

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE SEGMENTACIÓN DE IMAGEN PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA Y MAGRO EN LONCHAS DE LOMO DE CERDO Y SALMÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y CALIDAD ALIMENTARIA

ALUMNO/A: Rocío Molinero Sáez

TUTOR/A ACADÉMICO: Raúl Grau Meló y José M. Barat Baviera

DIRECTOR EXPERIMENTAL: Samuel Verdú Amat

Curso Académico: 2016-2017

VALENCIA, febrero de 2017



APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE SEGMENTACIÓN DE IMAGEN PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA Y MAGRO EN LONCHAS DE LOMO DE CERDO Y SALMÓN

Autor: Rocío Molinero Sáez

Tutor académico: Raúl Grau Meló¹; José M. Barat Baviera¹

Director experimental: Samuel Verdú Amat¹

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio de la técnica de segmentación de imagen para la determinación del contenido en grasa y magro en lonchas de lomo de cerdo y salmón. Para ello se capturaron imágenes en ambas caras de las lonchas, las cuales fueron posteriormente analizadas físicoquímicamente a fin de determinar su composición mediante métodos normalizados. Por otro lado, las imágenes captadas fueron umbralizadas con la finalidad de obtener el tono de gris a partir del cual se deduce el resto de tonos que pueden ser característicos del tejido graso de las muestras. Una vez obtenidos dichos tonos y modelizados para predecir la cantidad de grasa teórica de las muestras, y una vez evaluada la predicción, se procedió a determinar también la cantidad teórica de agua y proteína de éstas. El análisis de los resultados ha mostrado la capacidad de la técnica para cuantificar tejido magro y graso, puesto que han podido ser correlacionados con la cantidad total de grasa, agua y proteína de las muestras, si bien la predicción no es tan exacta para las muestras de salmón como consecuencia de la presencia de grasas poliinsaturadas, las cuales no pueden ser captadas en las imágenes al no formar estructuras sólidas.

Palabras clave: técnica de segmentación de imagen, grasa, magro, lomo de cerdo, salmón.

RESUM

El present treball es centra en l'estudi de la tècnica de segmentació d'imatge per a la determinació del contingut en greix i magre en talls de llom de porc i salmó. Per a això es van capturar imatges en les dues cares de les llesques, les quals van ser posteriorment analitzades físicquímicament a fi de determinar la seua composició mitjançant mètodes normalitzats. D'altra banda, les imatges captades van ser umbralitzades amb la finalitat d'obtenir el to de gris a partir del qual es dedueix la resta de tons poguessin ser característics del teixit gras de les mostres. Un cop obtinguts aquests tons i modelitzats per predir la quantitat de greix teòrica de les mostres, i un cop

¹El director y el director experimental ambos pertenecen a la Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia

avaluada la predicció, es va procedir a determinar també la quantitat teòrica d'aigua i proteïna d'aquestes. L'anàlisi dels resultats ha mostrat la capacitat de la tècnica per a quantificar teixit magre i gras, ja que han pogut ser correlacionats amb la quantitat total de greix, aigua i proteïnes de les mostres, si bé la predicció no és tan exacta per a les mostres de salmó com a conseqüència de la presència de greixos poliinsaturats, els quals no poden ser captats en les imatges al no formar estructures sòlides.

Paraules clau: tècnica de segmentació d'imatge, grassa, magre, llom de porc, salmó.

ABSTRACT

The present work aims the study of the segmentation image technique to determinate the content of fat and lean on slices of pork loin and salmon. For this purpose, images were captured on both sides of the slices, which were subsequently analyzed by physicochemical tests to determine their composition through standardized methods. On the other hand, the images captured were thresholded in order to obtain the grey tone from which the rest of tones that could be characteristic of the fatty tissue of the samples are deduced. Once these tones were obtained and modeled to predict the amount of theoretical fat in the samples, and once the prediction was evaluated, the theoretical quantity of water and protein were also determined. The analysis of the results have shown the technique capability to quantify lean and fat tissue, since they have been correlated with the total amount of fat, water and proteins in the samples, although the prediction is not so accurate for salmon samples as a consequence of the presence of polyunsaturated fats, which can not be captured in the images by not forming solid structures.

Keywords: segmentation image technique, fat, lean, pork loin, salmon.

1. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria desempeña un papel clave en el conjunto de los sectores económicos, ocupando un primer lugar en la rama industrial. Está continuamente innovándose, reinventándose y adaptándose a las nuevas tecnologías y costumbres, así como a las nuevas exigencias de los consumidores. De esta forma, la seguridad alimentaria se ha convertido en un aspecto muy importante en un mundo globalizado donde en la mayoría de las ocasiones priman los beneficios económicos en pos de la calidad e inocuidad alimentaria. Un claro ejemplo de esto, son las últimas crisis alimentarias que han tenido lugar a nivel mundial. La inestabilidad económica presente en los últimos años unida al interés de garantizar una alimentación adecuada, hace que sea una necesidad aumentar el rendimiento de la producción y con ello mejorar el aprovechamiento de las materias primas para así ofrecer al mercado productos con una calidad higiénica, nutricional y organoléptica acorde a la demandada (Huang, 2001).

Para garantizar la sostenibilidad del sistema alimentario, es de notable importancia el campo de desarrollo relativo a técnicas de análisis y control de calidad antes, durante y después del proceso productivo. Así pues, uno de los objetivos ha sido el desarrollo de nuevos métodos de control de calidad que mejore a los tradicionales en velocidad, precisión y exactitud (Caldwell, 2013). En este sentido, se prefieren técnicas rápidas, no destructivas, predominantemente con capacidad de trabajo en continuo a pie de línea. La velocidad de inspección es una gran ventaja dado que permite alcanzar una alta tasa de muestras analizadas por unidad de tiempo, permitiendo recoger información de lotes enteros, muestra por muestra. El hecho de obtener información de manera continua de cada muestra permite aumentar la precisión en las operaciones de inspección, mejorando posteriormente los trabajos automáticos como la clasificación, el corte en lonchas, el envasado, el etiquetado, el almacenamiento, etc. En este sentido, una de las áreas más productivas dentro del control y monitoreo no destructivo de productos frescos ha sido el análisis de imágenes.

Algunas de las técnicas de imagen más empleadas se basan en imágenes visibles en 2D, imágenes espectrales, imágenes de rayos X entre otras. Son numerosos los estudios realizados en los que el análisis de imagen ha tenido un papel relevante. Entre estos, y más concretamente realizados sobre productos cárnicos y de la pesca, encontramos aquellos en los que se han clasificado jamones, evaluado la sensibilidad de canales de vacuno, controlado la frescura de dorada a partir de cambios en el color de las branquias y los ojos, detectado automáticamente espinas de pescado, etc., (Dowlati et al., 2013; Ivorra et al., 2016; Jackman et al., 2012; Konda Naganathan et al., 2015; Mery et al., 2011).

El análisis de imagen visible es una de las técnicas más accesibles, de las que se ha reportado un amplio número de estudios que han tenido resultados exitosos en diversos ámbitos de investigación en relación con la versatilidad y las menores posibilidades de costes. En esta técnica se incluye el análisis por segmentación de imágenes digitales la cual se basa en analizar la matriz de píxeles que conforman la imagen, determinando sus

colores y tonos, dependiendo del espacio de color utilizado y la cantidad de información de cada imagen. A partir de esta información se localizan áreas, circunferencias, contornos, perímetros y formas, las cuales corresponden a umbrales de color determinados, logrando de esta manera dividir la matriz en segmentos en función de la información requerida. Esta técnica ha dado buenos resultados en funciones como la determinación del tamaño y distribución de burbujas en pan durante la fermentación y horneado (Lassoued et al., 2007; Pérez-Nieto et al., 2010).

El desarrollo de estas herramientas no invasivas enfocadas a la clasificación, pero en la actualidad y cada vez más a la capacidad de cuantificar, está de acuerdo con la tendencia de la normativa alimentaria reciente (UE) nº 1169/2011 del Parlamento Europeo sobre la información alimentaria suministrada a los consumidores, lo que está obligando al productor de alimentos, en la mayoría de los alimentos procesados, a la inclusión en el etiquetado el denominado etiquetado nutricional. Así pues en el presente estudio se pretende, mediante el uso de la técnica de segmentación de imagen como herramienta de análisis no destructiva, la inspección de tejidos de alimentos frescos loncheados de diferente naturaleza (lomo de cerdo y salmón), haciendo hincapié en la cuantificación de la fracción de grasa y agua de éstas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia Prima

Para la realización del presente estudio se utilizaron 18 filetes de lomo de cerdo y 10 filetes transversales de salmón. Toda la materia prima fue adquirida en el mismo supermercado local, empleándose distintos lotes de producto de sucesivos días. Ambos casos, carne y pescado, procedían de bandejas envasadas en atmósfera modificada, preparadas con 6 - 5 piezas cortadas según cada caso con un espesor aproximado de $1\pm 0,5$ cm.

2.2 Determinación de la cantidad de agua, grasa y proteína mediante la técnica de procesado de imagen por segmentación

Para la determinación teórica, mediante la técnica de imagen de segmentación, se siguió el protocolo mostrado en la figura 1. Una vez obtenidas las muestras se capturaron imágenes en color de éstas, las cuales fueron posteriormente convertidas a escala de grises y segmentadas. Por otro lado, las muestras fueron analizadas fisicoquímicamente, determinándose la cantidad de agua y de grasa mediante métodos normalizados.

Mediante el empleo de los datos reales de grasa y los obtenidos de la segmentación se procedió a realizar la umbralización de estos últimos con la finalidad de buscar el tono de gris óptimo a partir del cual la imagen resulte segmentada en grasa y magro. Una vez localizado el tono de gris más favorable, se obtuvo la proporción de imagen que representa grasa.

Después de determinar teóricamente ésta, se realizó el cálculo teórico de la cantidad de agua y proteína. Finalmente se evaluó el error al comparar estos valores con los determinados en el laboratorio.

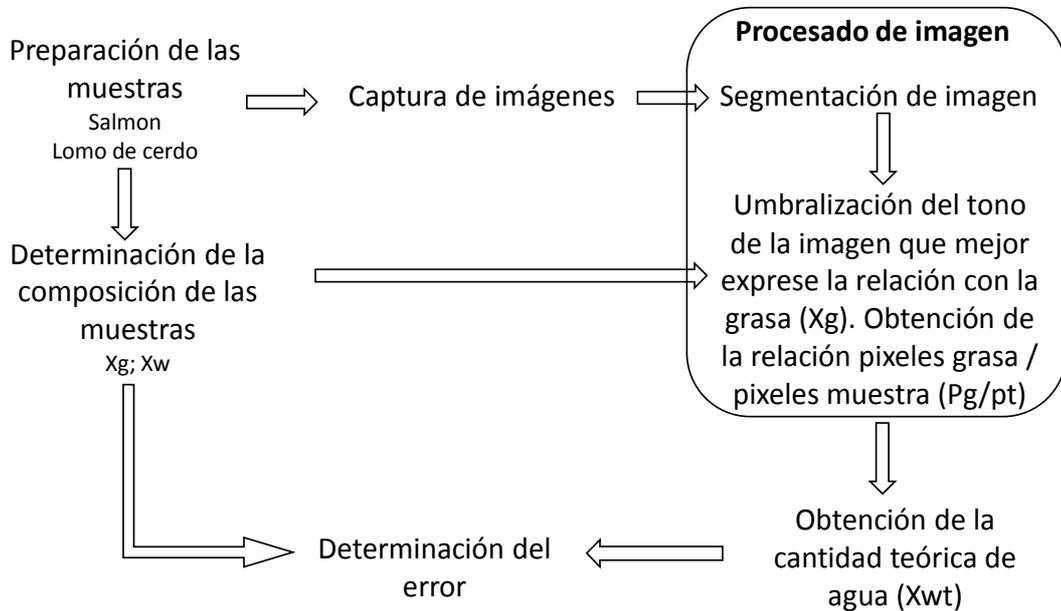


FIGURA 1. Esquema del proceso seguido para la determinación de la cantidad de agua, grasa y proteína mediante la técnica de tratamiento de imagen por segmentación.

2.2.1 CAPTURA DE IMAGEN

La caracterización del tejido graso y magro se llevó a cabo mediante la técnica de segmentación de imagen 2D. El sistema está formado por una cámara (HD webcam C615 (Logitech)) preparada para la toma de imágenes y un fondo negro con el objetivo de evitar posibles reflejos. Como iluminante se utilizó una lámpara LED (lamp IP20 5W). La cámara fue situada a una distancia constante de 40cm de la muestra a fin de conseguir siempre el mismo tamaño de imagen. Los tamaños de imagen así conseguidos fueron de 3264x2448 píxeles en formato JPEG.

2.2.2 PROCESADO DE IMAGEN

Una vez obtenidas las imágenes se procedió a su procesamiento para la determinación teórica de la grasa. Para ello, y con la finalidad de reducir el volumen de información de cada una de ellas y así hacer más ágil su procesamiento, cada píxel de las imágenes tomada en formato RGB (Red, Green and Blue), fue transformado a 8 bits (escala de grises de 255 tonos) donde el tono 0 expresa la totalidad del negro y el tono 255 la del blanco.

A fin de evaluar el tono de gris a partir del cual la imagen resulte segmentada en grasa y magro (figura 2), y esta expresión pueda ser utilizada para obtener teóricamente el contenido en grasa y agua de las

muestras, se llevó a cabo una umbralización. Así los píxeles con valores superiores al tono umbral, los cuales se extienden hacia el blanco, se clasificaron como grasa. Esta umbralización se repitió para varios tonos de grises en todas las muestras. Para evaluar cuál de todas las umbralizaciones fue la idónea, primero se realizó el cociente entre los píxeles definidos como grasa (P_g) y los obtenidos con el sumatorio de todos los píxeles de la muestra (P_t). Posteriormente para dos tercios de las muestras, tanto de lomo de cerdo como de salmón, la relación (P_g/P_t) se correlacionó con la cantidad real de grasa de las muestras (X_g), de forma que la correlación con mejor coeficiente sería aquella que muestra el tono de gris umbral idóneo para diferenciar entre grasa y magro. El tercio de muestras restantes se utilizó para comprobar la bondad de la correlación, obteniéndose la cantidad teórica de grasa (X_{gt}) de éstas mediante la ecuación obtenida a través de los dos tercios de las muestras que mostraron mejor ajuste. La evaluación de la bondad se realizó mediante la correlación entre los valores teóricos (X_{gt}) y los reales (X_g).

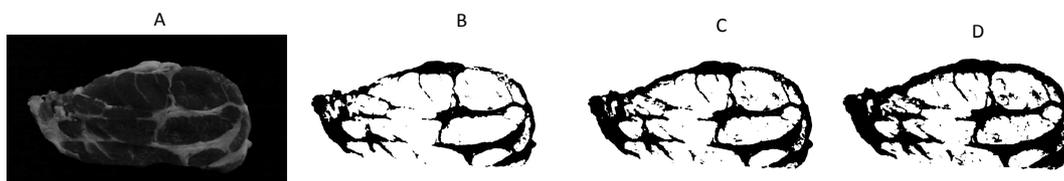


FIGURA 2. Segmentado de una loncha de lomo. A: Imagen original procesada a 8 bits. B: Imagen segmentada a tono de gris 44. C: Imagen segmentada a tono de gris 35. D: Imagen segmentada a tono de gris 30.

2.2.3 OBTENCIÓN DE LA CANTIDAD TEÓRICA DE AGUA Y PROTEÍNA

La obtención de la cantidad teórica de agua en las muestras (X_{wt}) se consiguió aplicando la ecuación 1, donde X_{gt} es la grasa teórica obtenida por imagen, X_{wt} el agua teórica a calcular y X_{pt} la proteína teórica la cual se dedujo a partir de la relación teórica 0,27 existente entre proteína y agua (ecuación 2) según la base de datos Bedca.net. La bondad de la predicción obtenida se realizó mediante la correlación entre la cantidad de agua real (X_w), determinada mediante análisis físico-químico, y la predicha (X_{wt}).

Con la finalidad de evaluar cuál es el error que se comete al aplicar la relación teórica 0,27 en ambas muestras, la ecuación 1 se volvió a aplicar pero en este caso utilizando los valores de grasa y agua medidos en laboratorio, obteniendo así la cantidad de proteína y a partir de ésta la relación existente con el agua. De esta forma, con los valores reales del ratio proteína / agua se aplicó nuevamente la ecuación 1 y utilizando una vez más los valores teóricos de grasa por imagen, se obtuvieron los nuevos valores de agua (X_{wt2}). Finalmente, a modo de evaluar el error cometido se calcularon las diferencias existentes en cada una de las fracciones entre el valor analizado por el método fisicoquímico y el calculado mediante la técnica de imagen, expresado en 100 gramos de muestra.

$$X_{gt} + X_{wt} + X_{pt} = 1 \quad (\text{ec. 1})$$

Donde: X_{gt} = grasa teórica; X_{wt} = agua teórica; X_{pt} = proteína teórica

$$\frac{X_p}{X_w} = 0,27 \quad (\text{ec. 2})$$

Donde: X_p = proteína teórica; X_w = agua teórica; 0,27 = valor bibliográfico de la relación proteína / agua.

2.3 Análisis Físico-Químico

2.3.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

La humedad se determinó mediante el método de la AOAC 950.46 (1997). Los pesasustancias con arena de mar y varilla de vidrio se secaron en estufa (Service Binder) a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas. A continuación, se atemperaron en un desecador y se pesaron en una balanza analítica (m_0). Se añadieron 10g de muestra triturada y se pesó de nuevo el pesasustancias con varilla, arena y muestra (m_1). Con ayuda de la varilla de vidrio, se homogenizó la muestra con la arena de mar, favoreciéndose la salida de agua del producto. Las muestras se mantuvieron en estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas, período tras el cual, los pesasustancias se atemperaron en desecador y se tomó el peso de éstos (m_2). El porcentaje de humedad expresado como gramos de agua por 100g de muestra, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad } (X_w) = \frac{(m_1 + m_0) - m_2}{m_1} \quad (\text{ec. 3})$$

Donde: m_0 = masa del pesasustancias con arena y varilla (g); m_1 = masa del pesasustancias con arena y varilla antes de la desecación (g); m_2 = masa del pesasustancias con arena y varilla después de la desecación (g)

2.3.2 DETERMINACIÓN DE GRASA

El contenido en grasa se determinó de acuerdo con el método, 991.36 de la (AOAC, 1997). Para el análisis se utilizaron las muestras previamente secadas para la determinación de la humedad. La extracción de la grasa de las muestras se llevó a cabo mediante un Soxhlet utilizando el equipo (Foss Soxtec TM 2055) y 90mL de éter de petróleo como disolvente. Las muestras previamente secadas se depositaron en las cubetas del equipo (que también habían sido anteriormente pesadas vacías) y se inició la extracción. Cuando finalizó la última fase, las cubetas se introdujeron en la estufa a 103°C durante 30 minutos para eliminar los restos de disolvente, después se depositaron en el desecador hasta conseguir un peso constante y se pesaron en la báscula. Para obtener el porcentaje de grasa en la muestra se igualó el peso inicial a 1g con el objetivo de tener unos resultados

comparativos en los que se expresase los gramos de grasa por cada gramo de muestra. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$P_2 = P_1 - P_0 \quad (\text{ec. 4})$$

Donde: P_2 = gramos de grasa en la muestra; P_1 = peso de la cubeta + grasa; P_0 = peso de la cubeta vacía

$$Xg = \frac{P_2}{P_i} \quad (\text{ec. 5})$$

Donde: Xg = gramos de grasa en 1g de muestra; P_i = gramos de muestra inicial.

2.4 Análisis Estadísticos

La correlación existente entre los valores procedentes de la técnica de segmentación de imagen y los obtenidos mediante los análisis físico-químicos, se ha evaluado mediante la realización de regresiones lineales con un nivel de significación del 95%. Para ello se ha utilizado el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultado del Análisis mediante la Técnica de Segmentación de Imagen

Una vez obtenida la imagen y transformada a 8 bits se procedió al estudio de segmentación por umbralización buscando el tono de gris a partir del cual los píxeles se pueden considerar que muestran tejido graso. En la figura 3, a modo de ejemplo, se muestra una loncha de lomo de cerdo y la representación gráfica de los tonos de grises para una línea de píxeles (línea amarilla). En este caso, al definir un tono umbral (línea roja discontinua), todos los píxeles superiores a este se considerarían que representan tejido graso. Por consiguiente, si se aplica no solo a la línea de píxeles, sino a los píxeles de toda la loncha, se permite definir el tejido graso de ésta y de igual forma sucede con el de resto de lonchas. Este mismo procesado se repitió para varios valores de tono de grises, obteniéndose para cada uno de ellos la cantidad de píxeles que representan tejido graso (P_g).

Una vez obtenidos los valores de P_g para cada tono estudiado, estos fueron relacionados con los píxeles totales de cada loncha (P_t) obteniéndose así la relación píxeles graso por píxeles muestra (P_g/P_t). Este cociente finalmente fue correlacionado con los valores de grasa determinados en el laboratorio (X_g) mediante una regresión lineal.

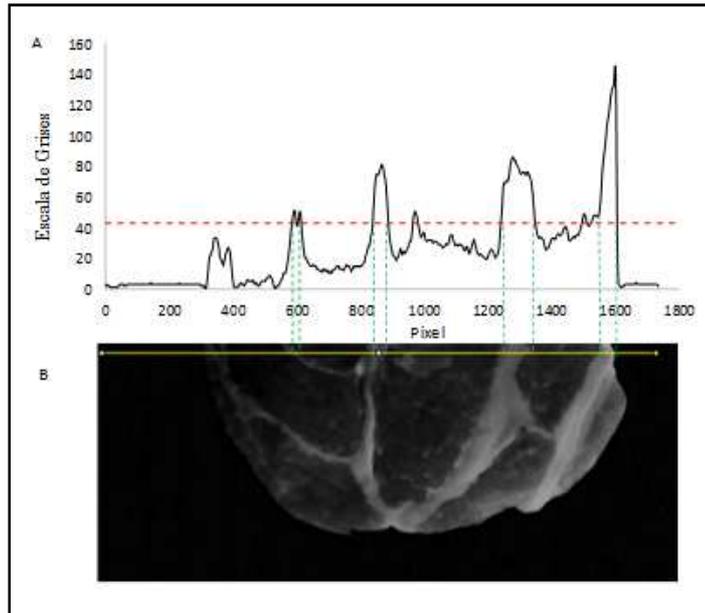


FIGURA 3. Ejemplo de tono de gris umbral definido a partir del cual el resto de tonos se consideran que representan tejido graso.

En la figura 4 se muestran los valores del coeficiente de correlación (R^2) de los diferentes tonos de gris estudiados en la umbralización. Como se puede observar, cada tipo de muestra presentó un tono idóneo (con mayor R^2) a partir del cual el resto se pudo considerar tejido graso. En el caso del lomo de cerdo, este valor se alcanzó para el tono 43, mientras que en el del salmón fue en el 35. El menor valor del ajuste obtenido en el caso del salmón pudo ser debido a la grasa poliinsaturada (líquida) que presenta éste, la cual supone entre un 27 a 45% del total de la grasa (Bedca.net.; Foodcomp.dk; USDA, 2016, Gov.uk). Esta grasa quedaría reflejada en el análisis físico-químico, pero no en el de imagen.

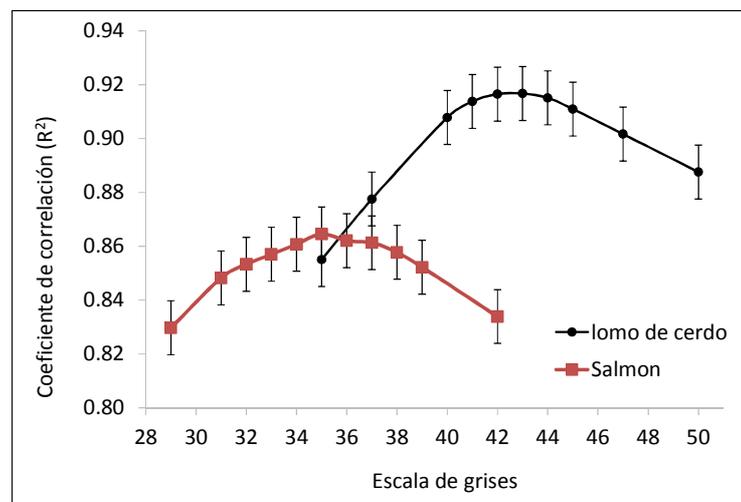


FIGURA 4. Representación gráfica de la correlación entre la escala de grises y los coeficientes de correlación de los píxeles caracterizados como grasa.

Una vez obtenidos los píxeles que mejor representan el tejido graso para cada tipo de muestra y por tanto, expresada la ecuación matemática que relaciona en cociente Pg/Pt y Xg (figura 5), se procedió a predecir la grasa (Xgt) del tercio de muestras que aún no habían sido utilizadas en el estudio y así comprobar la bondad de la correlación de los datos.

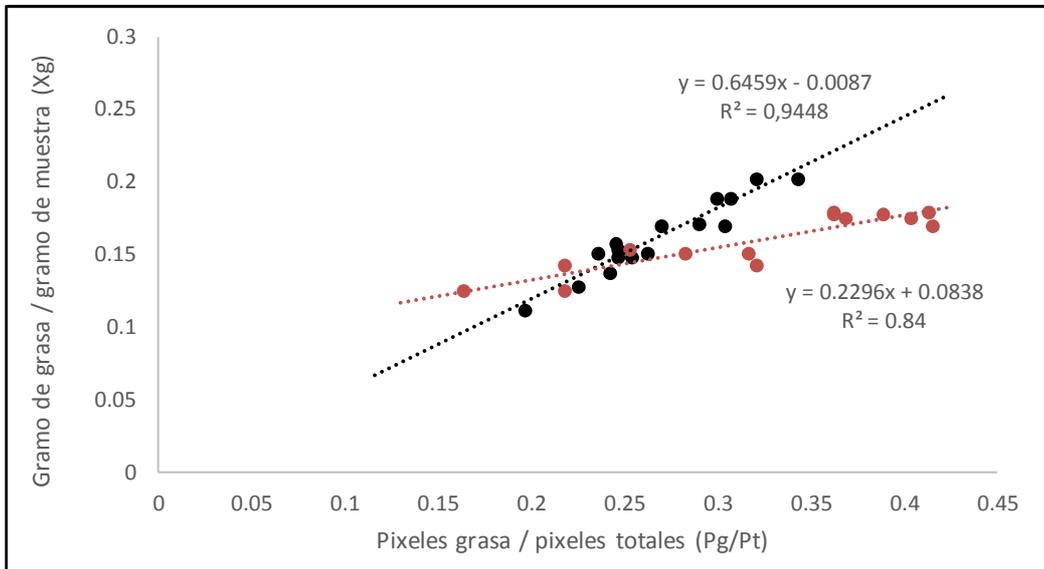


FIGURA 5. Relación entre la cantidad de grasa de las muestras (Xg = gramos de grasa/gramos de muestra) y la existente para la relación entre los píxeles grasa y los píxeles totales (Pg/Pt).

Finalmente, conocido el tono umbral que mejor se ajusta para la caracterización de la grasa en cada materia prima, se volvió a realizar el mismo cálculo para hallar la cantidad de grasa real en base a la técnica de segmentación de imagen. El cociente del número de píxeles de cada tono entre el área total del tramo seleccionado, da lugar al área que representa cada tono y el sumatorio de todas estas áreas a partir del tono umbral hasta el 255 que representa el blanco puro, permite obtener la cantidad de grasa por cara de filete, por lo que se ha de realizar un promedio de los resultados de ambas caras a fin de definir la grasa total por muestra. Para comprobar en qué medida funciona el método utilizado, se muestra la figura 6, donde se compararon los datos de correlación resultantes entre los valores reales de grasa (Xg) medidos con los análisis físico-químicos y los teóricos (Xgt) calculados mediante la técnica de imagen.

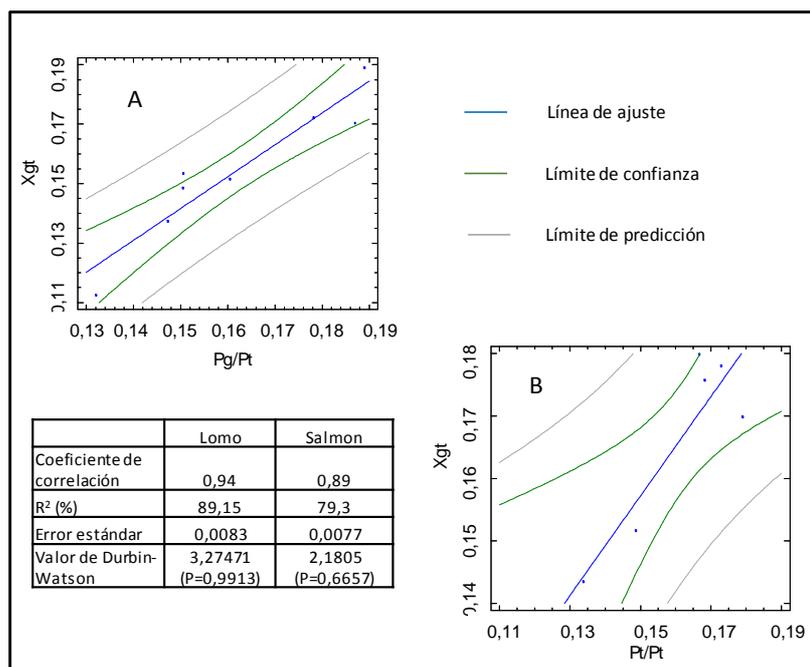


FIGURA 6. Resultado del estudio de correlación entre los valores reales de grasa (Xg) y los teóricos (Xgt) para las muestras de lomo de cerdo (A) y de salmón (B).

Tanto el coeficiente de correlación (r) como el coeficiente de determinación (R^2) son medidas estadísticas de la bondad del ajuste de la recta de regresión entre las variables X e Y. Cuando todos los puntos se encuentran sobre la recta de regresión estimada, el ajuste es perfecto y $r=R^2=1$. Así ambos presentan un ajuste que podría considerarse bueno, dado el volumen de muestras analizadas, siendo este mejor para las muestras de lomo de cerdo que para las de salmón, como anteriormente se ha comentado a causa de la presencia de grasa poliinsaturada, con valores de R^2 de 0,94 y 0,89 respectivamente.

El error estándar representa la distancia estándar que separa a los valores de los datos de la línea de regresión ajustada, utilizándose para evaluar la forma en que la ecuación de regresión predice la respuesta. De este modo, cuanto más bajo es el valor, mejor es la predicción. Además el error estándar es interesante dado que viene dado en las mismas unidades que la magnitud que se estudia. Así para ambos tipos de muestras, el valor de error obtenido no fue significativo, si bien fue ligeramente superior para las muestras de lomo de cerdo. En ambas gráficas la mayoría de los puntos se encuentran dentro del intervalo de confianza, lo que puede indicar buena precisión en la técnica. El límite de predicción por su parte establece un rango de posibilidades para futuras muestras, que se traduce en mejor pronóstico cuanto menor sea dicho intervalo, como es en el caso del lomo.

El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en la regresión lineal. Con ello se pretende ver si los valores presentan algún tipo de dependencia en cuanto al orden de obtención. Si fuera así se estaría incumpliendo una de las condiciones del modelo de regresión lineal y

cuando esto sucede, las estimaciones de los parámetros no tienen los criterios de calidad, dando lugar a variaciones en las estimaciones. El valor estadístico varía de 0 a 4, siendo 2 cuando no hay autocorrelación entre los residuos, de esta forma, cuando el valor de D se acerca a 0, la autocorrelación es positiva, mientras que los valores por encima de 2 indican autocorrelación negativa. La correlación residual viene dada por el valor de P, siendo $P=0$ en caso de no haber y $P>0$ si ésta es positiva (Soporte Minitab 17). Atendiendo a los valores recopilados en la tabla, se observa que ambas materias primas obtienen prácticamente los mismos resultados, ya que apenas existe autocorrelación negativa pero sí se observa correlación residual positiva, por lo que los datos cumplen las condiciones del modelo lineal dando así resultados fiables.

3.2 Determinación de la cantidad de agua y proteína a partir de la información obtenida en análisis de imagen

Una vez obtenida la cantidad teórica de grasa (X_{gt}) de las muestras y mediante la ecuación 1 se determinó la cantidad teórica de agua (X_{wt}). Para ello se estableció que la relación proteína / agua (ecuación 2) tiene un valor promedio de 0,27 (Bedca.net). La exactitud de la predicción se evaluó correlacionando la cantidad teórica de agua para cada muestra (X_{wt}) con el agua real de éstas, procedente de los análisis físico-químicos (X_w) (figura 7).

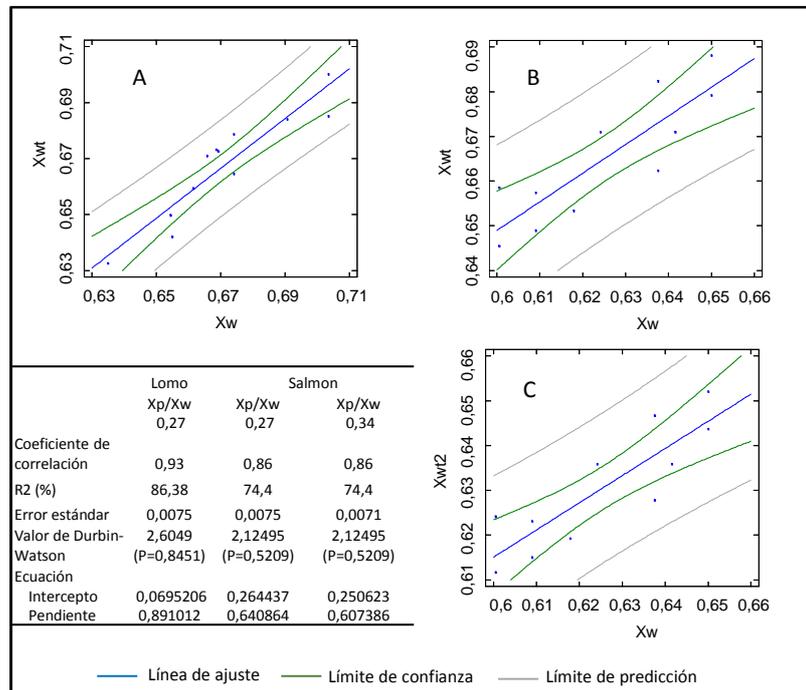


FIGURA 7. Graficas de regresión lineal y tabla resumen con los resultados de correlación entre el agua medida (X_w) y la calculada aplicando la ecuación $X_w+X_p+X_g=1$, suponiendo el ratio teórico entre proteína y agua (X_p/X_w) de 0,27 (X_{wt}) y de 0,34 (X_{wt2}) para las muestras de lomo de cerdo (A) y de salmón (B y C), respectivamente.

Como se puede apreciar en la figura 7, los resultados estadísticos de la regresión lineal resumen la evaluación de la técnica como un método para la caracterización del agua en las dos materias primas.

Los coeficientes de correlación (r) y (R^2) muestran como la bondad del ajuste de la recta de regresión fue mejor para las muestras de lomo de cerdo, pese a que el error estándar fue igual en ambas muestras. Observando las gráficas, se aprecia como la dispersión de los puntos en el modelo del salmón es más acusada, mientras que en la de lomo sigue la línea de ajuste y plantea una buena correlación. Esta apreciación es debida a la magnitud en la que varían los valores estudiados. Si observamos en el caso del lomo, los datos varían entre 0,63 y 0,71, es decir 8 unidades, mientras que en el caso del salmón solo 5 unidades. Así una pequeña variación en la predicción supone un peor ajuste en el caso del salmón, si bien la distancia del valor predicho a la línea de correlación puede ser la misma en ambos casos.

Para ambas muestras, gran parte de los valores predichos se situaron dentro del intervalo de confianza y en todos los casos dentro de los límites de predicción.

En cuanto al Test de Durbin-Watson cuyos resultados se expresan en la tabla, tanto para el lomo de cerdo como para el salmón se obtuvieron valores similares, cumplen las condiciones del modelo lineal aunque con una ligera correlación residual positiva.

Con la finalidad de evaluar la incidencia que pudiese tener el utilizar el valor teórico de 0,27 para el ratio proteína / agua (X_w/X_p), se decidió calcular también el ratio real para ambas materias primas. Para ello se aplicó la ecuación 1 con los valores reales de agua y grasa y así determinar los datos de proteína, que una vez obtenidos se aplican a su vez en la ecuación 2. De esta forma se determinó que el valor del ratio X_w/X_p para las muestras de lomo de cerdo es de 0,27, mientras que para el salmón es de 0,34, valor superior al observado en las bases de datos consultadas (Bedca.net.; Foodcomp.dk; USDA, 2016, Gov.uk). Como se observa en la figura 7, para las muestras de salmón, cuando se comparan los valores de correlación obtenidos con el valor de relación 0,34 y los obtenidos con el valor 0,27 se aprecia que presentan similitud en la linealidad, si bien se reduce el error estándar lo que implica una menor distancia de valor predicho con la recta de correlación y por tanto mejor ajuste.

Finalmente, una vez obtenidos los valores teóricos de grasa (X_g) y agua (X_w) se calculó el de proteína (X_p) a partir de la ecuación 3. Tras la determinación de estos datos se volvió a calcularla cantidad de agua de las muestras empleando nuevamente la ecuación 1, pero esta vez con los datos teóricos de grasa (X_{gt}) y los de proteína obtenidos. Por último, y a fin de evaluar el error cometido se calcularon las diferencias existentes en cada una de las fracciones entre el valor analizado por el método físico-químico y el calculado mediante la técnica de imagen, expresado en 100 gramos de muestra (figura 8).

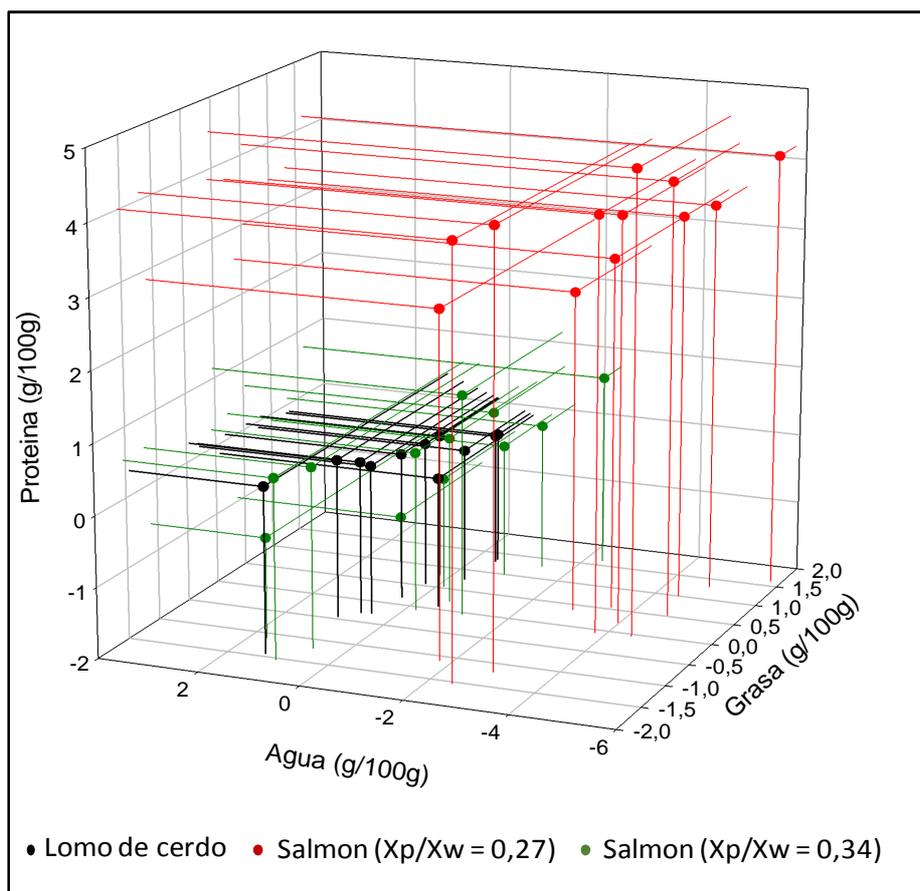


FIGURA 8. Diferencias entre los valores reales y los obtenidos con la predicción para el contenido en grasa, agua y proteína por cada 100 gramos de muestra.

Como se aprecia en la figura 8, el error cometido para la grasa fue similar en ambas muestras, dado que el error estándar de la correlación también lo fue (figura 6) y además, el valor de R^2 fue lo suficientemente bueno como para que la predicción también lo fuera. En cambio, las diferencias entre ambas muestras sí se apreciaron en el contenido en agua y proteína cuando se empleó el ratio X_w/X_p igual a 0,27 para el cálculo en las dos materias primas. En el caso del lomo de cerdo se puede observar que presentó menor error en el contenido en agua y proteína, al igual que cuando se utilizó el valor del ratio de 0,34 para las muestras de salmón. No obstante, estos resultados se podrían inicialmente asumir en un etiquetado aproximado.

De este modo, atendiendo a las figuras 9 y 10 que muestran un ejemplo para cada caso de cómo podría ser el etiquetado con los valores de grasa, agua y proteína anteriormente obtenidos, y que representa la posible mejora de la información hacia el consumidor a través del procesado de las lonchas por imagen. Las etiquetas mostradas están elaboradas con la información obtenida para la loncha que presentó mayor diferencia con los valores reales medidos en laboratorio. En la figura 9 se observa a la izquierda el etiquetado utilizando los valores analizados en el laboratorio, mientras que a la derecha se encuentran los obtenidos mediante la técnica de imagen. En la figura 10

se muestran las etiquetas para las muestras de salmón, si bien en este caso, a parte de la etiqueta con los valores de análisis en laboratorio y los obtenidos mediante la relación X_p/X_g igual a 0,27 (etiqueta central), también se muestran para el valor de 0,34 (etiqueta de la derecha).

Por otro lado, como se explica en el caso del lomo de cerdo, la diferencia en el valor calórico, calculado teóricamente a partir del aporte calórico de la grasa (9 Kcal/g) y proteína (4 Kcal/g) (Carbajal, 2013), fue mínima, siendo de 209 Kcal y 198 Kcal respectivamente, y fundamentalmente aportada por la diferencia de un gramo y medio de grasa en los 100 gramos de lomo de cerdo.



FIGURA 9. Etiquetadas elaboradas a partir de los valores de grasa y agua obtenidos en el laboratorio de análisis físico-químicos (izquierda) y mediante la técnica de imagen (derecha) para muestras de lomo de cerdo.

En el caso del salmón, las diferencias fueron ligeramente mayores, sobre todo en el etiquetado que se realiza empleando los valores obtenidos con la relación bibliográfica $X_w/X_p = 0,27$. De esta forma, se pasa de un valor calórico de 250 Kcal para el etiquetado, a partir de los resultados determinados en el laboratorio, a 218 Kcal cuando los valores se obtienen empleando la relación 0,27 y de 232 Kcal cuando se hace utilizando los datos a partir de la relación 0,34. Esta variación supone, para ambas predicciones, no haber predicho 1,6 gramos de grasa por cada 100 gramos de salmón y un mayor desequilibrio en el balance proteína / agua para las muestras calculadas con el valor de 0,27.



FIGURA 10. Etiquetadas elaboradas a partir de los valores de grasa y agua obtenidos en el laboratorio de análisis físico-químicos (izquierda) y mediante la técnica de imagen empleando el ratio agua/proteína = 0,27 (central) y 0,34 (derecha) para muestras de salmón.

4. CONCLUSIÓN

La aplicación de la técnica de tratamiento de imagen por segmentación se ha mostrado como una herramienta válida para la cuantificación de la cantidad de tejido magro y graso existente en muestras loncheadas de lomo de cerdo y de salmón, los cuales se han podido correlacionar con la cantidad de grasa, agua y proteínas de las muestras.

La determinación de la grasa del salmón, a partir de la cuantificación de tejido graso obtenido por la técnica de imagen, conlleva un mayor error que la realizada para el lomo de cerdo como consecuencia de la presencia de grasas poliinsaturadas las cuales no pueden ser registradas mediante la técnica de imagen. Aun así, el error cometido en el peor de los casos es inferior al 2%.

La técnica de segmentación de imagen se ha mostrado más eficaz cuanto más regular y mayor homogeneidad presentaba el perfil transversal de las muestras, lo que ha sido facilitado con la captura de imágenes en ambas caras de las mismas.

Estudios con mayor número de muestras y otras técnicas de tratamiento de imagen pueden ser incorporados a este proyecto a fin de poder conseguir mejores resultados, siempre que respeten el empleo de equipos básicos y técnicas de procesado poco complejas que permitan poder desarrollar metodologías de análisis pensadas para ser incorporadas en línea por empresas o utilizadas por consumidores.

5. REFERENCIAS

- A.O.A.C., Association of Official Analytical Chemist (1997). Official Methods of Analysis, 16th. Ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, Virginia, USA.
- Bedca.net. Base de datos Española de Composición de Alimentos. Dirección URL: <<http://www.bedca.net>> [Consulta: 07 Dic. 2016].
- Caldwell, D., Robotics and Automation in the Food Industry (2013), Woodhead Publishing Ltd., AbingtonHall, Cambridge CB21 6AH, UK.
- Carvajal, A. (2013). Manual de Nutrición y Dietética. Departamento de Nutrición Facultad de Farmacia Universidad Complutense de Madrid. Pág. 34.
- Dowlati, M., Mohtasebi, S. S., Omid, M., Razavi, S. H., Jamzad, M., & De La Guardia, M. (2013). Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. *Journal of Food Engineering*, 119, 277–287.
- FoodComp.dk. Danish Food Composition Databank - ed. 7.01. Technical University of Denmark (DTU). Dirección URL: <<http://www.frida.fooddata.dk>> [Consulta: 07 Dic. 2016].
- Gov.uk. Composition of foods integrated dataset (CoFID). McCance and Widdowson's composition of foods integrated dataset. Dirección URL: <<http://www.food.gov.uk>> [Consulta: 07 Dic. 2016].
- Huang, Y. Automation for food engineering: food quality quantization and process control. CRC series in contemporary food science, (2001).
- Ivorra, E., Verdú, S., Sánchez, A. J., Grau, R., & Barat, J. M. (2016). Predicting Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) Freshness by a Novel Combined Technique of 3D Imaging and SW-NIR Spectral Analysis. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(10).
- Jackman, P., Sun, D.-W., & Elmasry, G. (2012). Robust colour calibration of an imaging system using a colour space transform and advanced regression modelling. *Meat Science*, 91(4), 402–7.
- Konda Naganathan, G., Cluff, K., Samal, A., Calkins, C. R., Jones, D. D., Lorenzen, C. L., & Subbiah, J. (2015). A prototype on-line AOTF hyperspectral image acquisition system for tenderness assessment of beef carcasses. *Journal of Food Engineering*, 154, 1–9.
- Lassoued, N., Babin, P., Della Valle, G., Devaux, M. F., & Réguerre, A.L. (2007). Granulometry of bread crumb grain: Contributions of 2D and 3D image analysis at different scale. *Food Research International*, 40(8), 1087–1097.
- Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., & Aguilera, J. M. (2011). Automated fish bone detection using X-ray imaging. *Journal of Food Engineering*, 105, 485–492.
- Pérez-Nieto, A., Chanona-Pérez, J. J., Farrera-Rebollo, R. R., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L., & Calderón-Domínguez, G. (2010). Image analysis of structural changes in dough during baking. *LWT - Food Science and Technology*, 43(3), 535–543.
- Soporte Minitab 17. Software informático de estadística. Dirección URL: <<http://www.support.minitab.com>> [Consulta: 15 Dic. 2016].
- USDA. United States Department of Agriculture Agricultural Research Service National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Dirección URL: <<http://www.usda.gov>> [Consulta: 07 Dic. 2016].