



Determinación del cambio de color en fritura de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando visión computacional

Determination of the color change in frying of four varieties of potato (*Solanum tuberosum*) using computer vision

José Salhuana¹; Raúl Siche²; Leidyn Abanto¹; Víctor Vásquez³

- ¹ Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa s/n Cajamarca, Perú.
² Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.
³ Escuela de Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa s/n Cajamarca, Perú.

*Autor correspondiente: jsalhuana@unc.edu.pe (J. Salhuana).

ID ORCID de los autores

J. Salhuana:  <https://orcid.org/0000-0002-1161-1929>

R. Siche:  <https://orcid.org/0000-0003-3500-4928>

L. Abanto:  <https://orcid.org/0000-0001-6981-7666>

V. Vásquez:  <https://orcid.org/0000-0003-0876-5692>

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la cinética de cambio de color en papa (*Solanum tuberosum*), variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita, en el proceso de fritura, utilizando visión computacional. Con este fin se aplicaron modelos de orden cero, primer orden y Weibull. Para el color se utilizó como índice de pardeamiento el valor de luminosidad (L). La cinética fue evaluada con imágenes cada 5 segundos, en el proceso de fritura, utilizando un sistema de visión computacional; transformándose de color espacial RGB a color $L^* a^*$ y b^* con el modelo propuesto para obtener los parámetros de color $L^* a^*$ y b^* . El valor de luminosidad (L) disminuye en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) en todas las variedades para los tres modelos matemáticos. El modelo Weibull es el más adecuado en (R^2) para describir la cinética de pardeamiento y permitiría la automatización de un proceso de fritura, que se detendría en el tiempo justo, evitando costos adicionales por uso de energía, así como producto final con mala calidad sensorial.

Palabras clave: color; luminosidad; imágenes; cinética; pardeamiento; Weibull.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the kinetics of color change in potato (*Solanum tuberosum*), variety huagalina, huayro, limeña and peruanita, in the frying process, using computer vision. For this purpose, zero order, first order and Weibull models were applied. For the color, the luminosity value (L) was used as the browning index. The kinetics were evaluated with images every 5 seconds, in the frying process, using a computer vision system; transforming from RGB spatial color to $L^* a^*$ and b^* color with the proposed model to obtain the color parameters $L^* a^*$ and b^* . The luminosity value (L) decreases in the potato frying process (*Solanum tuberosum*) in all varieties for the three mathematical models. The Weibull model is the most suitable in (R^2) to describe the kinetics of browning and it would allow the automation of a frying process, which would stop in just the right time, avoiding additional costs for energy use, as well as a final product with poor quality sensory.

Keywords: color; brightness; fries; browning; Weibull.

Recibido: 12-12-2021.
Aceptado: 08-02-2022.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La inspección del color de muestras se realiza mediante visión humana, un espectrofotómetro o colorímetro. Por lo que el color sirve como parámetro de evaluación y facilita la evaluación de los productos, haciendo que sea rápido y eficaz. Recientemente, en la industria de alimentos ha habido un rápido crecimiento, en el desarrollo y uso de métodos no invasivos para evaluar la calidad como por ejemplo el uso de visión computarizada en la industria de alimentos.

Los seres humanos buscan la simulación de sistemas biológicos por lo que con respecto a los alimentos se podría modelar las propiedades sensoriales como la forma y el color de la superficie; los cuales son los primeros parámetros evaluados visualmente por el consumidor y por ende tienen relación directa en la aceptación o rechazo del producto, incluso antes de que entre en la boca; como se observa en muchos trabajos realizados como el de Caro, Sampayo, Acevedo, Montero, & Martelo (2020), donde se determinó la influencia de la temperatura en los parámetros de transferencia de masa y color en una fritura de yuca rellena, o los de Islam, Zhang, & Fan (2019) y Mojaharul, Zhang, Bhandari, & Guo (2019) donde evaluaron el color en frituras de soya utilizando vacío, ultrasonido y microondas; el de Sobowale, Olayanju, & Mulaba (2019) en frituras de carne de cabra; el de Al Faruq, Zhang, & Adhkari (2018) y Faruq, Zhang, & Fan (2018) en frituras de rodajas de manzana; el de Bansal, Takhar, Alvarado, & Thompson (2015) en frituras de pollo; y el de Abdollahi, Rafe, & Taghizadeh (2015) en frituras de galletas.

Así, se están utilizando nuevas herramientas para medir los cambios en las características de color en alimentos, surge así la visión computacional. Esta tecnología se proyecta como un método alternativo a la evaluación sensorial, pues es una tecnología capaz de adquirir y analizar imágenes para obtener información y para controlar procesos. Por ejemplo, Salehi (2019) utilizó los parámetros de la escala de color rojo (a^*), amarillo (b^*) y luminosidad (L^*), e intensidad de cambio de color

(ΔE) para estimar los cambios de color durante la fritura de zanahoria en función de la temperatura del aceite.

La visión computacional se relaciona con el procesamiento y análisis de imagen; posibilitando la segmentación, cuantificación de color y clasificación de elementos de interés dentro de las imágenes. Según Alva et al. (2015) el uso de la visión computacional, como medio para estimar los cambios de las características de color en alimentos, es sumamente ventajosa al remplazar las respuestas de los panelistas por imágenes tomadas a partir de una cámara de video y procesadas mediante algoritmos computacionales, ello disminuirá costo, tiempo y subjetividad de las medidas de color haciéndolas más confiables y por lo tanto estimando los cambios de color de forma científica.

En ese sentido, reviste interés la utilización de cámaras de video para la medida del color en imágenes, al ofrecer ventajas como: resolución ajustable y menor costo económico, en comparación con los instrumentos convencionales. Además, el proceso de toma de imágenes mediante visión computacional, emulando a un colorímetro, proporciona algunas ventajas evidentes sobre un colorímetro convencional, saber la posibilidad de analizar cada pixel de la superficie entera del alimento y la cuantificación de la superficie características y defectos de la misma como se aprecia en el trabajo realizado por Manjunatha, Mathews, & Patki (2019) donde investigaron la transferencia de masa y el cambio de color durante la fritura de guisantes verdes (*Pisum sativum* L.) a diferentes temperaturas de fritura que van de 120 a 180 °C utilizando visión computacional.

El objetivo del presente trabajo fue medir los parámetros colorimétricos de papa frita dentro del sistema $L^* a^*$ y b^* para diferentes intervalos de tiempo durante el proceso de fritura y determinar su pérdida de agua, utilizando variedades de papa comercial (huagalina, huayro, limeña y peruanita) y modelando su cinética.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente trabajo de investigación se siguió el siguiente plan experimental de acuerdo a los objetivos del estudio se obtuvo papas (*Solanum tuberosum*) de la variedad huagalina, huayro, peruanita y limeña procedente de la provincia de Julcán, del departamento de La Libertad, adquirido en el mercado de abasto "la Hermelinda" de la ciudad de Trujillo y que fueron transportados al Laboratorio de Ingeniería de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (Perú).

Se procedió a la elaboración de frituras de papa (*Solanum tuberosum*) para cada variedad de la siguiente manera como se manifiesta en la Figura 1. La recepción de la papa (*Solanum tuberosum*) se realizó con 05 kg por cada variedad. Se retiró lo

contaminado y con deterioro físico. Se sumergió en agua para eliminar sustancias extrañas en la superficie. El pelado se realizó manualmente con cuchillos peladores, siguiendo la forma del producto eliminando la cáscara. Se cortaron utilizando una cortadora manual con cuchillas en trozos de un espesor de 1,0 centímetro cuadrado y una longitud de 3,0 centímetros consiguiéndose una geometría de paralelepípedo para cada variedad de papa; se colocó seis trozos por experimento con sus respectivas repeticiones. Se sumergieron en una solución de ácido cítrico de 3000 ppm por un minuto con el fin de inactivar la enzima polifenoloxidasas. Se secaron en una estufa a una temperatura de 60 °C por 100 minutos para tener un aproximado de 67% en agua y así

disminuir la formación de espuma en el proceso de fritura que se realizó con inmersión en 2700 mililitros de aceite vegetal de girasol y algodón de la marca Primor Premium (Alicorp Perú SAA) en una olla freidora eléctrica de una poza broaster de acero inoxidable a 190 °C y 150 s de tiempo de fritura.

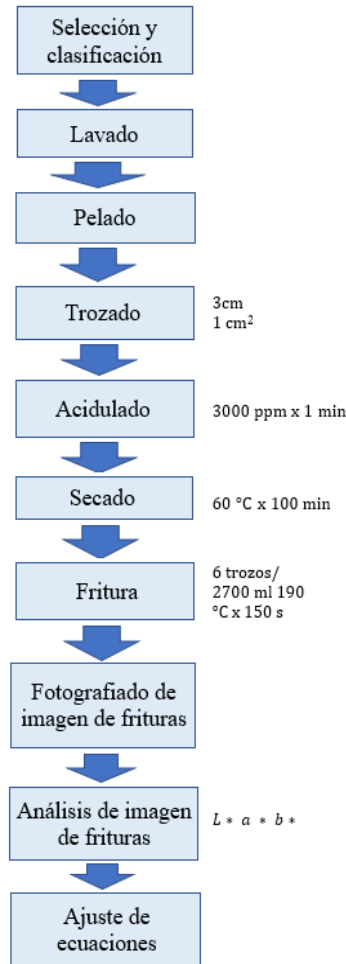


Figura 1. Esquema experimental de la elaboración de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) y tratamiento con visión computacional.

Se procedió al análisis de imagen de las frituras de papa (3 repeticiones) como se esquematiza en la Figura 2. En una cabina cerrada de madera pintada de color negro se colocó en su parte superior una cámara fotográfica Canon SX 210 en el modo por intervalos que estuvo conectada a un sistema de visión por ordenador (CVS) descrito por Quevedo et al. (2016); se procedió a colocar la olla freidora dentro de dicha cabina conteniendo los seis trozos de papa cada uno en compartimientos fijos para inmovilizar los trozos. Se realizó el fotografiado en el instante que se inicia la fritura de papas cada cinco segundos durante 150 s de tiempo de fritura y se visualizó la reacción del cambio de color capturando 31 imágenes o tomas con una resolución de 4000 por 3000 píxeles en cada experimento por variedad; siendo las imágenes del color de las papas fritas guardadas como un Tagged.

La investigación se centró en el pre-procesamiento, segmentación (cosecha) de imagen, y obtención de los parámetros colorimétricos L^* , a^* y b^* para determinar la cinética de cambio de color de la papa, utilizando el software libre ImageJ en su versión 1.45; como manifiesta Salehi (2019).

Las ecuaciones de orden cero, primer orden y de Weibull se aplicaron para ajustar los datos de cinética y luego obtener un parámetro de velocidad y un valor de parámetro constante correspondiente al cambio de color en el proceso de fritura de papa. Para saber si existe o no diferencias entre los parámetros de L^* , a^* y b^* que se obtuvieron de cada una de las cuatro ecuaciones (2), (3), (4) y (5) se compararon estadísticamente mediante el uso de t student al 5% de la significación. Los modelos se ajustaron para minimizar la asimilación de las medidas (RSS) de acuerdo con Quevedo et al. (2016).

$$(C/dt) = k \cdot C^n \dots (1)$$

$$C = C_0 + k \cdot t \dots (2)$$

$$C = C_0 \cdot e^{k \cdot t} \dots (3)$$

$$C^{1/n} = C_0^{1/n} + (n-1) \cdot k \cdot t \dots (4)$$

$$C/C_0 = e^{\alpha \cdot t \cdot \beta} \dots (5)$$

Donde C : concentración de color; t : tiempo de proceso; α : frecuencia; β : factor B.

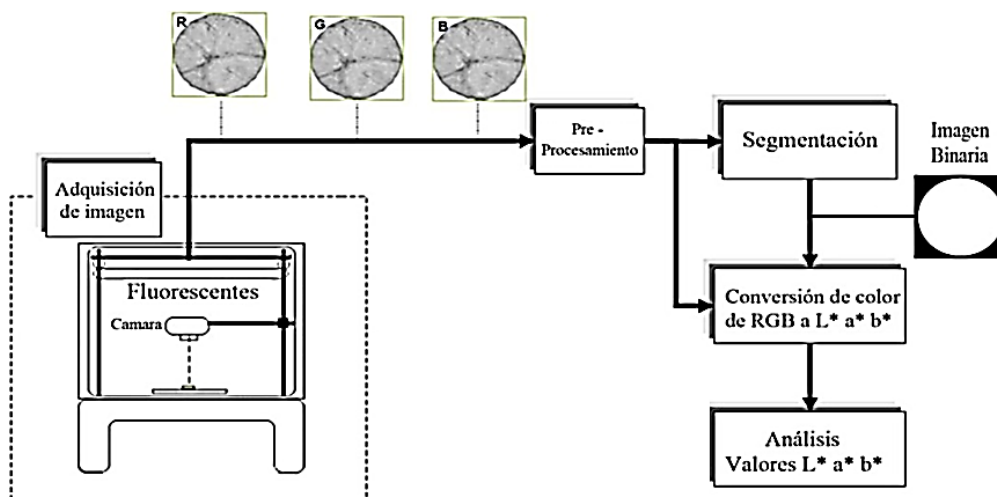


Figura 2. Esquema de proceso de análisis de imágenes para la conversión de color y valores L^* , a^* y b^* .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La luminosidad o claridad (L) de la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) disminuyeron en el tiempo de proceso de fritura con un valor promedio de 72,52 a 60,15 para huagalina de 84,24 a 65,25 para huayro de 54,990 a 45,790 para limeña y de 82,120 a 66,480 para peruanita como se muestra en la Figura 3 es decir aumentó el pardeamiento o ennegrecimiento por el incremento de la reacción de Maillard y pérdida de humedad corroborado por Salehi (2019) que obtuvo que el valor de luminosidad (L) de la zanahoria frita disminuyó durante la fritura, obteniendo al final del proceso un color intenso pardeado y por Saldaña y Huamán (2012) que obtuvieron en rodajas de yacón (*Smallantus sonchifolius*) que el valor L^* disminuyó de 65,90 a 60,80, el parámetro de color a^* aumentó de 7,30 a 17,70 y el parámetro de color b^* aumentó de 35,10 a 41,50 debido al oscurecimiento de las muestras y por Quevedo, Díaz, Caqueo, Ronceros, & Aguilera (2009) que afirmaron que el pardeamiento enzimático de pera se manifiesta con la disminución de L^* y por Alva et al. (2015) que en fritura de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad huevo de indio utilizando visión computacional, disminuyó su valor de L^* a 53,40 y aumentaron los valores de a^* a 4,90 y b^* a 32,30, entre 52,40 y 47,60.

De todos los resultados los del modelo Weibull tuvieron menor variabilidad con respecto al de orden cero y primer orden ya que tuvieron menores coeficientes de variación es decir hubo menos dispersión, se agruparon más cerca de su media con valores de 3,82 en la variedad huagalina, 2,19 en huayro, 0,0045 en limeña y 2,07 en peruanita; como se muestra en la Tabla 2; además predijeron mejor el valor de luminosidad (L) o la cinética de cambio de color, fue más representativo, dependieron mejor del tiempo con valores de luminosidad ajustados de 69,58 a 60,68 y con un coeficiente de determinación (R^2) de 82,96% en la variedad huagalina y con valores de luminosidad ajustados de 68,59 a 63,01 y con un coeficiente de determinación (R^2) de 15,80 % en la variedad huayro y con valores de luminosidad ajustados de 71,20 a 65,760 y con un coeficiente de determi-

nación (R^2) de 28,35% en la variedad peruanita y con valores de luminosidad de 54,97 a 54,96 y con un coeficiente de determinación (R^2) de 13,19% en la variedad limeña como se muestra en la Tabla 1 y Figura 4 corroborándose por lo manifestado por Quevedo et al. (2016) quien experimentó que el modelo Weibull era más adecuado para describir matemáticamente la cinética de tostado para hongos, peras, manzanas, aguacates y bananos a temperaturas de 25 y 35 °C para todos los índices de tostado utilizados y se corrobora por lo manifestado por Corradini y Peleg 2004; Derossi et al. 2010; Noshad et al.2015; Quevedo et al. (2009) que afirman que las curvas cinéticas de los alimentos se pueden describir mejor con el modelo de Weibull porque su diseño se basa en que la fracción molecular de un alimento cambia con respecto al tiempo.

La cinética de cambio de color de las variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita se representó por curvas elaboradas para los valores promedio como se pueden distinguir en la Figura 3 y en la Figura 4 para los valores ajustados del modelo de Weibull con un coeficiente de correlación de Pearson entre $-1 < r < 0$ (correlación negativa, cuando aumenta el tiempo de proceso disminuye la luminosidad o claridad (L) aumentando el pardeamiento (Rey & Ramil, 2007)). En la Figura 3 se observa que las curvas promedio son desuniformes y en la Figura 4 las curvas ajustadas del modelo Weibull tienen cierta concavidad hacia arriba y se ajustan mejor es decir que la variación de luminosidad (L) depende mejor del tiempo ya que sus coeficientes de determinación son más altos y sus coeficientes de varianza más bajos como se muestra en la Tabla 1 y 2 y como lo describe Rey & Ramil (2007), y concuerda con lo informado por Malheiros et al. (2015), quienes compararon la idoneidad de los modelos cero, primer orden y Weibull para determinar la cinética parámetros de inactivación térmica de bacteriocinas producidas por *Lactobacillus sakei* en un experimento isotérmico. Ellos concluyen que el modelo de Weibull era el mejor método que describe la cinética de inactivación.

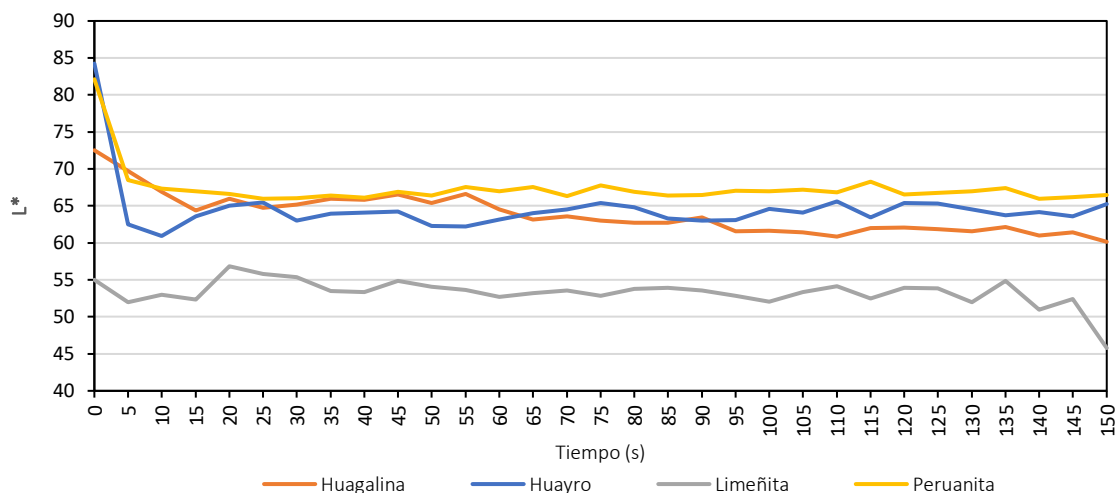


Figura 3. Curvas de luminosidad promedio en el proceso de fritura de papa variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita.

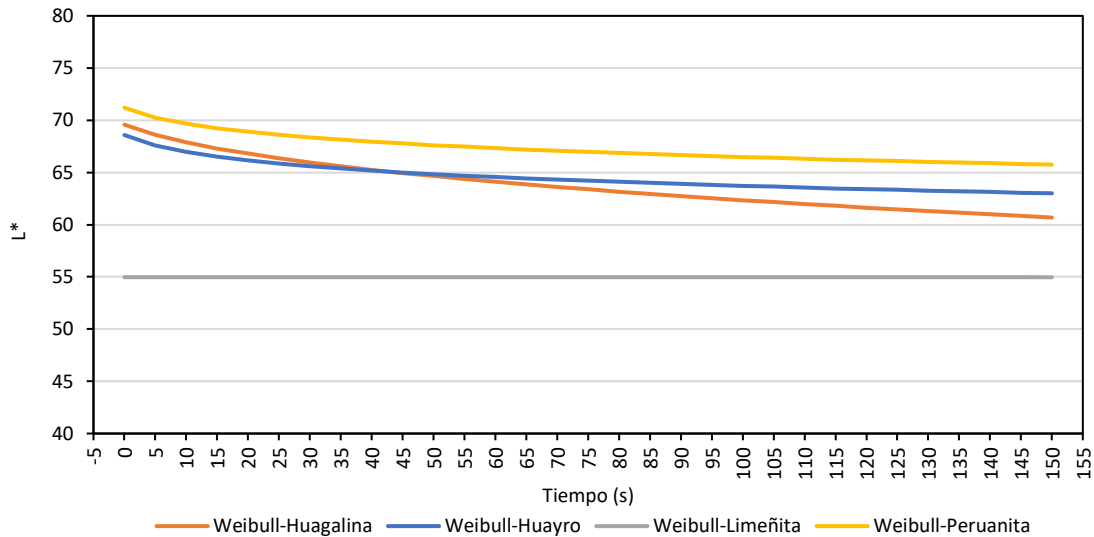


Figura 4. Curvas de luminosidad modelo weibull en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita.

Tabla 1

Coefficientes de determinación de los parámetros de luminosidad en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita para los modelos de orden cero, primer orden y Weibull

| V | R ² | | | |
|----|----------------|-------|-------|-------|
| | x | cero | 1er | W |
| Hg | - | 75,20 | 76,29 | 82,96 |
| Hy | - | 3,48 | 4,23 | 15,8 |
| Li | - | 21,31 | 21,10 | 13,19 |
| P | - | 10,21 | 11,17 | 28,35 |

Tabla 2

Coefficiente de variancia de los parámetros de luminosidad en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita para los modelos de orden cero, primer orden y Weibull

| V | CV | | | |
|----|------|-------|-------|--------|
| | x | cero | 1er | W |
| Hg | 4,32 | 6,63 | 6,5 | 3,82 |
| Hy | 5,89 | 12,44 | 12,44 | 2,19 |
| Li | 3,31 | 1,76 | 1,87 | 0,0045 |
| P | 4,17 | 9,37 | 9,26 | 2,07 |

Tabla 3

Valores α y factor β del modelo Weibull de los parámetros de luminosidad del proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita

| V | α | β |
|----|----------|---------|
| Hg | -0,041 | 0,425 |
| Hy | -0,206 | 0,101 |
| Li | -0,0002 | 0,168 |
| P | -0,143 | 0,129 |

Asimismo, Maingonnat (2014) sobre que el modelo Weibull indica que es el más adecuado para describir los cambios en la textura de la manzana bajo maceración enzimática al utilizar la correlación de Pearson; Sampedro & Fan (2014)

confirman por lo manifestado por que determinaron que Weibull fue el mejor modelo para la cinética de inactivación de la polifenoloxidasas.

Según los valores obtenidos de $\alpha = -0,04144$ y $\beta = 0,425$ para huagalina; de $\alpha = -0,20557$ y $\beta = 0,101$ para huayro; de $\alpha = -0,00022$ y $\beta = 0,16802$ para limeña; de $\alpha = -0,14263$ y $\beta = 0,1291$ para peruanita en la descripción de la cinética de color con el modelo de Weibull como se muestra en la Tabla 3, se corrobora lo manifestado por Quevedo et al. (2016) en el estudio del modelado cinético del bronceado de champiñones, pera, manzana, aguacate y plátano, donde el valor β fue de 0,57 en el caso de los hongos, 0,39 en peras, 0,29 en manzanas, 0,53 en aguacate y 0,48 en plátano concluyendo que el modelo Weibull fue el más idóneo para describir su pardeamiento cinético enzimático con respecto al modelo de primer orden ya que este modelo describe mejor los fenómenos en que la fracción de las moléculas disminuyen con el tiempo como ocurre en las reacciones de pardeamiento, donde el valor inicial α que es un parámetro que representa la frecuencia de la alteración se hace negativo ya que describe una desintegración isotérmica exponencial y su factor β es < 1 , provocando que la curva cinética tenga concavidad hacia arriba como se muestran en la Figura 4.

Algunas variedades son más oscuras que otras en el proceso de fritura es decir que algunas no se pardean mucho y otras si por lo que hay variedades más adecuadas para fritura, concluyendo que la más clara en el proceso de fritura es la papa (*Solanum tuberosum*) variedad peruanita con un valor Weibull de media (L) de 67,39, le preside huayro con 64,59, huagalina con 63,87 y limeña con 54,96 como la más oscura y se distinguen en la Figura 3 y Figura 4 donde las curvas de la variedad peruanita están sobre la de huayro, huagalina y limeña respectivamente y se corrobora en las imágenes mostradas en la Figuras 5, 6, 7 y 8.

De los valores de luminosidad (L) descritos y las imágenes observadas en las Figuras 5a, 5b, 6a, 6b,

7a, 7b, 8a y 8b se concluye que al inicio del proceso se percibe baja variabilidad del color de la papa por ser homogéneos es decir de color amarillo en todas sus zonas o de mayor luminosidad o mayor valor de L pero a medida que el proceso avanzó aumentó su variabilidad ya que el color cambio heterogéneamente, en algunas zonas se mantenía amarillo y en otras cambio a marrón o ennegrecimiento o menor valor de L al final del proceso para huagalina como cómo se observa en las Figuras 5c y 5d; mientras que el color cambio casi en su mayoría en la mitad del proceso y totalmente cambio a marrón al final del proceso para huayro como se muestra en las Figuras 6c y 6d; sin embargo el color cambio a marrón casi en su totalidad a mitad de proceso y cambio totalmente a marrón al final del proceso para limeña como se muestra en las Figuras 7c y 7d y por último el color aumentó ligeramente su variabilidad ya que el color cambio en los bordes a marrón y se mantuvo amarillo en las demás zonas hasta el final del proceso para peruanita como se muestra en las Figuras 8c y 8d; corroborando lo manifestado por Alva et al. (2015) que evaluaron el color en fritura de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) de las variedades huevo de indio, negra y única encontrando que a temperaturas y tiempos elevados tienden a dar un valor menor de luminosidad de L , elevado de a^* (que representan enrojecimiento y verdor); por el contrario, a bajos tiempos el valor de b^* se eleva (representan amarillez y azulado) y reafirmado por Su, Zhang, Chitrakar, & Zhang (2020), Piyalungka, Sadiq, Assavarachan & Nguyen (2019), Su, Zhang, Adhikari, Mujumdar, & Zhang (2018), Su, Zhang, Zhang, Liu, & Adhikari (2018), Su, Zhang, Bhandari, & Zhang (2018) y Oyedeji et al. (2017) que obtuvieron en frituras de papa (*Solanum tuberosum*) al vacío, ultrasonido y microondas una disminución del color amarillento y el contenido de carotenoides y aumentó el color marrón oscuro al aumentar la temperatura y tiempo de fritura. El modelo de Weibull es el que mejor predice el valor L o la cinética de cambio de color en el proceso de fritura porque se ajusta mejor a un comportamiento de degradación fraccionada (huagalina tiene un R^2 de 82,96, le siguen huayro con 15,8, peruanita con 28,35 y limeña con 13,19, Tabla 1).

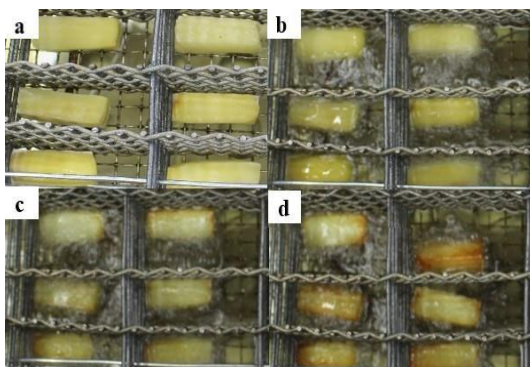


Figura 5. Variación del color en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina (a) estado fresco (tiempo cero), (b) a los 5 s, (c) a los 75 s y (d) a los 150 s.

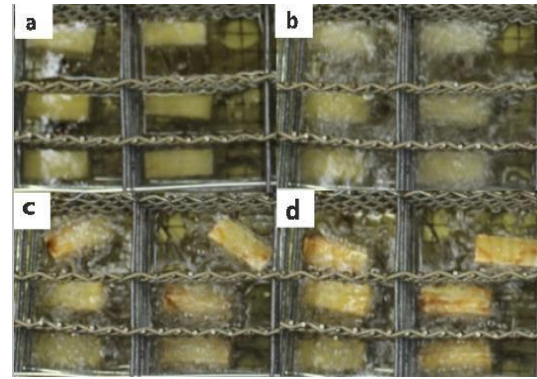


Figura 6. Variación del color en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huayro (a) estado fresco (tiempo cero), (b) a los 5 s, (c) a los 75 s y (d) a los 150 s.

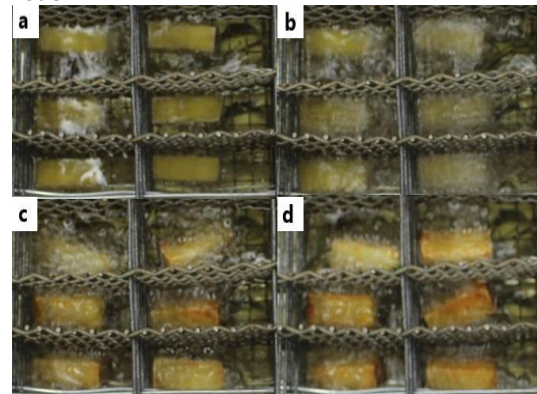


Figura 7. Variación del color en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad limeña (a) estado fresco (tiempo cero), (b) a los 5 s, (c) a los 75 s y (d) a los 150 s.

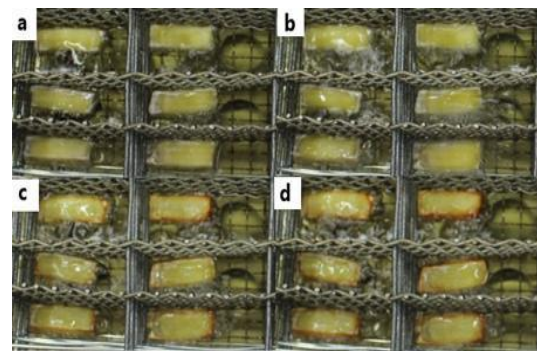


Figura 8. Variación del color en el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad peruanita (a) estado fresco (tiempo cero), (b) a los 5 s, (c) a los 75 s y (d) a los 150 s.

Además se manifiesta mejor homogeneidad o uniformidad del color ya que tienen coeficientes de variación menores a los otros modelos como se muestra en la Tabla 2, donde limeña es la de menor variación con un coeficiente de varianza de 0,0045, le presiden peruanita con 2,07, huayro con 2,19 y huagalina con 3,82 y por último sus curvas tienen pendiente negativa y concavidad hacia arriba ya que sus valores α son negativos y sus β son menores que 1 como se muestra en la Tabla 03, donde huayro es la de mayor valor α negativo es decir de mayor desintegración del color le presiden peruanita, huagalina y limeña.

La importancia del presente trabajo de investigación para la tecnología de alimentos y la industria alimentaria es que contribuye a verificar que el modelo Weibull es el más adecuado en papa (*Solanum tuberosum*) variedades huagalina, huayro y peruanita con un coeficiente de determinación (R^2) mayor para describir la cinética

de pardeamiento utilizando imágenes RGB y así realizar la automatización de un proceso de fritura, lo que, a su vez, permitiría detener el proceso de fritura en el tiempo justo, evitando costos adicionales por uso de energía, así como producto final con mala calidad sensorial.

CONCLUSIONES

El valor de luminosidad (L) disminuye durante el cambio de color del proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) en todas las variedades para los tres modelos mencionados; ocurriendo variabilidad y relación inversa entre el color y el tiempo con un Coeficiente de Pearson $r \leq 1$.

El modelo de Weibull es el que mejor predice el cambio de color del proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) con coeficientes de determinación de 82,96% para huagalina que es la más uniforme, le preside peruanita con 28,35%, huayro con 15,80% y limeña con 13,19%.

La papa (*Solanum tuberosum*) variedad peruanita es la más clara en el proceso de fritura con un valor

Weibull de media (L) de 67,39, le preside huayro con 64,59, huagalina con 63,87 y limeña con 54,96 como la más oscura.

La cinética de pardeamiento utilizando imágenes RGB permitiría detener el proceso de fritura en el tiempo justo, evitando costos adicionales por uso de energía, así como producto final con mala calidad sensorial.

Se recomienda en investigaciones futuras evaluar el efecto del ultrasonido como pretratamiento e incluir termostatos y agitadores para uniformizar la temperatura del aceite al proceso de fritura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdollahi, M., Rafe, A., & Taghizadeh, M. (2015). Kinetics of color and physical attributes of cookie during deep-fat frying by image processing techniques. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(1), 91-99.
- Al Faruq, A., Zhang, M., & Adhkari, B. (2018). A novel vacuum frying technology of apple slices combined with ultrasound and microwave. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 522-529.
- Alva, C., Ramírez, C., & Siche, R. (2015). Visión computacional en la evaluación del efecto de la temperatura y tiempo de fritura sobre el color de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) nativa. *Agroindustrial Science*, 5, 153-160.
- Bansal, H., Takhar, P., Alvarado, C., & Thompson, L. (2015). Transport Mechanisms and Quality Changes During Frying of Chicken Nuggets--Hybrid Mixture Theory Based Modeling and Experimental Verification. *Journal of Food Science*, 80(12), E2759-E2773.
- Caro, A., Sampayo, S., Acevedo, D., Montero, P., & Martelo, R. (2020). Mass Transfer and Colour Analysis during Vacuum Frying of Colombian Coastal Carimañola. *International Journal of Food Science*, 2020, 9816204.
- Corradini, M., & Peleg, M. (2004). A model of non-isothermal degradation of nutrients, pigments and enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(3), 217-226.
- Derossi, A., De Pilli, T., & Fiore, A. (2010). Vitamin C kinetic degradation of Strawberry Juice stored under non-isothermal conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 43(4), 590-595.
- Faruq, A., Zhang, M., & Fan, D. (2018). Modeling the dehydration and analysis of dielectric properties of ultrasound and microwave combined vacuum frying apple slices. *Drying Technology*, 37(3), 409-423.
- Huamán, C., & Saldaña, E. (2011). Estimación de la vida útil por color de rodajas de yacón (*Smallantus sonchifolius*) mínimamente procesados mediante pruebas aceleradas a partir de un sistema de visión computacional. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.
- Islam, M., Zhang, M., & Fan, D. (2019). Ultrasonically enhanced low-temperature microwave-assisted vacuum frying of edamame: Effects on dehydration kinetics and improved quality attributes. *Drying Technology*, 37(16), 2087-2104.
- Maingonnat, J., Missang, C., Baron, A., & Renard, C. (2014). Two micro-mechanical techniques for studying the enzymatic maceration kinetics of apple parenchyma. *Journal of Food Engineering*, 122(1), 1-7.
- Malheiros, P., Saint, V., Brandelli, A., & Franco, B. (2015). Kinetic modeling of thermal inactivation of antimicrobial peptides produced by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a. *Thermochimica acta*, 605, 95-99.
- Manjunatha, S., Mathews, A., & Patki, P. (2019). Modelling the kinetics of mass transfer and change in colour during deep fat frying of green peas (*Pisum sativum L.*) at different frying temperatures. *Heat and Mass Transfer*, 55(11), 3087-3102.
- Mojaharul, M., Zhang, M., Bhandari, B., & Guo, Z. (2019). A hybrid vacuum frying process assisted by ultrasound and microwave to enhance the kinetics of moisture loss and quality of fried edamame. *Food and Bioprocess Processing*, 55(11), 3087-3102.
- Noshad, M., Mohebbi, M., Ansarifard, E., & Behbahani, B. (2015). Quantification of enzymatic browning kinetics of quince preserved by edible coating using the fractal texture Fourier image. *Journal Food measurement and characterization*, 9(3), 375-381.
- Piyalungka, P., Sadiq, M., Assavarachan, R., & Nguyen, L. (2019). Effects of osmotic pretreatment and frying conditions on quality and storage stability of vacuum-fried pumpkin chips. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 2963-2972.
- Quevedo, R., Díaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., & Aguilera, J. (2009). Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L^* color information from digital images. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1367-1373.
- Quevedo, R., Díaz, O., Valencia, E., Pedreschi, F., Bastías, J. M., & Siche, R. (2016). Differences Between the Order Model and the Weibull Model in the Modeling of the Enzymatic Browning. *Food and Bioprocess Technology*, 9(11), 1961-1967.
- Rey, C. & Ramil, M. (2007). Introducción a la Estadística Descriptiva. Segunda Edición. Editorial Gesbiblo. España. 156.
- Saldaña, E., & Huamán, C. (2012). Cambios en los parámetros de color de rodajas de yacón (*Smallantus sonchifolius*) mínimamente procesadas obtenidas mediante visión computacional (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Salehi, F. (2019). Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) slice. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 511-519.
- Sampedro, F., & Fan, X. (2014). Inactivation kinetics and photo reactivation of vegetable oxidative enzymes after combined UV-C and thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 107-113.
- Sobowale, S., Olayanju, A., & Mulaba-Bafubandi, A. (2019). Process optimization and kinetics of deep fat frying conditions of sausage processed from goat meat using

- response surface methodology. *Food Science and Nutrition*, 7(10), 3161- 3175.
- Su, Y., Zhang, M., Adhikari, B., Mujumdar, A., & Zhang, W. (2018). Improving the energy efficiency and the quality of fried products using a novel vacuum frying assisted by combined ultrasound and microwave technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 55(11), 3087-3102.
- Su, Z., Zhang, L., Bhandari, & Zhang (2018). Enhancement of water removing and the quality of fried, purple-fleshed sweet potato in the vacuum frying by combined power ultrasound and microwave technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 44, 368-379.
- Su, Y., Zhang, M., Chitrakar, B., & Zhang, W. (2020). Effects of low-frequency ultrasonic pre-treatment in water/oil medium simulated system on the improved processing efficiency and quality of microwave-assisted vacuum fried potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104958.