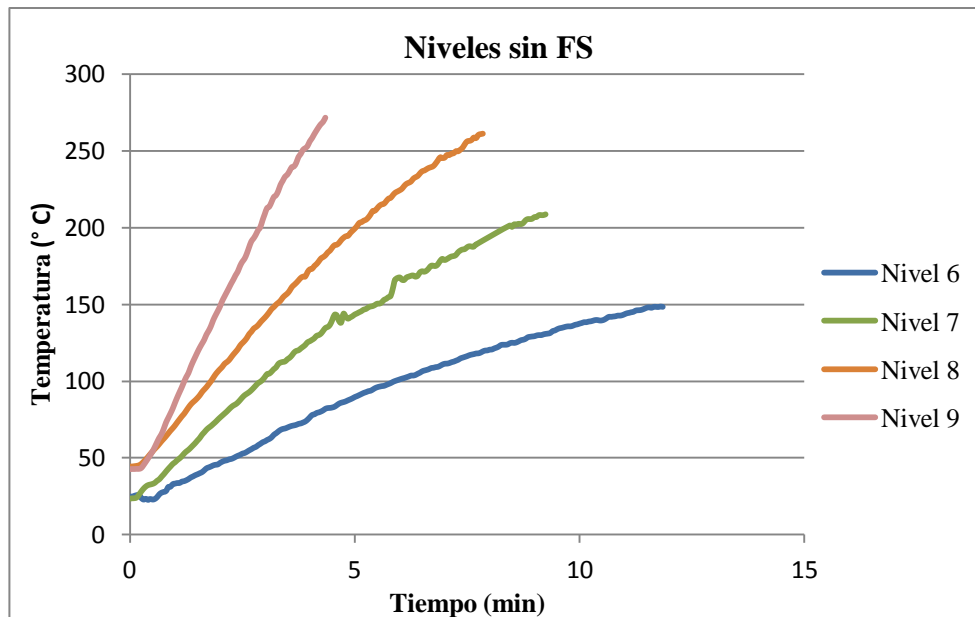


Figura 2. Evolución de la temperatura del aceite con el tiempo durante ensayos sin producto a diferentes niveles de fritura con control de temperatura.

A continuación, se siguió la evolución de la temperatura en el aceite desconectando el sistema de control de temperatura. En estas condiciones la placa dispone de diferentes niveles numerados del 6 al 9. Esta prueba es necesaria para poder comprobar qué temperaturas alcanzan los niveles sin uso del sensor y así poder establecer comparaciones con y sin sensor para las pruebas siguientes. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos. Como se puede observar, a diferencia de lo que ocurre si se activa el sensor de temperatura, cuando no actúa el sistema de control, las temperaturas no se estabilizan y aumentan durante todo el tiempo del ensayo.

Tras estas pruebas y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se estableció una relación entre niveles con y sin sensor. Para ello se tuvo en cuenta el tiempo que le cuesta estabilizarse a la temperatura en cada uno de los niveles low, med y max. Determinándose posteriormente qué nivel sin sensor alcanzaba a esos tiempos la temperatura de estabilización de cada uno de los niveles con sensor. De esta manera se concluyó que al principio del proceso de fritura, es decir antes de introducir el producto, la temperatura del aceite con el nivel 7 sin sensor es similar a la del nivel med con sensor; y que la del nivel 8 es similar a la que se alcanza con el nivel max. Por lo tanto, cuando se deseen comparar resultados de fritura con sistema de control de temperatura y sin él se tendrán en cuenta estas equivalencias.



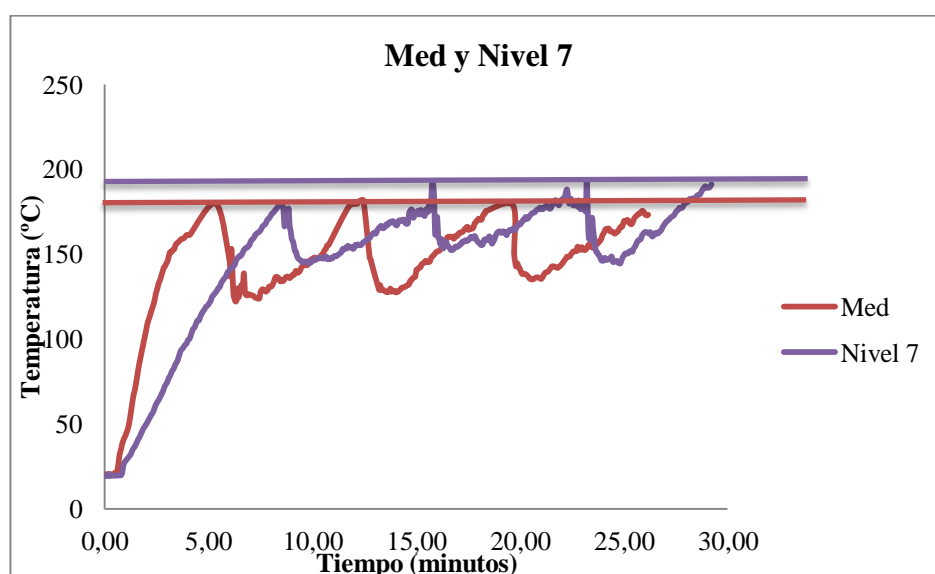
**Figura 3. Evolución de la temperatura del aceite con el tiempo durante ensayos sin producto a diferentes niveles de fritura sin control de temperatura**

#### Temperatura del aceite durante la fritura con y sin control de temperatura

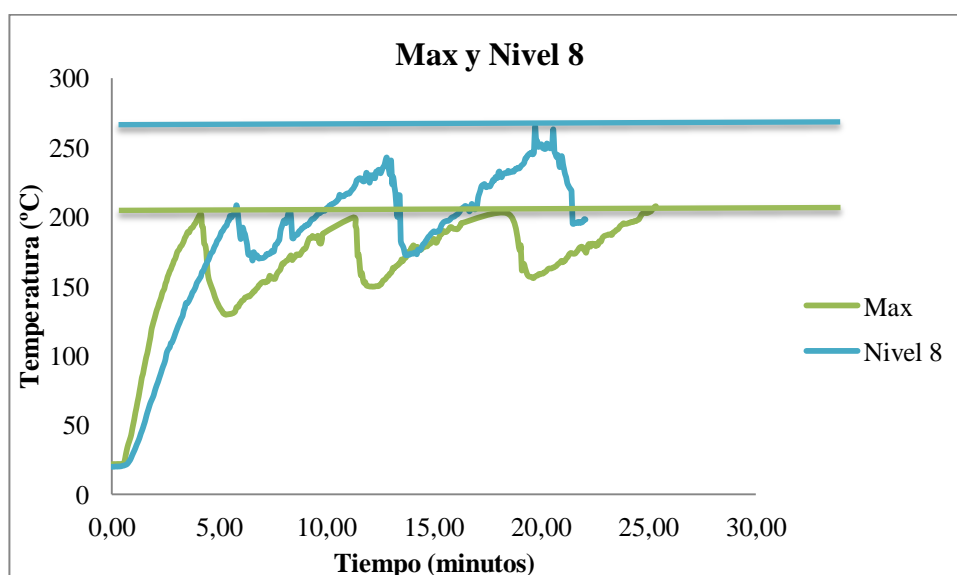
Durante las frituras con patata se registró la temperatura del aceite. Como se puede observar en las Figuras 4 y 5, se diferencian claramente los ciclos de cada una de las tres frituras consecutivas realizadas con un mismo aceite. Se puede observar que se produce un aumento de la temperatura hasta alcanzar 180 °C en los niveles 7 y med, y 200 °C en los niveles 8 y max. Estas temperaturas se consideran las iniciales de fritura y en ese momento es cuando se introducen las patatas en la sartén, lo cual provoca un descenso de la temperatura debido a que éstas se encuentran a una temperatura inferior a la del aceite. A continuación la temperatura va aumentando. Si se fríe con el sistema de control de temperatura activado, cuando finaliza cada tanda, cuya duración es de 6 minutos, la temperatura del aceite vuelve a alcanzar la temperatura inicial. En este momento se retiran las patatas y se añaden las siguientes, sin cambio de aceite ni reposición del perdido por absorción de las patatas. Con esta evolución de la temperatura no se puede hablar de temperatura de fritura, ya que no es constante durante el proceso, si no de un rango de temperaturas y de una temperatura inicial de fritura. Cuando las frituras tienen lugar sin el sistema de control de temperatura, al final de cada una de las tandas la temperatura es superior a la inicial de fritura.

En estas Figuras, 4 y 5, se muestra la evolución de las temperaturas del nivel 7 y med y del nivel 8 y max, respectivamente. En estas figuras se ha señalado los máximos de temperatura que se alcanzan en cada uno de los niveles. Con el nivel 7, la

temperatura llega a alcanzar los 195 °C, mientras que con el nivel med, la temperatura no supera los 182 °C. Esto se consigue gracias al sistema de regulación de temperatura. En la figura que relaciona nivel 8 y max el comportamiento es parecido que en la relación entre nivel 7 y med, pero en este caso las diferencias entre las temperaturas máximas son mas acusadas. Con el nivel 8 la temperatura alcanza los 260 °C. Por este motivo, se eliminó el nivel 8 del estudio; las patatas al finalizar la tanda presentaban un color muy oscuro, casi negro, mientras que su interior estaba crudo. Las patatas obtenidas con esta fritura se muestran en la Figura 6. Estas no son comestibles ni saludables debido a los posibles compuestos carcinogénicos que podrían contener.



**Figura 4.** Evolución de la temperatura del aceite durante tres tandas de fritura. Con control de temperatura, nivel med, y sin control, nivel 7.



**Figura 5.** Evolución de la temperatura del aceite durante tres tandas de fritura. Con control de temperatura, nivel max, y sin control, nivel 8.



**Figura 6. Fotografía de las patatas fritas con el nivel 8**

## **5.2 Pérdida de peso**

La pérdida de peso es una medida complementaria que se ha estudiado. No hay diferencias significativas entre los aceites, por lo que se muestra solo la pérdida de peso de patatas fritas en aceite de oliva (Figura 7) como referencia de lo que ocurre al modificar la temperatura de fritura y las tandas.

Se puede observar que al aumentar el nivel de fritura aumenta el porcentaje de pérdida de peso. Esto es lógico ya que el tiempo de fritura es el mismo para todos los casos, y al aumentar el nivel de fritura, como se ha comentado anteriormente, se incrementa el intervalo de temperaturas en que la fritura tiene lugar. No se observan diferencias aparentes entre las diferentes tandas, por lo tanto en el rango estudiado, se puede concluir que el utilizar un aceite usado anteriormente no modifica la pérdida de peso del producto en la fritura siguiente. A pesar de que durante la fritura el producto capta aceite, esta ganancia no sustituye todo el agua que se ha evaporado, ya que cuanto más temperatura también se forma más corteza impidiendo la ganancia de aceite. Por lo que no es una relación lineal el incremento de peso y la pérdida de agua.

En cuanto a la influencia del control de temperatura, si se comparan niveles en un principio equivalentes, se observa que las patatas pierden más peso con el nivel 7 que con el med. Esto es debido a las mayores fluctuaciones de temperatura que se producen en ausencia de control.



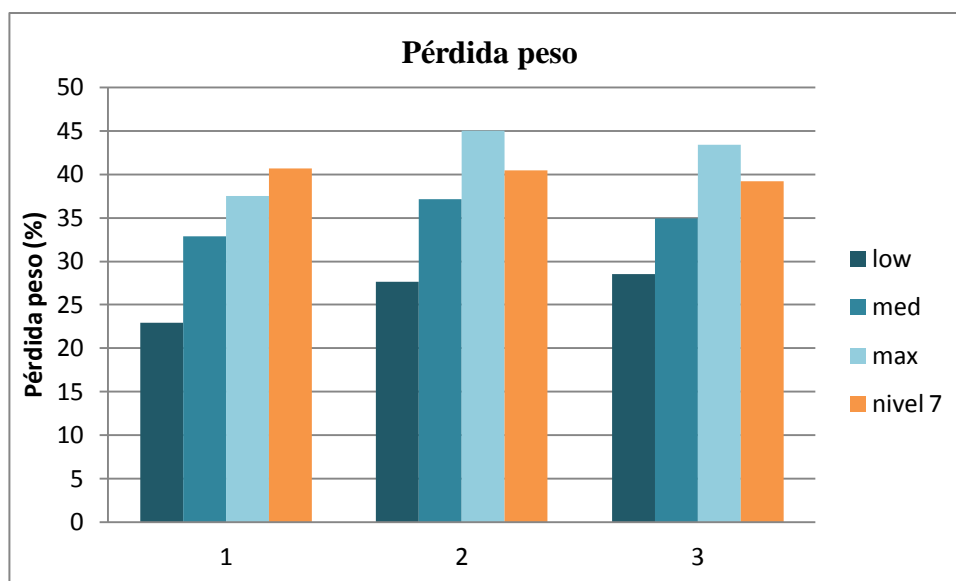


Figura 7. Pérdida de peso de las patatas fritas en aceite de oliva utilizando diferentes niveles de fritura

### 5.3 Pérdida de agua

Las patatas crudas tienen un contenido en agua del  $83.16 \pm 0.23$  %. Valor muy similar al obtenido por otros autores (Mecit *et al*, 2007).

En la Figura 8 se muestra cómo influye el nivel de fritura y el número de frituras en la pérdida de agua para un mismo aceite. No se muestran los diferentes aceites puesto que tenían un comportamiento semejante, la gráfica corresponde al aceite de oliva.

La humedad de las patatas fritas en cualquier condición está comprendida entre un 52,46 y un 67,73 %. En el nivel low se produce una menor pérdida de la humedad con respecto a los otros niveles con control de temperatura, es decir med y max..

En cuanto a las diferentes frituras, no hay diferencias entre ellas. Que el aceite esté utilizado no afecta en la pérdida de agua por parte de las patatas. Este comportamiento se observa también con la pérdida de peso.

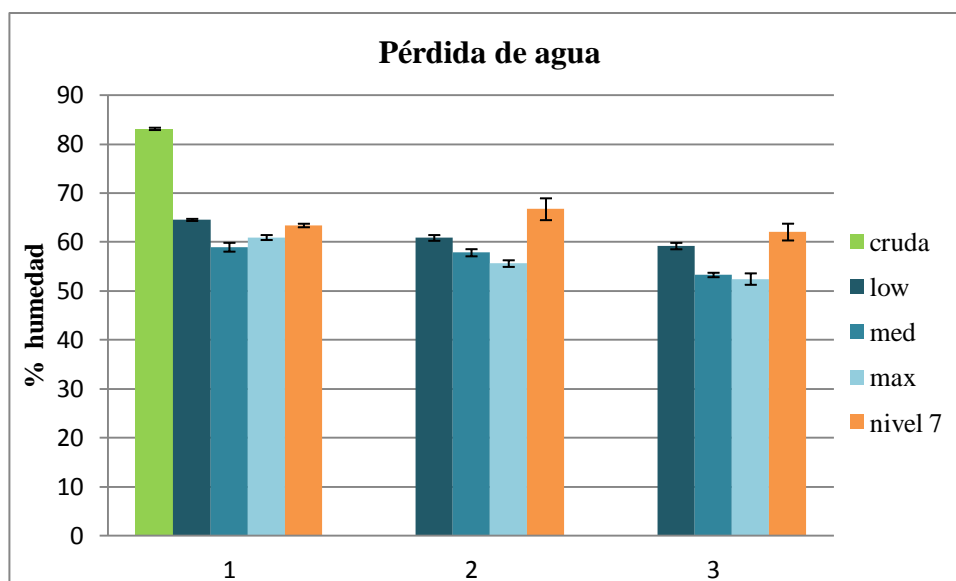


Figura 8. Pérdida de agua de las patatas fritas en aceite de oliva utilizando diferentes niveles de fritura

#### 5.4 Contenido en grasa

Como se ha explicado anteriormente la ganancia de aceite por parte del alimento es un factor muy importante en la fritura. Además uno de los objetivos de este trabajo es comprobar si el uso del control de temperatura durante la fritura produce una menor ganancia de grasa por parte del alimento. Para ello se compararan las patatas fritas con los niveles med y 7. También se analizará la influencia en la captación de aceite de las tandas de fritura.

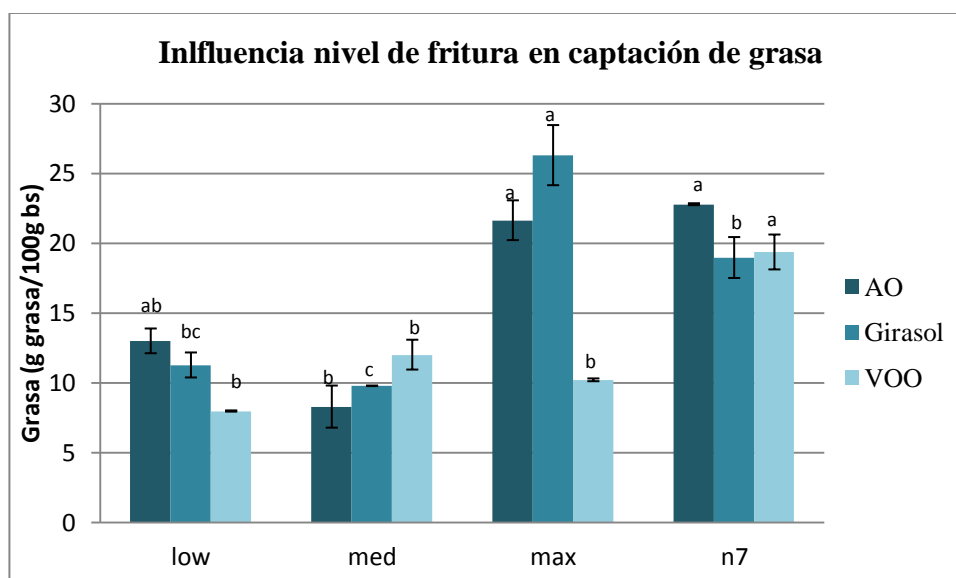
Se extrajo la grasa y los resultados obtenidos se expresan en base seca. Estos datos se analizaron con ANOVA para establecer si las diferencias entre muestras eran significativas ( $p < 0.05$ ). Se comparó en cada uno de los tipos de aceite la influencia del nivel de fritura y en cada nivel la influencia del tipo de aceite, así como la diferencia entre tandas. Y esto se relacionó con el contenido graso de la patata cruda, que es 2,7 g grasa/100 g bs.

En la Figura 9 se muestra el contenido en grasa de las patatas fritas con distintos niveles de fritura y utilizando tres tipos de aceite no usado anteriormente. En términos generales, al aumentar el nivel de fritura es de esperar que aumente el contenido graso del producto. Esto ha sido estudiado y demostrado por otros autores que afirman que al aumentar la temperatura del medio de fritura se incrementa la ganancia en grasa por parte de un alimento (Mecit *et al*, 2007).

La temperatura es un factor que afecta de forma directa a los tres mecanismos principales de absorción. Una temperatura más alta implica una degradación mayor de la superficie de las patatas favoreciendo la absorción del aceite estructura; al favorecer también una eliminación más rápida del agua, aumenta la absorción del aceite durante el enfriamiento y, como implica una degradación más rápida del medio de fritura, incrementa la formación de sustancias tensoactivas y mayores contenidos de aceite superficial.

Como se puede comprobar en la Figura 9 no hay diferencias relevantes en el contenido en grasa de las patatas fritas con los niveles low y med para ninguno de los aceites. En cambio, cuando la fritura tiene lugar con el nivel max, se produce una ganancia de aceite de casi el doble en comparación con los niveles anteriores utilizando aceite de girasol y aceite de girasol alto oleico.

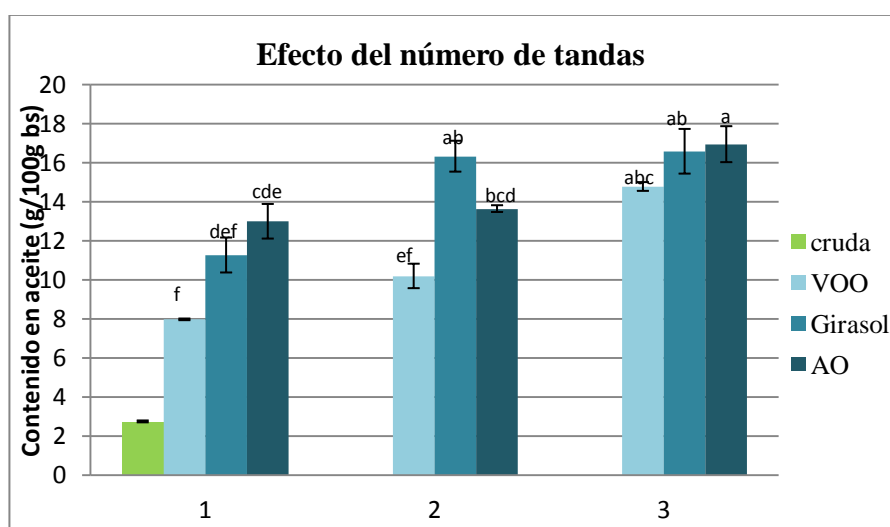
En esta Figura también se puede comparar el efecto en la absorción de grasa de freír con y sin control de temperatura, para ello se compara el nivel 7 y el med. Al freír sin sensor (nivel 7), la ganancia de grasa es mucho mayor que en la fritura con el sensor de temperatura activado (med), llegando a ser casi el doble. Este resultado concuerda con lo esperado puesto que las temperaturas máximas que se alcanzan durante la fritura son mayores en la fritura sin control de temperatura.



**Figura 9. Contenido en grasa de las patatas fritas en aceite de girasol (Girasol), aceite de girasol alto oleico (AO) y aceite de oliva virgen (VOO) utilizando diferentes niveles de fritura. Primera tanda de fritura.**

Las patatas fritas con aceites ya usados tienen más contenido en aceite que las fritas con aceite nuevo. Esto ocurre en todos los niveles de fritura y para todos los aceites. A modo de ejemplo en la Figura 10 se muestra el contenido en grasa de patatas fritas en el nivel low. A medida que realizan más frituras con un mismo aceite, la composición y propiedades del aceite van cambiando. El agua que pierde el producto frito influye en la hidrólisis del aceite (Dana *et al*, 2003). Los mono y diglicéridos formados en estas reacciones son agentes tensoactivos surfactantes que incrementan la tendencia del aceite a formar espumas y favorecen el mojado de la superficie del producto, aumentando su contenido final de aceite (Gaonkar, 1989). Además, la presencia de estos agentes surfactantes dificulta el escurrido natural del aceite por gravedad (Ziaiiifar *et al*, 2008). En este caso nos encontramos un mecanismo de adsorción por adhesión. Este fenómeno explica la mayor cantidad de aceite que adquieren algunos productos cuando se fríen en aceites muy degradados.

La influencia del tipo de aceite en la captación de grasa depende de muchos factores, no solo de las características del aceite crudo, sino de cómo este se modifica durante la fritura. Por una parte, aunque la viscosidad inicial del aceite de oliva virgen es menor que la del aceite de girasol alto oleico, aumenta más la viscosidad con la degradación del aceite en el caso del de oliva (Sánchez-Gimeno *et al*, 2008). Por otra parte, el aceite de girasol alto oleico por su composición en ácidos grasos (mayor contenido en ácido linoleico que el de oliva virgen) se oxida antes que el aceite de oliva, debido a los dobles enlaces del ácido linoleico.



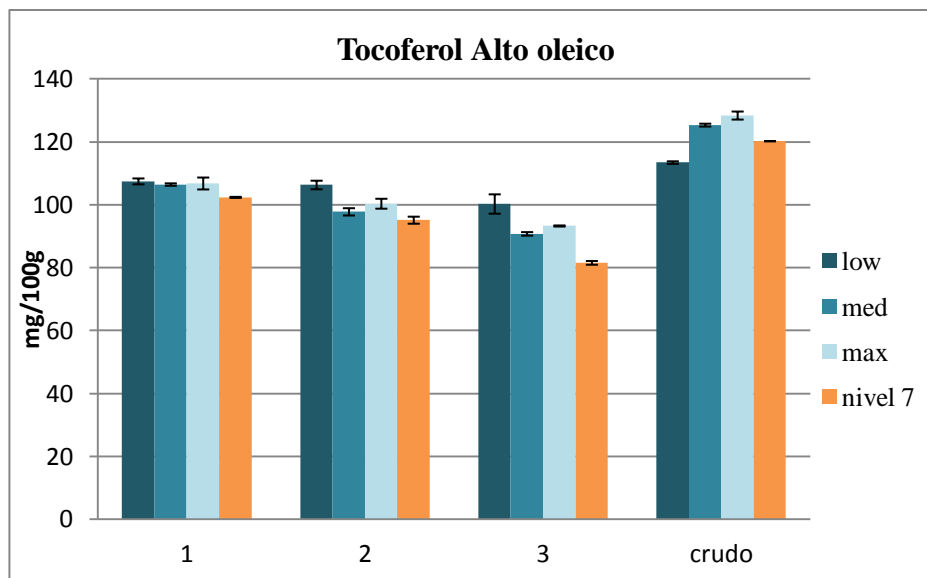
**Figura 10.** Evolución del contenido en grasa de las patatas con el número de frituras, para el aceite de girasol (Girasol), aceite de girasol alto oleico (AO) y aceite de oliva virgen (VOO), utilizando el nivel low.

## 5.5 Tocoferol

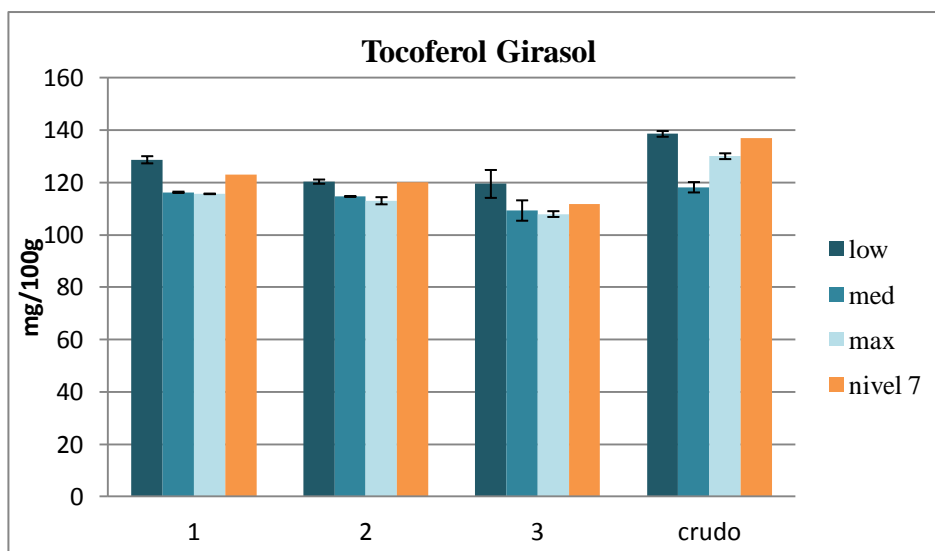
El contenido en tocoferol se determinó tanto en la patata como en el aceite de fritura. Estos análisis se realizaron para los tres tipos de aceite estudiados, evaluándose la influencia del nivel de fritura, del uso o no del control de temperatura y del número de frituras en la concentración de esta vitamina.

El contenido en tocoferol del aceite se muestra en las Figuras 11, 12 y 13. El análisis del aceite crudo se realizó cada día en que se frieron muestras, ya que la composición de tocoferol de un aceite no se mantiene constante durante su almacenamiento. El aceite de girasol y el aceite de girasol alto oleico presentan unos valores iniciales medios de tocoferol de 120 y 130 mg/100 g, mientras que el aceite de oliva tiene una concentración media de 35 mg/100 g. En todos los aceites se aprecia la influencia del número de frituras o tandas. Se puede observar en estas tres figuras como al aumentar el número de frituras se disminuye la concentración de tocoferol del aceite con respecto a la inicial. Por otra parte, se encontró que al aumentar el nivel de fritura disminuye el contenido en vitamina E del aceite.

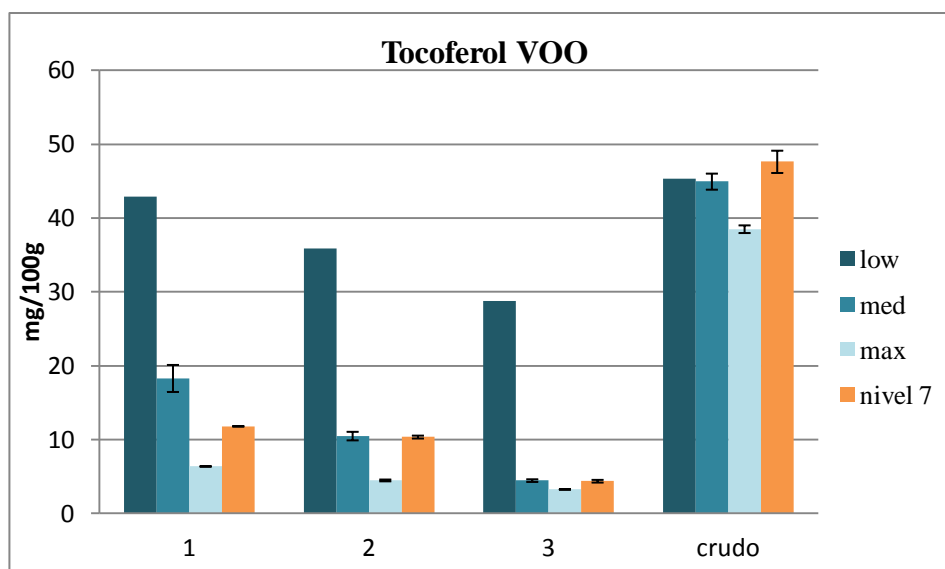
Estos cambios se pueden ver más o menos acusados según el tipo de aceite. En el caso de los aceites de girasol (Figuras 11 y 12), la influencia del número de frituras es mínima. Sí que se produce una mayor degradación con el número de frituras pero ésta no es muy acusada. Ocurre lo mismo con la influencia del nivel de fritura. Al contrario de lo que se podría pensar, el aceite de girasol alto oleico no es más resistente a la fritura, en cuanto a degradación de la vitamina E, que el aceite de girasol, a pesar de estar transformado y ser específico de fritura. En cambio en el aceite de oliva (Figura 13), la influencia tanto del número de frituras como del nivel de fritura es muy notable. En el aceite de oliva influye mucho el nivel de fritura en la concentración de tocoferol, disminuyendo más esta vitamina cuando la fritura se realiza con el nivel med que con el low. Por lo que en el aceite de oliva la temperatura de fritura condiciona sobremanera la concentración de tocoferol, y aunque el número de frituras también reduce el contenido de vitamina E, su influencia es menor que la temperatura.



**Figura 11.** Contenido en tocoferol en el aceite de girasol alto oleico para diferentes niveles y número de frituras.



**Figura 12.** Contenido en tocoferol en el aceite de girasol alto para diferentes niveles y número de frituras.



**Figura 13.** Contenido en tocoferol en el aceite de oliva para diferentes niveles y número de frituras.

En cuanto a las patatas fritas, se ha realizado una estimación teórica del valor que deberían contener y un análisis de las mismas para comprobar si el contenido en tocoferol es igual al estimado teóricamente. La estimación teórica se ha realizado teniendo en cuenta un contenido graso medio de las patatas entre 10-20g/100g bs, un contenido en agua entorno a 65g/100g producto y el contenido en vitamina E para cada uno de los aceites. En la siguiente tabla se muestra la relación de valores calculados y los obtenidos en el análisis experimental:

**Tabla 2.** Contenido en vitamina E en patatas fritas con diferentes aceites. Determinado experimentalmente (valor real) y calculado a partir de los datos de captación de grasa (valor estimado).

Tipo de aceite	Valor estimado (mg/100g)	Valor real (mg/100g)
<b>Girasol Alto Oleico</b>	5,6	2,7-3
<b>Girasol</b>	5,6	2,1-2,7
<b>VOO</b>	0,7	<0,25

En el caso del aceite de oliva no se puede establecer bien la relación, ya que el límite de detección del método es <0,25mg/100g; se detectó, pero no se pudo cuantificar. Estos valores indican que la patata no capta toda la vitamina E que podría en proporción a la cantidad de aceite que gana.

## 5.6 Color

El número de frituras y el tipo de aceite no influyen en el color final de las patatas. En cuanto a las características sensoriales el tipo de aceite influye en el sabor y en el

flavor, pero en este estudio no se tratan esos temas. En cambio, el color se modifica con el nivel de fritura empleado. En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se muestran imágenes de patatas fritas utilizando diferentes niveles de fritura.



**Figura 14.** Imagen de patatas fritas 6 minutos con el nivel low.



**Figura 15.** Imagen de patatas fritas 6 minutos con el nivel med.



**Figura 6.** Imagen de patatas fritas 6 minutos con el nivel max.

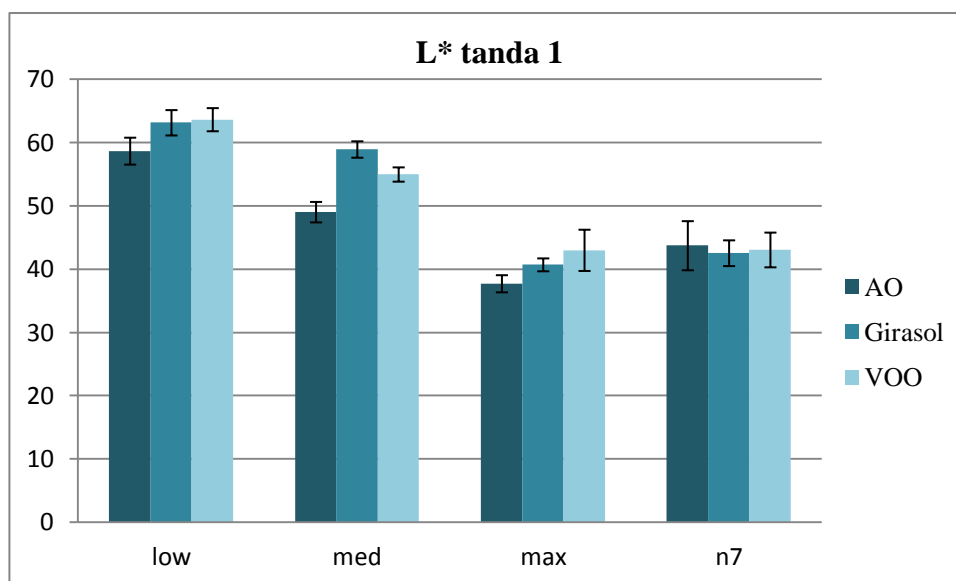




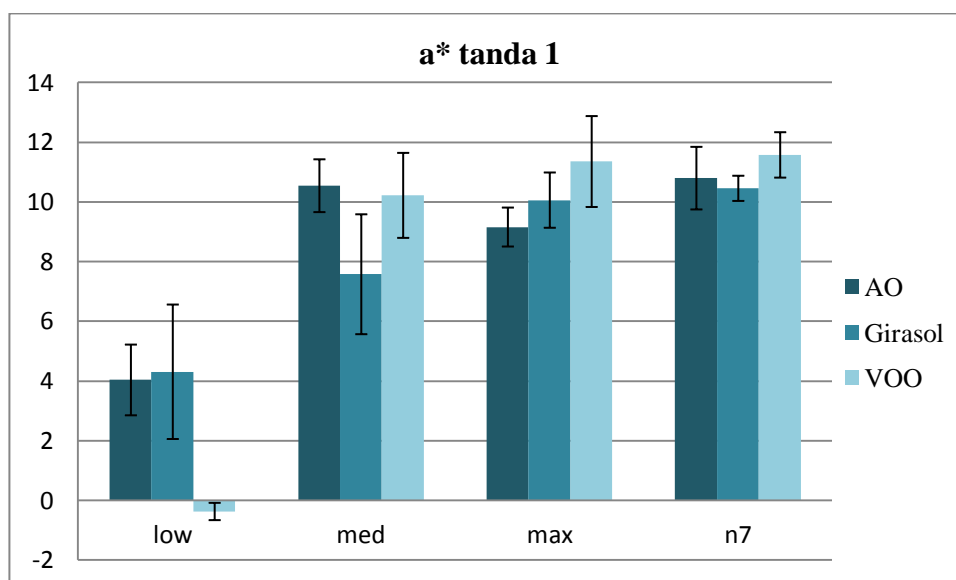
**Figura 17. Imagen de patatas fritas 6 minutos con el nivel 7.**

En estas imágenes se puede ver como a medida que se aumenta el nivel de fritura las patatas adquieren un color más tostado. Esto es debido a que cuanto mayor es la temperatura más reacción de Maillard y caramelización se produce, esto también ha sido demostrado por otros autores (Mecit *et al*, 2007; Troncoso *et al*, 2009).

Los resultados del análisis digital de imagen indicaron que no hay diferencias significativas en las coordenadas CIELab de las patatas fritas con aceite nuevo o reutilizado. En las Figuras 18 y 19 se muestran las coordenadas de color  $L^*$  y  $a^*$  de las patatas fritas con diferentes niveles para los tres aceites estudiados. No se muestra la coordenada  $b^*$  ya que tan apenas sufre modificaciones durante el proceso de fritura en las condiciones analizadas. La luminosidad, indicada por la coordenada  $L^*$ , disminuye al aumentar la temperatura, debido al oscurecimiento por los productos de la reacción de Maillard. La coordenada  $a^*$ , que establece los valores que van de verde a rojo, es capaz de captar el rango de marrones a los cuales se torna la patata una vez frita. Se puede observar como cuanto mayor es el nivel de fritura mayor es el valor de  $a^*$ , por lo que más “tostada” está la patata.



**Figura 18. Luminosidad de las patatas fritas con diferentes niveles y aceites.**



**Figura 19. Coordenada a\* de las patatas fritas con diferentes niveles y aceites.**

En las Figuras 18 y 19 y en las imágenes anteriores de las patatas, se puede apreciar la diferencia entre el color de las patatas fritas con sistema de control de temperatura y sin él. Comparando el nivel med con el nivel 7 se observa que las patatas están más oscuras y marronáceas cuando se fríen sin control de temperatura debido lógicamente a la mayor temperatura que se alcanza durante la fritura cuando no hay control, aunque inicialmente la temperatura del aceite sea la misma. Por lo tanto el sistema de control de temperatura influye en la cantidad de grasa captada, en la pérdida de agua por parte del alimento, en el contenido en tocoferol, y en el color. Al no tener una temperatura constante las patatas fritas sin sensor se vuelven más oscuras, con un tostado mucho más intenso y menos atractivo, casi semejante al nivel max. Lo que se

corroborar con el análisis de imagen, obteniendo una menor  $L^*$  y una mayor  $a^*$ , con valores casi similares a los obtenidos con el análisis de imagen realizado a las patatas del nivel max.

### **5.7 Textura**

En el caso de la textura no se han obtenido resultados concluyentes, ya que las desviaciones son muy amplias para poder obtener una conclusión definitiva.

Otros autores han demostrado que cuanto mayor es la temperatura a la cual se realiza la fritura mayor es la fuerza, es decir más dura es la patata (Pedrechi *et al*, 2004; Kita *et al*, 2007; Mecit *et al*, 2007; Troncoso *et al*, 2009). Por lo que deducimos que cuanto mayor es la temperatura más pérdida de agua se produce, y aunque hay mayor ganancia de aceite, se forma la corteza más rápido haciendo que se vuelva más duro el producto sometido a fritura.

## 6. CONCLUSIÓN

La temperatura del aceite durante la fritura con control de temperatura no supera el punto de consigna, mientras que cuando el sistema de control no está activado, la temperatura aumenta dando origen a valores máximos que difieren notablemente de la temperatura inicial de fritura.

El contenido en aceite de las patatas tras la fritura es mayor en el caso de no emplear el control de temperatura, con un 20% más de aceite que en el caso de freírlas con control. Otro factor que produce un incremento de la captación de aceite es el aumento de la temperatura inicial de fritura, como ha sido comprobado por otros autores (Mecit *et al*, 2007). Las patatas retienen más aceite cuando se fríen con aceite usado varias veces. Estas tendencias se manifiestan en los tres tipos de aceite estudiados (girasol, girasol alto oleico y oliva virgen).

El aceite de oliva tiene un contenido inicial menor de tocoferol y además es el aceite en el que la vitamina E se degrada más acusadamente, hasta un 40 %. En el caso de los aceites de girasol más ricos en tocoferol, el porcentaje de degradación es entorno al 15% sin diferencias apreciables entre ellos.

El color de las patatas no varía con el tipo de aceite ni con el número de frituras, pero sí, y muy sensiblemente, con el nivel de fritura y con el uso o no del control de temperatura. Cuanto mayor es el nivel de fritura y, por lo tanto, la temperatura inicial del aceite, las patatas presentan un color más marronáceo, con coordenadas  $a^*$  más alta y  $L^*$  más baja. El color de las patatas fritas sin control de temperatura se modifica más que el de las elaboradas con control de temperatura.

## CONCLUSION

Oil temperature during the frying temperature control does not exceed the set point, whereas when the control system is not activated, the temperature increases, giving rise to maximum values that differ significantly from the initial temperature of frying.

The oil content of the chips after frying them is greater in the case of not using the temperature control, with 20% more oil than in the case of frying with control. Another factor that causes an increase in the uptake of oil is to increase the initial temperature of frying, as has been shown by others (Mecit *et al*, 2007). The potatoes retain more oil

when fried with oil used several times. These trends are reflected in the three studied types of oil (sunflower, high oleic sunflower and olive).

Olive oil has a lower initial tocopherol content and it is also the oil in which the vitamin E is degraded more significantly, up to 40%. In the case of sunflower oil, which is rich in tocopherol, the degradation percentage is around 15% with no appreciable differences between them.

The color of the potatoes does not vary with the type of oil or the number of chips, but it does, and very significantly, with the level of frying and the use or not of the temperature control. The higher the level of frying and therefore the initial oil temperature, the chips have a brownish color, with higher coordinates  $a^*$  and  $L^*$  lower. The color of the chips without temperature control is modified more than those made with temperature control.

## **7. IDENTIFICACIÓN DE LAS APORTACIONES QUE, EN MATERIA DE APRENDIZAJE, HAN SUPUESTO LA REALIZACIÓN DE ESTA ASIGNATURA**

En esta asignatura he podido aplicar todo lo aprendido durante el GRADO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS, sobre todo lo aprendido en las asignaturas de ANÁLISIS DE LOS ALIMENTOS y COCINADO INDUSTRIAL Y RESTAURACIÓN COLECTIVA.

He aprendido a colaborar con un grupo de investigación, ha desarrollar un proyecto con ellos. Me han permitido organizarme, aportar ideas, asistir a reuniones... Con lo que he aprendido la metodología llevada a cabo por un grupo de investigación.

En cuanto a mis análisis en concreto, he aprendido a manejar independientemente algunos de los equipos y técnicas aprendidas en prácticas durante todo el Grado, como el análisis de grasa, textura y humedad. Y aprender el manejo y técnica de otros análisis nuevos como el HPLC y el análisis digital de imagen, al igual que nuevos programas de análisis de datos.

He adquirido más destreza a la hora de analizar datos y resultados obtenidos, de resolver problemas que surgen durante el proyecto y mayor soltura para tomar decisiones. He aprendido a escribir informes, realizar tablas y gráficas de datos, expresar resultados, y mejorar la expresión lingüística.

## **8. EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA Y SUGERENCIAS DE MEJORA**

La asignatura, dentro de sus diferentes modalidades, me parece muy interesante para nuestra formación y curriculum. Te permite aplicar lo ya aprendido durante todo el Grado, y además adquirir nuevos conocimientos.

Creo que está bien planteada esta asignatura, en cuanto al curso y al cuatrimestre, pero que debería de poderse elegir antes el tema que vas a desarrollar durante el proyecto, para tener más tiempo, ya que al principio del primer cuatrimestre ya podrías planificarte y realizar algunas tareas porque estás más libre de tiempo.

Este Trabajo Fin de Grado tiene un valor de 6 créditos, los cuales veo escasos para el gran trabajo que conlleva. Además en el mismo cuatrimestre debemos realizar la asignatura de Practicum, la cual también incluye la realización de un informe final similar a este, aunque de menor extensión. Creo que es mucha carga las dos asignaturas más optativas. Ambas asignaturas son muy interesantes para la formación, pero tal vez podrían tener más valores en créditos y ser excluyentes como en otras carreras, que se puede elegir una de las dos fórmulas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

-Bunger, A., Moyano, P., Rioseco, V., (2003). NaCl soaking treatment for improving the quality of French-fried potatoes. *Food Research International* 36, 161-166.

-Chiou, A., Kaloheropoulos, N., Boskou, G., Salta, F.N., (2012). Migration of health promoting microconstituents from frying vegetable oils to French fries. *Food Chemistry* 133, 1255-1263.

-Dana, D., Blumenthal, M., Saguy, I., (2003). The protective role of water injection on oil quality in deep fat frying conditions. *European Food Research and Technology* 217, 104-109.

-Gaonkar, A.G., (1989). Interfacial tensions of vegetable oil/water systems: Effect of oil purification. *Journal of the American Oil Chemists Society* 66 (8), 1090-1092.

-Juárez, M.D., Osawa, C.C., Acuña, M.E., Sammán, N., Gonçalves, L.A.G., (2011). Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods. *Food Control* 22, 1920-1927.

-Kalogeropoulos, N., Chiou, A., Mylona, A., Ioannou, M.S., Andrikopoulos, N.K., (2007). Recovery and distribution of natural antioxidants (?-tocopherol, polyphenols and terpenic acids) after pan-frying of Mediterranean finfish in virgin olive oil. *Food Ch*

-Kalogeropoulos, N., Mylona, A., Chiou, A., Ioannou, M.S., Andrikopoulos, N.K., (2007). Retention and distribution of natural antioxidants (?-tocopherol, polyphenols and terpenic acids) after shallow frying of vegetables in virgin olive oil. *LWT* 40, 1008-

-Karakaya, S., Simsek, S., (2011). Changes in Total Polar Compounds, Peroxide Value, Total Phenols and Antioxidant Activity of Various Oils Used in Deep Fat Frying. *Journal of the American Oil Chemists Society* 88, 1361-1366.

-Kita, A., Lisinska, G., Golubowska, G., (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry* 102, 1-5.

-León, K., Mery, D., Pedreschi, F., León, J., (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International* 39, 1084-1091.



-Mir-Bel, J., Oria, R., Salvador, M.L., (2009). Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling. *Journal of Food Engineering* 95, 416-492.

-Ngadi, M., Li, Y., Oluka, S., (2007). Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *Lebensmittel-Wissenschaft (LWT)* 40, 1784-1791.

-Ngadi, M.O., Wang, Y., Adedeji, A.A., Raghavan, G.S.V., (2009). Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. *LWT - Food Science and Technology* 42, 438-440.

-NIVAP. (2007). Catálogo holandés de variedades de patata. Netherlands potato consultative foundation. En [http://www.nivaa.nl/uk/about\\_potatoes/variety\\_catalogue](http://www.nivaa.nl/uk/about_potatoes/variety_catalogue)

-Oztop, M.H., Sahin, S., Sumnu, G., (2007). Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering* 79, 83-91.

-Pedrechi, F., Moncayo, P., (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering* 70, 557-563.

-Pedrechi, F., Moyano, P., (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT* 38, 599-604.

-Quiles, J.L., Ramírez-Tortosa, M.C., Gómez, J.A., Huertas, J.R., Mataix, J., (2002). Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, olive and sunflower oils after frying. *Food Chemistry* 76, 461-468

-Rossi, M., Alamprese, C., Ratti, S., (2007). Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying. *Food Chemistry* 102, 812-817.

-Salvador, A., Varela, P., Sanz, T., Fiszman, S.M., (2009). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT- Food Science and Technology* 42, 763-767.

-Sánchez-Gimeno, A.C., Negueruela, A.I., Benito, M., Vercet, A., Oria, R., (2008). Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process. *Food Chemistry* 110, 654-658.

-Troncoso, E., Pedreschi, F., Zúñiga, R.N., (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT - Food Science and Technology* 42, 187-195.

-UNE (1994). Norma española de colores: UNE 48-103-94. AENOR.

-Ziaiiifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., Trystram, G., (2008). Review of mechanism, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology* 43, 1