



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

“Determinación del cambio de color y transferencia de masa en fritura de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando visión computacional”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Autor:

Mg. José Gerardo Salhuana Granados

Asesor:

Dr. Raúl Benito Siche Jara

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2021



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS DOCTORAL

Yo, Dr. Raúl Benito Siche Jara, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Doctorado titulada: "Determinación del cambio de color y transferencia de masa en fritura de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando visión computacional" que tiene como autor a José Gerardo Salhuana Granados, alumno del Doctorado en Ingeniería de Alimentos, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento de Tesis Doctoral de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa; quedando expedito para ser evaluado por el Jurado Evaluador correspondiente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'R. Siche Jara', is written above a horizontal line.

Dr. Raúl Benito Siche Jara
ASESOR



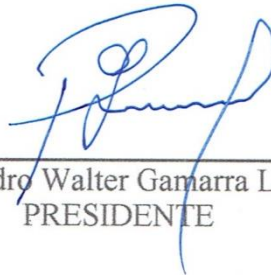
UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“Determinación del cambio de color y transferencia de masa en fritura de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando visión computacional”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador



Dr. Pedro Walter Gamarra Leiva
PRESIDENTE



Dra. Elza Berja Aguirre Vargas
SECRETARIO



Dr. Raúl Benito Siche Jara
VOCAL

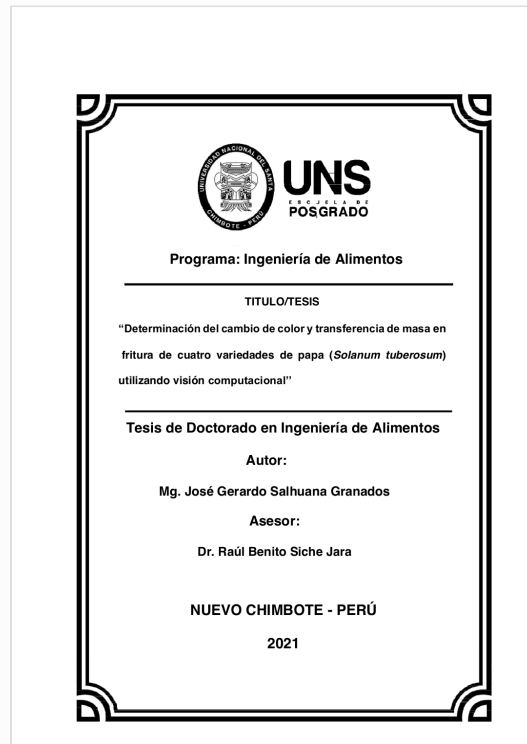


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jose Gerardo Salhuana
Título del ejercicio: POSGRADO
Título de la entrega: Tesis José Salhuana Granados
Nombre del archivo: TESIS_JOSE_SALHUANA_GRANADOS_-_REVISADO.pdf
Tamaño del archivo: 2.7M
Total páginas: 121
Total de palabras: 29,362
Total de caracteres: 131,432
Fecha de entrega: 21-nov.-2021 07:25p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 1709469059



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a dios creador del cielo y la tierra y a mis padres.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Doctor Raúl Benito Siche Jara por su apoyo en la ejecución del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema	15
1.2. Antecedentes de la investigación	15
1.3. Formulación del problema de investigación	45
1.4. Delimitación del estudio	45
1.5. Justificación e importancia de la investigación	45
1.6. Objetivo de la investigación	47
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación	48
2.2. Marco conceptual	48
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Hipótesis central de la investigación	59
3.2. Variables e indicadores de la investigación	59

3.3. Métodos de la investigación	59
3.4. Diseño o esquema de la investigación	60
3.5. Población y muestra	63
3.6. Actividades del proceso investigativo	64
3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación	64
3.8. Procedimiento para la recolección de datos	67
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos	68

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variación del color de frituras de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	
Variedad huagalina	70
4.2. Variación del color de frituras de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	
Variedad huayro	74
4.3. Variación del color de frituras de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	
Variedad limeña	78
4.4. Variación del color de frituras de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	
Variedad peruanita	82
4.5. Variación del color de frituras de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	
Variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita	90

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	92
5.2. Recomendaciones	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	101

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Composición aproximada de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	49
Cuadro 2: Coeficientes de determinación variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita en modelo orden cero, modelo de primer orden y Weibull.....	86
Cuadro 3: Coeficiente de variancia variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita en modelo orden cero, modelo de primer orden y Weibull.	87
Cuadro 4: Valores α y factor β variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita en modelo Weibull	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Esquema de un proceso de análisis de imágenes	55
Figura 2:	Esquema Experimental de la investigación.....	60
Figura 3:	Curvas de luminosidad (L) variedad huagalina, (a) modelo orden cero, (b) modelo de primer orden y Weibull.....	71
Figura 4:	Variación de imágenes variedad huagalina, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.....	74
Figura 5:	Curvas de luminosidad (L) variedad huayro, (a) modelo orden cero, (b) modelo de primer orden y Weibull.	76
Figura 6:	Variación de imágenes variedad huayro, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.	78
Figura 7:	Curvas de luminosidad (L) variedad limeña, (a) modelo orden cero, (b) modelo de primer orden y Weibull.	79
Figura 8:	Variación de imágenes variedad limeña, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.	82
Figura 9:	Curvas de luminosidad (L) variedad peruanita, (a) modelo orden cero, (b) modelo de primer orden y Weibull.	84
Figura 10:	Variación de imágenes variedad peruanita (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.	85
Figura 11:	Curvas de luminosidad (L) variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita.....	89
Figura 12:	Curvas de luminosidad (L) modelo Weibull, variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita.....	89

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la cinética de cambio de color en papa (*Solanum tuberosum*), variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita, durante el proceso de fritura, utilizando visión computacional. Con este fin se aplicaron modelos de orden cero, primer orden y Weibull; además se determinó la variación de la humedad en el proceso de fritura.

Para el color se utilizó como índice de pardeamiento el valor de luminosidad (L). La cinética fue evaluada utilizando imágenes tomadas cada 5 segundos, durante todo el proceso de fritura, utilizando un sistema de visión computacional. Todas las imágenes se transformaron de color espacial RGB a color $L * a * b *$ con el modelo propuesto para obtener los parámetros de color ($L *$), ($a *$) y ($b *$). El valor de luminosidad (L) disminuye durante el proceso de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) en todas las variedades para los tres modelos matemáticos.

El modelo Weibull fue 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.

Palabras clave: Cinética, color, luminosidad, imágenes, 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, during the frying process, using computer vision. For this purpose, zero order, first order and Weibull models were applied; In addition, the variation of humidity in the frying process was determined.

For the color, the luminosity value (L) was used as the browning index. The kinetics were evaluated using images taken every 5 seconds, throughout the frying process, using a computer vision system. All images were transformed from RGB spatial color to $L * a * b$ color with the proposed model to obtain the color parameters (L), (a) and (b). The luminosity value (L) decreases during the potato frying process (*Solanum tuberosum*) in all varieties for the three mathematical models.

The Weibull model was the most suitable in potato (*Solanum tuberosum*) varieties huagalina, huayro and peruanita with a higher coefficient of determination (R^2) to describe the kinetics of browning using RGB images and to automate a frying process, which, at the same time, it would allow the frying process to be stopped at the right time, avoiding additional costs for energy use, as well as a final product with poor sensory quality.

Keywords: Kinetics, color, luminosity, images, browning, Weibull.

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 los de Caro, Sampayo, Acevedo, Montero, y 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.

Actualmente se están utilizando nuevas herramientas para medir los cambios en las características de color en alimentos, y surge así la visión computacional, esta 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 cómo se realizó en la investigación realizada por Salehi (2019) en donde se 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 y Ramírez (2015) la utilización de 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, y 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. En el presente trabajo se buscó diseñar un sistema de visión computacional para medir de forma precisa el valor de los parámetros colorimétricos de las papas fritas dentro del sistema $L * a * b *$ para diferentes intervalos de tiempo durante su proceso de fritura y determinar su pérdida de agua, utilizando variedades de papa peruana muy comerciales en el Perú; siendo el objetivo de la investigación describir el cambio del color en frituras

de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como huagalina, huayro, limeña y peruanita; modelando su cinética con el modelo de visión por computadora software libre ImageJ; luego evaluar su pérdida de humedad durante la fritura.

CAPÍTULO I

1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación.

Se conoce que el consumo de la papa procesada ha adquirido más demanda y importancia; en especial las papas prefritas congeladas y las papas fritas en forma de hojuelas o chips de papa (Krarup, 2006). El incremento de la demanda al consumo de papa frita se debe en gran parte a cambios importantes en su microestructura inducida por la fritura y sus efectos sobre la estructura física y sus propiedades sensoriales (Pedreschi y Aguilera 2002).

La necesidad de medir mejor la calidad de frituras de papa y por la existencia de equipos de alto costo económico y que presentan deficiencias para obtener resultados perceptuales de color ante los parámetros visuales; por lo que surge la aplicación de la visión computarizada en la medida de las características de calidad de frituras de papa (Pedreschi y Aguilera 2002).

1.2. Antecedentes de la investigación.

Su, Zhang, Chitrakar, y Zhang (2020) investigaron los efectos del pretratamiento ultrasónico de baja frecuencia en un sistema simulado de medio agua / aceite en la mejora de la eficiencia del procesamiento y la calidad de las papas fritas al vacío en microondas. Se diseñaron un sistema de medio de agua (agua destilada y solución osmótica de NaCl al 5%) y un sistema de medio de aceite a 90 °C con diferentes niveles de potencia de ultrasonido para simular las condiciones ultrasónicas. Los resultados mostraron que el tratamiento ultrasónico facilitó los cambios en el contenido

de humedad, la pérdida de agua, la ganancia de sólidos y las propiedades dieléctricas de las rodajas de papa. La fuerza de unión entre la humedad y la estructura en el material se debilitó significativamente ($p < 0,05$). Los cambios se vuelven mayores con el aumento de los niveles de potencia ultrasónica. Los canales microscópicos y las interrupciones fueron inducidos en la microestructura por el tratamiento ultrasónico. La difusividad efectiva de humedad de las papas fritas al vacío se incrementó en aproximadamente 56,2% -67,0% y 53,9% con la combinación de energía de microondas y el sistema de pretratamiento ultrasónico en agua y aceite, respectivamente. La absorción de aceite, la dureza, la contracción, el cambio total de color y la actividad del agua de las muestras fritas al vacío disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) con la ayuda del pretratamiento ultrasónico combinado de energía de microondas.

Caro, Sampayo, Acevedo, Montero, y Martelo (2020) realizaron un estudio cuyo objetivo fue analizar el efecto de la fritura al vacío sobre los parámetros cinéticos de la transferencia de masa, los parámetros de color CIE de yuca rellena (Carimañolas). Para el análisis cinético, el contenido de humedad y aceite se midió mediante un diseño experimental que consta de dos factores: tiempo de fritura con siete niveles de 60, 120, 180, 240, 300, 420 y 540 segundos y temperatura de fritura con tres niveles 120, 130 y 140 °C. Se calcularon el coeficiente de difusividad, la tasa de transferencia de humedad y la tasa de adsorción de aceite, con sus respectivas energías de activación. Para el análisis de color, se usó la técnica de reflectancia para determinar las coordenadas de color del espacio CIE, y se calculó el cambio de color general. Con respecto a la cinética, el aumento de la temperatura y el tiempo

de fritura redujo el contenido de humedad, mientras que el contenido de aceite disminuyó con el aumento de la temperatura y aumentó con el tiempo de fritura. La difusividad varió de $1.238 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ a 120°C a $2.84 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ a 140°C . Los coeficientes de transferencia de masa para humedad variaron de $2 \times 10^{-4} \text{ m} / \text{s}$ a 120°C a $4 \times 10^{-4} \text{ m} / \text{s}$ a 140°C . Los valores de la tasa de absorción de aceite fueron de 0.0022 s^{-1} a 120°C a 0.0018 s^{-1} a 140°C . Finalmente, el parámetro de luminosidad muestra una disminución con el aumento de la temperatura, aunque los primeros 240 segundos muestran un aumento y luego comienzan a disminuir. La fritura al vacío permitió que Carimañolas se obtuviera con un menor contenido de aceite y humedad, con una coloración adecuada, llamativa y visualmente atractiva para los consumidores.

Islam, Zhang, y Fan (2019) investigaron el uso de ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas para adquirir una mejor eficacia del proceso y atributos corporales de alta calidad de vainas de soja fritas (edamame). Se utilizaron diferentes grados de potencia de 0, 150, 300, 600 W y temperatura 80, 90 y 100°C en una potencia y frecuencia de microondas constante de 1000 W y 28 kHz durante la fritura por ultrasonido y al vacío asistida por microondas. Se emplearon diez modelos matemáticos diferentes para describir la cinética de deshidratación de vainas de soja fritas, y se utilizó un análisis de regresión no lineal para determinar los parámetros del modelo. En cuanto al rendimiento de ajuste, el modelo más adecuado fue el modelo de dos términos. La cinética de secado, la difusividad efectiva de humedad, la energía de activación y las propiedades físicas de las muestras fritas se evaluaron en este equipo ultrasonido al vacío por microondas de nuevo

diseño que utiliza diferentes potencias de ultrasonido para el rango de temperatura estudiado. Al aumentar el nivel de potencia de ultrasonido, la difusividad aumentó de 1.947×10^{-9} a $4.742 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$. Los resultados han revelado que la energía de activación de las vainas de soja fritas disminuyó significativamente al aumentar el nivel de potencia del equipo de ultrasonido. El proceso ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas en cada temperatura de fritura aumentó la cinética de secado y la difusividad en comparación con el proceso no ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas. Las muestras de ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas siempre dieron menor contenido de aceite y actividad de agua en contraste con las muestras que no son de ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas. Las propiedades de color y textura de las vainas de soja fritas se mejoraron significativamente y el mayor nivel de potencia de equipo de ultrasonido. En el ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas produjo un mejor progreso. La retención de vitamina C y clorofila de las vainas de soja fritas fue más alta en el proceso ultrasonido al freír al vacío asistido por microondas.

Manjunatha, Mathews, y Patki (2019) 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. Los resultados mostraron que la cinética de la pérdida de humedad y la absorción de grasa durante la fritura de grasa profunda siguió la ecuación cinética de primer orden ($R^2 > 0,96$, $p < 0,001$). La constante de velocidad cinética para la pérdida de humedad aumentó significativamente ($p < 0,05$) de 0,484 a $2,212 \text{ min}^{-1}$ con el aumento de la temperatura, mientras que la

absorción de aceite aumentó de 0,241 a 0,371 min^{-1} con el aumento de la temperatura. Los parámetros de color CIE se vieron significativamente afectados ($p < 0,05$) por el tiempo de fritura y la temperatura de fritura. El cambio en los parámetros de color CIE, como la luminosidad (L^*), la diferencia de color total y la longitud de onda dominante se describieron mediante la ecuación cinética de primer orden, donde, como otros parámetros de color, como el verde-rojo (a^*), amarillez (b^*), croma (c^*) y ángulo de tonalidad se describieron por ecuación cinética de orden cero. La degradación del contenido de clorofila de los guisantes verdes se describió por ecuación cinética de primer orden y la constante de velocidad varió de 0,0861 a 0,1872 min^{-1} con el aumento de la temperatura de fritura. La dependencia de la temperatura de las constantes de velocidad fue descrita por la ecuación de Arrhenius. La energía de activación de la transferencia de masa, el cambio en los valores de color y la degradación de la clorofila variaron de 3,94 a 39,28 KJ / mol. Se observó una correlación significativa entre los parámetros de transferencia de masa, color y contenido de pigmento durante la fritura de guisantes verdes en diferentes condiciones de fritura.

Mojaharul, Zhang, Bhandari, y Guo (2019) realizaron una investigación donde las características de la vaina de soja frito (edamame) se analizaron en una fritura al vacío con equipos de ultrasonido y microondas para obtener una mejor eficiencia de fritura, acortar el tiempo de fritura y mejorar la calidad de vaina de soja frito a baja temperatura de fritura en este trabajo. Tres temperaturas de fritura (80, 90 y 100 °C) se analizaron comparativamente en fritura al vacío con equipos de ultrasonido y microondas, fritura al vacío con microondas y fritura al vacío. La fritura al vacío con equipos de ultrasonido y

microondas mejoró notablemente la difusividad de humedad y la pérdida de humedad que fritura al vacío con microondas y fritura al vacío a cada temperatura de fritura (80, 90 y 100°C). Los valores de difusividad de humedad y energía de activación estuvieron entre $2,014\text{--}3,823 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ y $22,57\text{--}20,07 \text{ kJ/mol}$, respectivamente. Se aplicaron diez modelos matemáticos distintos para explicar la cinética de deshidratación de vaina de soja frito y el modelo más adecuado encontrado fue el modelo Midilli. Los datos de secado (relación de humedad versus tiempo) se ajustaron con éxito al modelo Midilli. El consumo de energía en fritura al vacío con equipos de ultrasonido y microondas disminuyó, disminuyendo en un 28–39% dependiendo de la temperatura de fritura utilizada en este trabajo. El contenido de aceite y la actividad del agua de la vaina de soja frito también se redujo en la fritura al vacío con equipos de ultrasonido y microondas en comparación con las muestras tratadas con fritura al vacío con microondas y fritura al vacío. El color y la textura, la clorofila y la vitamina C de vaina de soja frito también mejoraron significativamente en la fritura al vacío con equipos de ultrasonido y microondas.

Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (2019) investigaron los efectos del pretratamiento osmótico asistido por ultrasonido y el osmótico y las condiciones de fritura sobre la calidad y la estabilidad de almacenamiento de los chips de calabaza fritos al vacío. Las muestras de calabaza se pretrataron en solución de maltodextrina y posteriormente se frieron a diferentes temperaturas (90-110 °C) y períodos de tiempo (10-30min). Los resultados demostraron que el contenido de humedad, la actividad del agua, la ligereza, el color amarillento y el contenido de carotenoides de las papas

fritas disminuyeron, mientras que el contenido de aceite, la dureza y el valor L^* (color marrón oscuro) aumentaron al aumentar la temperatura y el tiempo de fritura. El pretratamiento osmótico asistido por ultrasonido redujo aproximadamente el 16,0% de la absorción de aceite y mejoró aproximadamente el 70% de la retención de carotenoides en las papas fritas. Las muestras de pretratamiento osmótico asistido por ultrasonido también fueron más estables durante el almacenamiento que las no tratadas, lo que se indica por las constantes cinéticas de degradación más bajas de los parámetros clave de calidad. El pretratamiento propuesto podría ser un método efectivo para que las industrias alimentarias desarrollen chips de calabaza fritos al vacío con mejor calidad y estabilidad.

Sobowale, Olayanju, Mulaba-Bafubiandi (2019) investigaron los efectos y la optimización del tiempo de cocción (30, 45, 60 min), la temperatura de fritura (150, 170, 190 °C) y el tiempo (3, 6, 9 min) sobre la calidad (contenido de humedad, pérdida de humedad, contenido de grasa y proteína, color), características de textura y sensoriales de la salchicha de carne de cabra frita con mucha grasa mediante la metodología de superficie de respuesta utilizando un diseño Box-Behnken de tres niveles. La cinética de la pérdida de humedad y la absorción de grasas también se determinaron mediante la ecuación de primer orden. La carne de cabra se precocinó y se frió usando una freidora eléctrica de 2,5 L con un control de temperatura de ± 10 °C. Los resultados mostraron que todas las características de calidad, textura y sensoriales de la salchicha de carne de cabra investigadas fueron influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por las condiciones de fritura. La difusividad efectiva de humedad varió de $1,22 \times 10^{-8}$ a $2,84 \times 10^{-8}$ m²/s y 2,43

$\times 10^{-9}$ a $1,22 \times 10^{-8}$ m²/s para la pérdida de humedad y absorción de grasa, respectivamente. Las energías de activación estimadas fueron 71,04 a 77,76 kJ/mol y 65,82 a 67,2 kJ/mol, respectivamente. La cinética de fritura obedeció a la constante de velocidad de primer orden, y la dependencia de la temperatura de la pérdida de humedad fue mayor en comparación con la absorción de grasa de la salchicha de carne de cabra frita en todas las muestras. Las condiciones óptimas para la fritura de salchichas de carne de cabra se lograron utilizando un tiempo de cocción de 45 minutos, una temperatura de fritura de grasas de 150 °C y un tiempo de 9 minutos con ($R^2 > 0,9$) y fueron la muestra de salchichas más preferida y aceptada por el sensorial. panelistas. Este estudio ha demostrado que las condiciones óptimas de fritura observadas podrían ser una alternativa viable para la comercialización de salchichas de carne de cabra de calidad y otros productos de carne frita en la industria alimentaria.

Salehi (2019) investigó los fenómenos de transferencia de calor y masa durante la fritura provocan cambios fisicoquímicos que afectan el color y la superficie de los productos fritos. Se ha investigado el efecto de la temperatura de fritura sobre los cambios de color y la transferencia de calor durante la fritura de zanahoria. Los parámetros de la escala de color rojo (a^*), amarillo (b^*) y luminosidad (L^*), e intensidad de cambio de color (ΔE) se usaron para estimar los cambios de color durante la fritura en función de la temperatura del aceite. El valor L^* de la zanahoria frita disminuyó durante la fritura. El enrojecimiento de la zanahoria frita disminuyó durante las primeras etapas de la fritura, mientras que aumentó después (se volvió más rojo). Se usó una ecuación cinética de primer orden para cada uno de los

tres parámetros de color, en la que la constante de velocidad es una función de las temperaturas del aceite. Los resultados mostraron que la temperatura del aceite tiene un efecto significativo en los parámetros de color. Se utilizaron diferentes modelos cinéticos para ajustar los datos experimentales y los resultados revelaron que el modelo cuadrático era el más adecuado para describir la intensidad del cambio de color. La temperatura central de la rodaja de zanahoria aumentó con el aumento de la temperatura del aceite y el tiempo durante la fritura.

Al Faruq, Zhang, y Adhkari (2018) realizaron una investigación cuyo objetivo fue aplicar la tecnología de fritura al vacío por microondas con ultrasonido en la fritura de rodajas de manzana para reducir el tiempo de fritura y mejorar el color y la nitidez con potencias de 800 W y 1000 W y frecuencia de ultrasonido fija de 600 W y 28 kHz, respectivamente. Se midió y analizó el efecto de la fritura al vacío por microondas con ultrasonido sobre el contenido de humedad residual, la absorción de aceite, la textura crujiente y los parámetros de color. El perfil de olor de las rodajas fritas se midió y analizó usando nariz electrónica (E-nose). La aplicación de la tecnología fritura al vacío por microondas con ultrasonido aumentó significativamente la velocidad de evaporación de la humedad, acortó el tiempo de fritura, aumentó la textura crujiente y produjo un color amarillo más deseable por no realizarse reacción de Maillard en comparación con la tecnología de fritura al vacío por microondas.

Faruq, Zhang, y Fan (2018) investigaron la cinética de deshidratación de la fritura de vacío combinada por ultrasonido y microondas de rodajas de manzana y se determinó el modelo más adecuado que predice la cinética de

secado. Se determinó la variación en las propiedades dieléctricas durante la fritura de rodajas de manzana para comprender el comportamiento de calentamiento en campos eléctricos de microondas. Además, la absorción de aceite, las propiedades de textura y los parámetros de color también se midieron y analizaron. Se utilizaron dos niveles de potencia de microondas 800 y 1000 W a una potencia y frecuencia de ultrasonido constante de 600 W y 28 kHz, respectivamente.

Los datos experimentales de fritura de rodajas de manzana se usaron para ajustar diez modelos matemáticos diferentes y el análisis de regresión no lineal se usó para determinar los parámetros del modelo. La bondad del ajuste se determinó utilizando el coeficiente de determinación, chi-cuadrado reducido, error cuadrático medio. Se encontró que el modelo logarítmico es el más adecuado para describir el proceso de fritura. Al aumentar la potencia, los valores efectivos de difusividad de humedad aumentaron de 1,7791 a $2,2761 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Los resultados han demostrado que la constante dieléctrica y el factor de pérdida de las rodajas de manzana disminuyeron significativamente al aumentar el tiempo de fritura y la combinación de ultrasonido en ambos niveles de potencia. La combinación de ultrasonido con microondas aumentó significativamente la profundidad de penetración en comparación con cuando se usó freír al vacío por microondas. La absorción de aceite de rodajas de manzana frita se redujo en ultrasonido con microondas en comparación con vacío por microondas. Al mismo tiempo, la textura crujiente y los parámetros de color mejoran significativamente en el proceso ultrasonido con microondas. El ultrasonido con microondas tenía mayores ventajas sobre la velocidad de evaporación

de la humedad y el calentamiento uniforme en comparación con el vacío por microondas y se puede usar con confianza para producir alimentos fritos crujientes, deseables, más saludables y visualmente atractivos en poco tiempo.

Su, Zhang, Adhikari, Mujumdar, y Zhang (2018) estudiaron la efectividad de la fritura híbrida basada en la fritura al vacío con la aplicación de ultrasonido y microondas. El ultrasonido reveló significativamente el "efecto de vibración", y la combinación de ultrasonido y microondas tuvo un efecto sinérgico sobre la eficiencia energética y los atributos de calidad de las papas fritas al vacío, acortando el tiempo de fritura en un 36,4% - 54,5% y mejorando la difusión efectiva de la humedad en un 60,5% - 144,5% con los niveles de potencia de ultrasonido oscilando entre 300W y 600W. Se descubrió que el proceso de fritura al vacío con la aplicación de ultrasonido y microondas consume aproximadamente 34,9% - 48,3% menos energía en comparación con la de fritura al vacío. La absorción de aceite de las papas fritas al vacío se redujo en un 27,4% - 32,3%, la textura (nitidez) y el color se mejoraron enormemente, y la contracción del volumen y la actividad del agua disminuyeron por la combinación de ultrasonido y microondas. La cinética de pérdida de humedad y los parámetros de calidad también mejoraron notablemente cuando se usó una mayor potencia de ultrasonido. Se obtuvo una microestructura más porosa en muestras de fritura al vacío con la aplicación de ultrasonido y microondas. La tecnología de fritura al vacío que combina ultrasonido y microondas resultó ser una tecnología mucho más efectiva en términos de eficiencia energética y calidad del producto.

Su, Zhang, Bhandari, y Zhang (2018) mostraron un trabajo donde se

investigó la combinación de ultrasonido y microondas en el sistema de fritura al vacío para lograr una mayor eficiencia de secado y atributos de calidad de los productos fritos. La papa de pulpa púrpura se usó como muestra de prueba y diferentes niveles de potencia de microondas (0 W, 600 W, 800 W) y ultrasonido (0 W, 300 W, 600 W) durante la fritura al vacío. La cinética de secado, las propiedades dieléctricas, la variación de estado de humedad y los atributos de calidad de las muestras fritas se midieron en una fritura al vacío y un equipo innovador de freído al vacío asistido por ultrasonido y microondas. El proceso de freído al vacío asistido por ultrasonido y microondas aumentó notablemente la tasa de evaporación de humedad y la difusividad efectiva de humedad en comparación con el proceso de fritura al vacío. La absorción de aceite se redujo en aproximadamente un 16-34%, la actividad del agua y la contracción se redujeron, la textura (nitidez) y el color de las muestras fritas mejoraron enormemente. El mayor nivel de potencia de ultrasonido y microondas en freído al vacío asistido por ultrasonido y microondas hizo una mejora mayor. Los niveles totales de antocianina y la retención de las papas fritas de pulpa púrpura con pulpa fueron las más altas (123,52 mg/100 g de sólidos y 79,51% de retención, respectivamente) entre todos los tratamientos en el proceso de freído al vacío asistido por ultrasonido y microondas. Se obtuvo una microestructura más porosa y disruptiva en la muestra de freído al vacío asistido por ultrasonido y microondas.

Su, Zhang, Zhang, Liu, y Adhikari (2018) diseñaron y probaron una tecnología de la fritura por vacío asistida por microondas ultrasónica para papas fritas a baja temperatura. Se aplicaron dos temperaturas de fritura de 90 °C y 100 °C en fritura por vacío asistida por microondas ultrasónica como

en fritura al vacío asistida por microondas. Basado en el análisis de la cinética de secado y la evaluación de la calidad, la fritura por vacío asistida por microondas ultrasónica aumentó notablemente la cinética de evaporación de humedad y la difusividad efectiva de la humedad, reduciendo entre un 20 y un 28% del tiempo de secado en comparación con la fritura al vacío asistida por microondas, especialmente a temperaturas de fritura más bajas. La absorción de aceite de las papas fritas se redujo en la fritura por vacío asistida por microondas ultrasónica con baja temperatura de fritura. Las propiedades de textura y el color de las papas fritas fueron mejoradas en gran medida por la combinación de ultrasonido en fritura al vacío asistida por microondas. El consumo de energía en fritura por vacío asistida por microondas ultrasónica también disminuyó en comparación con el de fritura al vacío asistida por microondas, disminuyendo 20,4 – 24,7% dependiendo de la temperatura de fritura en esta prueba. Se observó una microestructura más porosa en las muestras de fritura por vacío asistida por microondas ultrasónica y ayudó a explicar los efectos del ultrasonido. Los datos de secado (relación de humedad versus tiempo) se ajustaron con éxito al modelo logarítmico.

Adedeji, y Ngadi (2018) evaluaron la cinética de la transferencia de masa, el desarrollo microestructural, el impacto del método de congelación a -18°C , -82°C y N_2 y el almacenamiento a 0 – 4 meses en la calidad de frituras de papas entre 170 y 190°C mostrando un efecto significativo sobre la absorción de grasa; es decir absorbió hasta un 20% de grasa después de la fritura, mientras que el aceite superficial disminuyó y el aceite matriz aumentó. Además, la congelación a -82°C redujo la cantidad de aceite

absorbido en comparación con otros métodos de congelación; la textura y el color se vio significativamente afectada después del almacenamiento durante 4 meses y se mostraron los cambios en la estructura de la papa en el proceso de congelación y fritura.

García (2018) realizó una investigación cuyo objetivo fue de optimizar la operación de fritura de una variedad de papa nativa Puka ambrosio, para lo cual se aplicó la metodología de superficie de respuesta (RSM) a fin de determinar la combinación de temperatura, tiempo de fritura y espesor de las hojuelas de papa, que maximizan la retención de componentes bioactivos.

En la etapa preliminar se obtuvo que los factores tiempo y espesor de la hojuela tienen un efecto significativo en la reducción del contenido de ácido ascórbico ($p < 0,05$), para los niveles ensayados. En la etapa de optimización se observó que el espesor y la interacción espesor – tiempo, afectaron significativamente la variable respuesta ($p < 0,05$), logrando una maximización de retención de ácido ascórbico de 87,34 por ciento en un proceso de fritura de hojuela de 2 mm de espesor a 170 °C durante 200 segundos. Además se obtuvo una reducción del contenido de humedad de 69 por ciento a 22,2 por ciento; un incremento en el contenido de grasas crudas de uno por ciento a 21,9 por ciento; un incremento en el contenido de compuestos fenólicos totales y de la capacidad antioxidante (596,9 mg de ácido clorogénico equivalente/100 g y 8 308,9 µg de equivalente trolox/g, respectivamente) y una disminución en el contenido de vitamina C y antocianinas totales (21,1 mg/100 g y 33,6 mg de cianidina-3- glucósido equivalente/100 g, respectivamente).

Wiset, Wongkasem, Poomsa-Ad, y Kampakdee (2017) realizaron una

investigación cuyo objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la potencia de microondas combinada con aire caliente en la cinética de secado de las pupas de gusanos de seda. Se aplicaron las potencias de microondas de 143, 270, 323 y 394 vatios y se combinaron con aire caliente a una temperatura de 60 °C con una velocidad del aire de 1 m/s. Estos se compararon con el secado solo a una temperatura del aire de 60°C. Los resultados mostraron que el aumento en la potencia de microondas dio como resultado una tasa de secado más alta y más alta que solo el secado con aire caliente. Para la evaluación del color, se descubrió que el microondas combinado con el secado con aire caliente proporcionaba una luminosidad más baja (L^*), un enrojecimiento (a^*) y un color amarillento (b^*) más altos que el secado con solo aire caliente. Para el consumo de energía específico, la mejor condición de secado de las pupas de gusanos de seda es usar una potencia de microondas de 323 vatios combinada con aire caliente. El tiempo de secado y el consumo de energía podrían reducirse en un 98,74 y un 98,11% en comparación con solo secar con aire caliente a 60 °C.

Maneesh, Faiza, Debnath, y Nasirullah (2017) estudiaron los cambios fisicoquímicos que tienen lugar tanto en el producto como en el aceite durante la fritura de un aperitivo salado tradicional (Kodubale), a 120 - 160°C durante 120 - 600 segundos con aceite de coco y aceite de nuez y coco. Además, se realizaron estudios cinéticos sobre pérdida de humedad, absorción de aceite, color y degradación de β -caroteno, contenido total de polifenoles y actividad antioxidante para el aperitivo durante la fritura en función de la temperatura y el tiempo. El estudio mostró que los coeficientes

cinéticos para los parámetros anteriores aumentaron con la temperatura y el tiempo y los datos obtenidos se ajustaron bien con el modelo cinético de primer orden. Los resultados también revelaron que el producto frito con aceite de nuez y coco retuvo los principales ácidos fenólicos debido a la presencia de antioxidantes en el aceite de nuez y coco enriquecido con concentrado de aceite de linaza. El perfil de ácidos grasos del aceite extraído de los productos obtenidos al freír usando aceite de nuez y coco se caracterizó con un mayor contenido de ácidos grasos ω -3 y ω -6 en comparación con el mismo obtenido con aceite de coco. Sin embargo, la resistencia a la rotura y las características sensoriales del aperitivo frito con aceite de coco y aceite de nuez y coco se encontró que no tenía diferencia significativa ($p < 0,05$).

Nayak, Dash, Radha, Mishra, y Rayaguru (2017) describieron un estudio, en donde el aceite de mostaza utilizado en la fritura continua de papas fritas se trató con bentonita a diferentes niveles de concentración. Se emplearon metodologías de superficie de respuesta con diseño giratorio central compuesto para optimizar la influencia de los parámetros del proceso (tiempo de contacto, tiempo de calentamiento y concentración de adsorbente) en los niveles residuales de ácido graso libre. Los valores optimizados de tiempo de contacto, tiempo de calentamiento y concentración de adsorbente se encontraron como 10 h, 10 h y 0.4 g/L, respectivamente, para mantener los niveles residuales de ácido graso libre por debajo del límite permitido. Los estudios de cinética revelaron que la adsorción de ácido graso libre sigue un segundo orden con un buen acuerdo entre los datos calculados y los experimentales. La adsorción de Langmuir es apropiada para la correlación

de los datos de equilibrio. El tratamiento del aceite de mostaza frito con bentonita puede mejorar las características de calidad de los alimentos fritos y extender la vida útil del aceite para freír.

Oyededeji et al. (2017) investigaron los efectos de los tratamientos de fritura sobre la textura y los parámetros de color durante la fritura de rodajas de raíz de yuca de pulpa amarilla. Las rodajas (dimensión de 40 mm x 25 mm x 3 mm) se dividieron en tres porciones y se sometieron a fritura al vacío (rodajas frescas) y a la fritura atmosférica (rodajas frescas y previamente secadas) y fuerzas térmicas equivalentes de 60 °C, 70 °C y 80 °C se mantuvieron durante la fritura. Los atributos de calidad investigados se conservaron mejor en chips fritos al vacío. El cambio de color general en las papas fritas en condiciones de vacío a 118 °C y 8 min fue la menor (21,20) en comparación con las frescas y atmosféricas (16,69 y 14,81). Se obtuvo una fuerte reducción en la fuerza de rotura para todos los tratamientos de fritura después de 8 minutos y este efecto fue el menor en las papas fritas al vacío. La cinética de primer orden modeló los cambios en los atributos de calidad para todas las temperaturas investigadas. Las constantes de velocidad (min^{-1}) obtenidas para la fritura al vacío fueron casi iguales a las de la fritura atmosférica, mientras que las energías de activación para la dureza y el cambio de color fueron 53,30 y 467,11 kJ/mol, respectivamente. Los atributos de calidad estudiados se conservaron mejor durante la fritura al vacío.

Mondal, y Dash (2017) describieron un trabajo en queso frito y jarabe de azúcar (Chhena jhili) donde se investigó el efecto de la temperatura de fritura (120 - 140) y el tiempo de fritura (3 - 20 min) sobre la textura y el color. La

cinética de textura y color siguió la cinética de orden cero para dureza, firmeza y valor L , mientras que la rigidez y el cambio de color siguieron una cinética de primer orden. La energía de activación para la textura y el color cae en el rango de 35,11 – 82,04 y 32,59 – 38,46 kJ/mol, respectivamente. Se desarrolló un modelo matemático para la transferencia de calor y masa durante la fritura de Chhena jhili. La absorción de grasa durante la fritura se explica por el modelo cinético de primer orden. Los coeficientes de transferencia de calor convectivo determinados por la ecuación de transferencia de calor transitoria es 69,80 – 103,18 W/m²K en el rango de temperaturas de 125 – 145 °C. El coeficiente de transferencia de humedad aumentó con el aumento de la temperatura y varió de 2,848 a 7,543 m/s. Este estudio se centra en la información básica sobre la freidora y la selección de aceite para freír. Se analizó el efecto de las temperaturas y el tiempo de fritura sobre la calidad del producto. Proporciona una descripción general del diseño de la freidora según el tipo de producto a freír. El tiempo de fritura es más largo a temperaturas más bajas y la fritura a temperaturas más bajas da como resultado un color más claro y una mayor absorción de aceite. La fritura a alta temperatura conduce a costras más delgadas y menos absorción de aceite.

Liu et al. (2017) realizaron un trabajo cuyo objetivo fue estudiar el efecto de los campos eléctricos pulsados en la microestructura del camote (*Ipomoea batatas* cv. Owairaka) y su calidad después de la fritura. Los camotes enteros se trataron con diferentes intensidades de campo eléctrico que varían de 0,3 a 1,2 kV/cm con niveles de energía específicos entre 0,5 y 22 kJ/kg. La viabilidad celular se determinó usando tinción con tetrazolio para

investigar la uniformidad del efecto campos eléctricos pulsados en los tubérculos. Sobre la base de los patrones de células viables, se observó que el efecto de campos eléctricos pulsados no era homogéneo en todo el tubérculo. Este resultado también fue respaldado por el patrón de pardeamiento enzimático debido a que la fuerza electromotriz facilita la reacción de la polifenoloxidasasa y los fenoles. El tratamiento con campos eléctricos pulsados resultó en un ablandamiento significativo de los tejidos molidos, pero no en los tejidos dérmicos, según lo determinado por el análisis de textura. Con respecto a la calidad de la fritura, los tubérculos pretratados con campos eléctricos pulsados a una intensidad de campo eléctrico de 1,2 kV/cm y fritos a 190 °C tenían un contenido de aceite 18% menor que las muestras no tratadas con campos eléctricos pulsados. La cinética del dorado en función del tiempo de fritura podría describirse mediante un modelo de conversión fraccional. La energía de activación de la tasa de dorado durante la fritura aumentó (más sensible a la temperatura) debido al pretratamiento de campos eléctricos pulsados a 0,5 kV/cm y 1,2 kV/cm. Implica que el pretratamiento de campos eléctricos pulsados permite freír los camotes fritos a una temperatura más baja para lograr la misma intensidad de color marrón que los tubérculos no tratados con campos eléctricos pulsados. Este estudio muestra claramente que los campos eléctricos pulsados podrían reducir la energía requerida para cortar y freír camote. Este estudio proporciona evidencia de que el efecto del procesamiento de campos eléctricos pulsados en los tubérculos de camotes enteros no es uniforme, lo que demuestra una distribución heterogénea. Estos hallazgos proporcionan información importante para que la industria alimentaria diseñe las

condiciones apropiadas de procesamiento de campos eléctricos pulsados para materiales sólidos. Más importante aún, el tratamiento de campos eléctricos pulsados redujo la energía requerida para cortar y freír camote, y redujo el contenido de aceite en los chips de camotes fritos.

Mariotti-Celis, Zúñiga, Cortés, y Pedreschi (2017) evaluaron la cinética de la formación de furano, la absorción de aceite, la oxidación de lípidos y el cambio de color en sistemas modelo a base de harina de trigo durante la fritura a 160, 170, 180 y 190 °C hasta 13 min y los datos se ajustaron a modelos matemáticos. Además, se evaluó una dependencia de tipo Arrhenius con la temperatura para todas las respuestas estudiadas. Las condiciones de fritura más drásticas aumentaron significativamente ($p \leq 0,05$) el contenido de furano de las muestras fritas. La formación de furano siguió una tendencia sigmoidea con tiempo de fritura solo para una temperatura de fritura de 190 °C. A temperaturas más bajas, la generación de furano no alcanzó el nivel de concentración asintótica. El cambio de color, la oxidación de lípidos y la absorción de aceite aumentaron con la temperatura de fritura y siguieron las relaciones asintóticas con el tiempo de fritura. Para todas las temperaturas evaluadas, el cambio de color y la generación de compuestos polares presentaron un buen ajuste a un modelo cinético de primer orden. La absorción de aceite se ajustó con éxito a un modelo basado en el equilibrio de masa. Bajo las condiciones experimentales estudiadas, solo el cambio de color (EA: 15,47 kJ/mol), la oxidación de lípidos (EA: 6,67 kJ/mol) y la absorción de aceite (EA: 76,98 kJ / mol) presentaron un buen ajuste a una ecuación de tipo Arrhenius. Según nuestros resultados, el mantenimiento de la temperatura de fritura por debajo de 180 °C y la

reducción del tiempo de fritura contribuirían a reducir no solo la aparición final de furano en los alimentos fritos, sino también su contenido de aceite.

Mba, Dumont, y Ngadi (2016) realizaron estudio de la oxidación de los aceites vegetales generalmente se trata como una reacción cinética aparente de primer orden. Este estudio investigó el deterioro del aceite de palma crudo, el aceite de canola refinado y su mezcla (1: 1) durante 20 h de frituras sucesivas con mucha grasa a 170, 180 y 190 °C. Se monitoreó la cinética de los cambios en los índices de calidad del aceite, a saber, ácido graso libre, índice de peróxido, índice de anisidina, compuestos polares totales e índice de color. Los resultados mostraron que la acumulación de ácido graso y índice de peróxido seguía el modelo cinético de primer orden, mientras que el índice de anisidina, compuestos polares e índice de color seguían el modelo cinético de orden cero. Las constantes de concentración y tasa de deterioro k aumentaron con el aumento de las temperaturas. Este efecto de la temperatura fue modelado por la ecuación de Arrhenius. Los resultados mostraron que el índice de peróxido tenía los valores mínimos de energía de activación E_a (kJ / mol) de $5,4 \pm 1$ para el aceite de canola refinado, $6,6 \pm 0,7$ para el aceite de palma crudo y $11,4 \pm 1$ (mezcla). El ácido graso libre requirió el E_a más alto con un rango de $31,7 \pm 3 - 76,5 \pm 7$ kJ/mol para los tres aceites. Los valores generales de E_a mostraron que la estabilidad de la mezcla era superior y no solo intermedia de compuestos polares y índice de color. La correlación de los otros índices de calidad del aceite con TPC indicó una correlación lineal positiva. El p -AV mostró la correlación más fuerte, con un coeficiente de correlación medio r_s de $0,998 \pm 0,00$, $0,994 \pm 0,00$ y $0,999 \pm 0,00$ para CPO, RCO y mezcla, respectivamente.

Pambou-tobi, Arab-Tehrany, Niamayoua, y Linder (2016) aplicaron la metodología de superficie de respuesta con diseño Doehlert para optimizar la fritura de rodajas de plátano maduro de la variedad "Harton" de *Musa paradisiaca*. Se evaluaron los efectos de la temperatura de fritura, la duración y la cantidad de plátano y sus interacciones sobre el contenido de agua, el contenido de lípidos, la dureza y las medidas de color. Estos parámetros se estudiaron durante el proceso de fritura utilizando aceite de soja, consumido principalmente en el Congo en comparación con un aceite de fritura típico utilizado en Francia. En base a las respuestas de la superficie, se predijeron las condiciones óptimas para lograr la buena calidad del plátano frito final para ambos aceites a 170 °C durante 3,00 min utilizando 180 g de plátano para el aceite de soya y 3,15 min para el aceite típico. Utilizando las condiciones óptimas de fritura, se evaluó la degradación de los lípidos midiendo el aumento de los Compuestos Polares Totales. Se tomaron muestras de aceites para freidoras cada 4 h durante diez días consecutivos. Los valores de Compuestos Polares Totales aumentaron significativamente hasta el 17% para el aceite típico y el 26,2% para el aceite de soja. Las temperaturas máximas (ΔT), basadas en termogramas de enfriamiento, también se correlacionaron con el aumento de Compuestos Polares Totales. Disminuyeron de -50,2 a -53,7 °C para el aceite típico y de -52,43 a -61,87 °C para el aceite de soya al final de los procesos de fritura.

Quevedo et al. (2016) realizaron un trabajo donde se analizó la cinética de pardeamiento enzimático de frutas y verduras con el método de visión computarizada utilizando dos modelos; el primero denominado la ley de velocidad general o modelo de orden, y el segundo modelo de Weibull.

Esta investigación se centró en el modelado cinético del bronceado de champiñones, pera, manzana, aguacate y plátano, en el uso de la luminosidad de L^* , el ΔE^* y el BI como índices de pardeamiento utilizando ambos modelos por lo que el objetivo de este estudio fue explorar la idoneidad de los modelos de primer orden y de Weibull para describir el pardeamiento cinético enzimático en los mencionados alimentos a dos temperaturas y utilizando tres índices de pardeamiento diferentes.

Todas las imágenes en color se transformaron de color espacial RGB a color $L^* a^* b^*$ con el modelo propuesto para obtener los parámetros de color L^*, a^* y b^* . A diferencia de la luminosidad, los índices ΔE^* y BI incluyen valores a^* (que representan enrojecimiento y verdor) y valores b^* (que representan amarillez y azul).

Se descubrió 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. La cinética de primer orden tuvo un buen rendimiento, pero sus valores son mucho más bajos que los del modelo de Weibull.

Bansal, Takhar, Alvarado, y Thompson (2015) evaluaron la fritura de pollo con recubrimiento a base de trigo obteniendo valores de humedad, velocidad de evaporación, temperatura, aceite, presión de poro, presión en varias fases y coeficiente de elasticidad y los resultados mostraron que la mayor parte del aceite permaneció en el exterior 1.5 mm de la región de recubrimiento y se observaron valores de temperatura superiores a 100°C en el recubrimiento después de 30 s de fritura y las magnitudes negativas de presión de poro de calibre. Se hipotetiza que la alta presión capilar en fase acuosa en la matriz

hidrófila causa una presión negativa de los poros. El coeficiente de elasticidad fue el más alto en la superficie (2.5×10^5 Pa) para el recubrimiento y la interfaz del recubrimiento y el núcleo (6×10^5 Pa). La ecuación cinética para el cambio de color obtenida de los experimentos se combinó con el modelo basado en HMT para predecir el color (L, a y b) en función del tiempo de fritura.

Abdollahi, Rafe, y Taghizadeh (2015) evaluaron los efectos de la temperatura de fritura de 150-180 °C y el tiempo sobre las características físicas de las galletas, como el grosor de la corteza, la porosidad interna, el color y la dureza; utilizando cinética de primer orden obteniendo los valores L^*, a^*, b^* y ΔE . La dureza y L^* , siguieron un cambio de primer orden, mientras que los otros parámetros tenían una cinética de orden cero. La dependencia de la temperatura de las constantes de la reacción explicada por la ecuación de Arrhenius y la energía de activación se encontró en el rango de 21,2-92,86 kJ / mol. El L^* , el grosor de la corteza y el ΔE tenían correlaciones más altas con la textura que la porosidad interna, lo que sugiere que L^* se puede usar de manera confiable para predecir la dureza de las galletas fritas con mucha grasa.

Alva y Ramírez (2015) realizaron un trabajo cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de fritura en el color de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) de las variedades Huevo de Indio, Negra y Única utilizando visión computacional. Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar; siendo el factor de bloqueo la variedad de papa contando con tres niveles de la temperatura de fritura: 170, 180 y 190 °C; y tres de tiempo de fritura: 90, 97 y 117 segundos; siendo las variables

respuestas los parámetros de color L^* , a^* y b^* ; y una combinación de los factores produce un total 27 tratamientos. Encontraron que a temperaturas y tiempos elevados tienden a dar un valor elevado de a^* ; por el contrario, a bajos tiempos el valor de b^* se eleva; sin embargo, estos valores se verán afectados también por la variedad de papa por su contenido de materia seca y gravedad específica, pues pueden influenciaren el color de la hojuela frita. Se encontraron valores de L^* y b^* : 32,3, para la variedad huevo de indio a 180 °C por 117 s de tiempo de fritura tuvo una mayor aceptación pues los panelistas lo calificaron con mayor puntaje.

Avalos (2014) realizó una investigación sobre la influencia del secado previo y del tiempo de fritura en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de rebanadas de papa (*Solanum tuberosum*) frita variedad huevo de indio. El objetivo que se buscó en el presente trabajo fue de evaluar el efecto del secado a 60 °C por 45 minutos previo y tres tiempos de fritura de 2,0 minutos, 2,15 minutos y 2,30 minutos a 190 °C sobre la absorción de aceite, contenido de humedad, firmeza y aceptabilidad general de rebanadas de papa (*Solanum tuberosum*) frita variedad huevo de indio. Se utilizaron como tratamientos en estudio procesos de fritura sin secado previo y con secado previo con tiempos de 2,0 minutos, 2,15 minutos y 2,30 minutos a 190 °C para ver el efecto de absorción de aceite (%) Humedad (%) Firmeza (N) y una comprobación de la mejor aceptabilidad general. Después de realizar el trabajo experimental y su análisis se obtiene que el secado en una estufa a 60 °C durante 45 minutos proporciona una papa con una humedad aproximada de 67% y que después de frita a una temperatura de 190 °C por un tiempo de 2,3 minutos fue el que presenta menor contenido de humedad,

mayor adsorción de aceite de 4,38%, mayor firmeza y aceptabilidad general de variedad de papa huevo indio. Concluyeron que a mayor tiempo de fritura, menor contenido de humedad, mayor adsorción de aceite y mayor firmeza final en las rebanadas de papa.

Saldaña et al. (2013) describieron la aplicación de los sistemas de visión artificial también conocidos como visión por computadora en el reconocimiento de patrones para el análisis de frutas y verduras. El objetivo de esta investigación fue diseñar, implementar y calibrar un nuevo sistema de visión por computadora (CVS) en tiempo real para la medición del color en alimentos de superficie plana por lo que se diseñó e implementó un dispositivo capaz de realizar esta tarea con software y hardware, que consistió en la adquisición de imágenes y procesamiento y análisis de imágenes. Tanto el algoritmo como la interfaz gráfica se desarrollaron en Matlab. El trabajo se basó en la descripción RGB (Rojo, Verde y Azul) de un color que permite representarlo mediante la mezcla de los tres colores primarios de la luz en términos de la intensidad; este modelo de color es tridimensional y solo puede representarse adecuadamente en un espacio tridimensional y las unidades de color RGB son $L^* a^* b^*$. Se observó que el modelo utilizado para la conversión de unidades de color RGB a $L^* a^* b^*$, obtenido a partir de imágenes generadas por visión por computadora, es confiable, con errores promedio relativamente bajos ($L^* = 5,001\%$, $a^* = 2,287\%$, y $b^* = 4,314\%$) que garantizan la aplicación de automatización adecuada y eficiente en procesos industriales en el control de calidad en el sector de la industria alimentaria.

Saldaña y Huamán (2012) estimaron los cambios en los parámetros de color

de rodajas de yacón (*Smallantus sonchifolius*) mínimamente procesadas mediante visión computacional. El objetivo principal de esta investigación fue estimar los cambios en los parámetros de color de rodajas de yacón (*Smallantus sonchifolius*) mínimamente procesadas mediante visión computacional. La forma de mostrar la variabilidad de los datos tomados de la imagen analizada se realizó por medio de un gráfico de distribución (histograma de frecuencia), que representa en el eje vertical (o eje Y) la proporción de datos tomados de la imagen analizada (frecuencia acumulada normalizada) que poseen un cierto valor de y b^* que se indica en el eje horizontal (o eje X) para realizar dicha gráfica se da clic en la opción L, a^* o b^* de la interface gráfica de usuario. Posteriormente las mediciones de color fueron expresadas en tres parámetros: Luminosidad L^* ($L^*=$ oscuro y $L^*= 100$ blanco), coordenadas cilíndricas C^* y H^* , donde C^* definirá la cromaticidad y H^* la tonalidad. Posteriormente se midió el color, en el espacio CIELab, de las rodajas de yacón rodajas con muestras almacenadas a 25 °C durante 26 horas, analizadas cada dos horas, estimando los cambios de color usando las imágenes previamente segmentadas en $L^* a^* b^*$, obtenidas a partir de imágenes RGB. En cuanto al parámetro de color L^* disminuyó de 65,9 a 60,8 debido al oscurecimiento de las muestras, el parámetro de color a^* aumentó de 7,3 a 17,7 y el parámetro de color b^* aumentó de 35,1 a 41,5.; también se determinó los parámetros de color C^*, h^* y ΔE^* para cuantificar de manera cromática, tonal y global los cambios de color.

Quevedo, Díaz, Caqueo, Ronceros, y Aguilera (2009) describieron el pardeamiento enzimático basado en el color irregular de imágenes de

superficie de la pera mediante las imágenes de textura fractal de Fourier para calcular un valor de dimensión fractal (FD) en un área seleccionada de la imagen, que representa la complejidad de la distribución del color en luminosidad o L^* en el área analizada. Los objetivos de esta investigación fueron aplicar la textura fractal de Fourier a las imágenes de rodajas de pera para describir el pardeamiento enzimático y comparar con el método tradicional de parcelación basado en un valor medio L para tres cultivares de pera. Durante la cinética, L^* disminuyó cuando la FD aumentó, lo que indica una mayor complejidad en la distribución de los valores de L^* en un área analizada seleccionada, durante la cinética del pardeamiento enzimático de la pera. El modelo empírico de la ley de potencia fue adecuado para correlacionar datos cinéticos de pardeamiento enzimático tanto para el FBI como para el método tradicional o valor medio L^* . Sin embargo, para las rodajas de pera, el desarrollo de patrones de color no uniformes se observó durante el dorado, y el valor L^* no es un valor homogéneo. Cuando se analiza la misma área durante la cinética, la distribución de los valores de L^* en el área, parece más heterogénea, y surgen patrones de color no uniformes en las imágenes. Este fenómeno no se cuantifica cuando se usa un promedio de valores L^* por lo que, en el caso del método tradicional, el valor medio de L^* disminuyó entre 52,4 y 47,6, lo que confirma que las imágenes de la superficie del corte de pera se vuelven marrones. Simultáneamente, el valor de FDL^* aumentó de 2,24 a 2,83 mostrando una irregularidad creciente de SIL^* , lo que indica que los valores de L^* en las imágenes disminuyeron de manera no homogénea durante la cinética de oscurecimiento. Al aplicar la textura fractal de Fourier a este SIL^* , se obtuvo

un valor de FDL^* igual a 2,24; cuando el promedio de estos valores L^* correspondió a 46,9.

Pedreschi, Moyano, Kaack, y Granby (2005) describieron un trabajo cuyo objetivo fue estudiar la cinética del dorado durante la fritura de papas fritas blanqueadas y no blanqueadas utilizando el método dinámico y encontrar una relación entre el desarrollo del dorado y la formación de acrilamida. Antes de freír, las rodajas de papa se blanquearon en agua caliente a 85 °C durante 3.5 min. Se utilizaron rodajas sin blanquear como control. El control y las rebanadas de papa blanqueadas (variedad Panda, diámetro:37 mm, ancho: 2,2 mm) se frieron a 120, 150 y 180 °C hasta alcanzar contenidos de humedad similares al 1,8% (base total) y se midió su contenido de acrilamida y color final. Los cambios de color se registraron a diferentes tiempos de muestreo durante la fritura a las tres temperaturas mencionadas utilizando el parámetro de enrojecimiento cromático (a^*). Los datos experimentales de la temperatura de la superficie, el contenido de humedad y el cambio de color en las papas fritas durante la fritura se ajustaron a una relación empírica con coeficientes de correlación superiores al 90%. Se usó una ecuación de tasa de primer orden para modelar la cinética del cambio de color. En todos los casos, la energía de activación de Arrhenius disminuye junto con la disminución del contenido de humedad del chip. El escaldado redujo la formación de acrilamida en las papas fritas en un porcentaje similar al 64% (valor promedio) en comparación con las papas fritas de control a las tres temperaturas de aceite probadas. Para los dos pretratamientos estudiados, el contenido promedio de acrilamida aumentó -58 veces a medida que la temperatura de fritura aumentó de 120 a 180 °C. Hubo una correlación lineal

entre el contenido de acrilamida de las papas fritas y su color representado por el componente de enrojecimiento (a^*) en el rango de temperaturas estudiadas.

Quevedo, Lopez, Aguilera, y Cadoche (2001) describieron la cinética del pardeamiento enzimático para tres cultivares de manzana y consiste en la cuantificación de colores irregulares, en lugar de utilizar el promedio de color presente en la superficie de la manzana durante el pardeamiento enzimático mediante un sistema de visión por computadora (CVS) con imágenes digitales para medir el color desde el espacio RGB que son transformados a valores de L (Luminosidad), a y b utilizando una función de transformación cuadrática y el valor de la dimensión fractal (FD) para representar la complejidad de la distribución de intensidad de la luminosidad sobre la superficie. Los objetivos de esta investigación fueron aplicar la textura fractal de Fourier a las imágenes de rodajas de manzana para describir el pardeamiento enzimático y comparar con el método tradicional. El valor de L disminuyó de 47,5 a 40 indicando que las imágenes de la superficie de la rodaja se vuelven marrones. Simultáneamente, el valor de FD aumentó de 2,04 a 2,75 indicando que los valores de L en las imágenes disminuyeron de manera no homogénea durante la cinética de oscurecimiento. Durante la cinética, los parámetros de luminosidad disminuyeron cuando FD aumentó, lo que indica una mayor complejidad en la distribución de los valores de L en el área seleccionada analizada, durante la cinética del pardeamiento enzimático, para todos los cultivares. El modelo empírico de la ley de potencia fue adecuado para correlacionar datos cinéticos de pardeamiento enzimático tanto para el FBI como para el método tradicional. Sin embargo,

las tasas de pardeamiento enzimático que utilizan el método *FBI* fueron 14,3 – 23,2 veces más altas que las tasas calculadas con un valor medio *L*.

1.3. Formulación del problema de investigación

¿Cómo el modelo de visión por computadora permite predecir el fenómeno de cambio de color en frituras de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) huagalina, huayro, limeña y peruanita?

1.4. Delimitación del estudio

En este trabajo, se registró el cambio de color de tres repeticiones de 31 imágenes por variedad de 06 trozos de 1 cm² de grosor por 3 cm de longitud en 150 segundos a 190 °C de frituras de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como huagalina, huayro, limeña y peruanita.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

Como se puede ver, el color como parámetro de evaluación facilita la evaluación de los productos, haciendo que sea rápido y eficaz, en algunos casos. Recientemente, en la industria de alimentos ha habido un rápido crecimiento desde la década pasada, en el desarrollo y uso de métodos no invasivos para evaluar la calidad (Lin et al. 2003) y una extensa variedad de ejemplos entre ellos el uso de visión computarizada en la industria de alimentos (Panigrahi y Gunasekaran, 2001).

Las ventajas de utilizar cámaras digitales para medir el color en imágenes son la de obtener una resolución ajustable y menor costo económico y sus

resultados son parecidos a la de un espectrofotómetro (Valencia, 2003).

Los modelos matemáticos se usaron generalmente para evaluar la calidad de los alimentos debido a su capacidad para describir el deterioro cinético en los alimentos de una manera rápida y económica utilizando una serie de parámetros, como una constante de velocidad y energías de activación. También se han aplicado para predecir el efecto del procesamiento de los alimentos en parámetros críticos de calidad (Valdramidis et al., 2010).

En este sentido y considerando todos estos aspectos, se llevó a cabo, la presente investigación, la cual centró su análisis en el uso de técnicas de visión por computadora para la industria alimentaria, eliminando la subjetividad de la inspección humana visual, la adición de precisión y consistencia y así conocer el cambio del color en frituras de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como huagalina, huayro, peruanita y limeña; modelando su cinética con el modelo de visión por computadora software libre ImageJ. y aplicando los modelos matemáticos de orden cero, primer orden y Weibull poder predecir el cambio de color y su idoneidad con la realidad.

En conclusión la importancia del presente trabajo de investigación para la tecnología de alimentos e Industria alimentaria en el Perú es que contribuyó 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.

1.6. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

- ✓ Determinar el cambio de color y variación de humedad en fritura de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como huagalina, huayro, limeña y peruanita; modelando su cinética con el modelo de visión por computadora.

Objetivos específicos:

- ✓ Realizar la elaboración de frituras de papa.
- ✓ Determinar el cambio de color mediante el análisis de Imagen de frituras de papa.
- ✓ Determinar la variación de humedad mediante la pérdida de agua de frituras de papa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

El color de la papa (*Solanum tuberosum*) en el proceso de fritura cambia de amarillo a tono marrón por la reacción de Maillard que es la reacción de aminoácidos libres y azúcares reductores a temperaturas alta que provoca la formación de pigmentos marrones llamados melanoidinos; este cambio de color es observado por los ojos en presencia de luz porque la papa (*Solanum tuberosum*) absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes que son captadas por los ojos e interpretadas en el cerebro como distintos colores según las longitudes de ondas; y es descrito matemáticamente por el modelo de color *Lab* que es tridimensional y describe todos los colores que puede percibir el ojo humano mediante el parámetro (*L*) que representa la luminosidad del color entre 0 a 100, parámetro (*a*) entre verde y rojo y el parámetro (*b*) entre azul y amarillo y aplicando los modelos matemáticos de orden cero, primer orden y Weibull se predice el cambio de color y su idoneidad con la realidad.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Composición química

La papa (*Solanum tuberosum*) está compuesta en promedio para 100

gramos, de 87 kcal, 23,91 g de materia seca y 76,09 g de agua; siendo el almidón un 60 % de la materia seca (Pertuz, 2008), como se esquematiza en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición aproximada de la papa (*Solanum tuberosum*)

Constituyente	Cantidad en g /100 g de papa
Fibra	1,80
Proteínas	1,87
Carbohidratos	20,13
Lípidos	0,10
Vitamina C	0,013
Hierro	0,00031
Calcio	0,0005
Fósforo	0,00044
Agua	76,08575

Fuente: Pertuz (2008).

Los carbohidratos son constituidos por gran cantidad de almidón y un pequeño porcentaje de sacarosa, fructosa y glucosa; y las proteínas tienen alto contenido de lisina y bajo contenido de aminoácidos azufrados, pero con presencia de glucoalcaloides e inhibidores de las proteinasas y un contenido bajo en grasa. Con respecto a las vitaminas son de pequeñas cantidades de ácido ascórbico, B₁, B₆ y niacina y están en la cáscara; y los minerales son de altos aportes de potasio, fósforo y bajo contenido de ácido fítico y de sodio. Existe fibra en la cáscara acompañado de pectina en forma de pectatos solubles de calcio, celulosa, lignina y hemicelulosas; está constituido por enzimas como fosforilasas, polifenoloxidasas, lipooxigenasas; tiene ácidos orgánicos como el málico,

el cítrico y el clorogénico que reacciona con iones de hierro; presencia de pigmentos como flavonoides y antocianinas que se comportan como antioxidantes en variedades cuya piel es de color rojo violeta.

En papas recientemente cosechadas a temperaturas de 10 a 20 °C el 98% de los carbohidratos están en equilibrio en la forma de granos de almidón entre un 65-89% del peso seco y consisten de amilosa y amilopectina; pero a temperaturas por debajo de 5 °C el contenido de azúcares se incrementa marcadamente debido a la acción de la fosforilasa que rompe el almidón a glucosa-1-fosfato. Algunos de éstos son convertidos a sacarosa por la sintetiza fosfato sucrosa. Subsecuentemente, la hidrólisis de parte de la sacarosa a glucosa y fructuosa es regulada por los niveles comparativos de p-fructo-furanosidasa o invertasa y una p-fructo-furanosidasa como inhibidor.

La presencia de azúcares en la papa provoca la reacción con los aminoácidos, ácido ascórbico y otros compuestos orgánicos para producir pigmentos marrones; ocasionando también el sabor dulce en las papas cocinadas por la excesiva producción de azúcares a partir de los almidones; se evitaría dicha situación si se realiza un reancondicionamiento de la papa es decir almacenarla a baja temperatura por 2-4 semanas ya que los azúcares son convertidos a almidones (Pertuz, 2008).

2.2.2. Variedades.

En el Perú existen especies silvestres y que son no comestibles por su sabor amargo y alta toxicidad, pero dan origen a especies nativas

domesticadas y estas a variedades domesticadas comestibles que son más aceptables o no por su grado de rendimiento, adaptabilidad, color, resistencia a enfermedades, ciclo de cultivo y composición (MINAG, 2011). La papa huayro se encuentra dentro de la especie *S.x chaucha*; alto rendimiento (30 t/ha); tubérculos cilíndricos, cáscara roja, pulpa amarillo claro, ojos profundos; tardía (180 días); inmune a verruga y a virus y, tolera a ranchas; excelente calidad culinaria; materia seca sobre el 34% (Vásquez, 1988).

La papa huagalina se halla dentro de la sub-especie indígena; de bajo rendimiento de 15 t/ha; tardía de 195 días; tubérculos ovals o redondos, cáscara rojiza o rosado intenso con manchas amarillentas alrededor de los ojos, pulpa amarillo intenso, ojos superficiales; excelente calidad culinaria; materia seca de 32%; susceptible a racha, verruga, heladas y su valor proteico es alto que se acerca a la caseína de la leche por su alto contenido de aminoácidos esenciales, como lisina, valina y fenilalanina; y bajo en metionina, cistina e histidina (Vásquez, 1988).

La papa amarilla se encuentra dentro de la especie *S. stenotormun*; bajo rendimiento de 15 Tm/Ha; tubérculos redondos a ovalados, cáscara amarilla, ojos profundos; excelente calidad culinaria; materia seca de 34%; susceptible a racha, verruga, a todos los virus (Vásquez, 1988).

2.2.3. Color en frituras de papa (*Solanum tuberosum*)

El color es la impresión producida por un tono de luz en los órganos visuales, o más exactamente, es una percepción visual que se genera en el cerebro de los humanos y otros animales al interpretar las señales

nerviosas que le envían los fotorreceptores en la retina del ojo, que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético; todo cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes. Las ondas reflejadas son captadas por el ojo e interpretadas en el cerebro como distintos colores según las longitudes de ondas correspondientes (Zelanski y Fisher, 2001).

La pulpa de la papa (*Solanum tuberosum*) va de blanca a amarilla dependiendo de la variedad; el color amarillo es debido generalmente a la presencia de pigmentos carotenoides y el mayor carotenoide identificado en las papas provenientes de *Ssp. Tuberosum* es la violaxantina, seguida por la luteína en bajas concentraciones y por la neoxantina A y neoxantina (Vasquez, 1988).

Al realizar un proceso de fritura a temperaturas adecuadas entre 170 °C y 190 °C ocurre varios cambios como transferencia de calor, pérdida de agua, deformaciones mecánicas, cambio de color o pardeamiento no enzimático, degradación de proteína, gelatinización y retrogradación (Moreira, 2001).

El color de la papa frita es el resultado de las reacciones no enzimáticas de Maillard, que dependen del contenido superficial de azúcares reductores, temperatura y periodo de fritura puesto que el color de las papas fritas está también altamente relacionado con el contenido de acrilamida, compuesto tóxico que se genera en el dorado de las mismas. Las papas tienden a obtener un color más oscuro a medida que avanza el tiempo de fritura dado como resultado de las reacciones de

pardeamiento de la superficie no enzimática y cambios estructurales acelerados por las altas temperaturas de aceite durante el proceso de fritura (Pedreschi et al., 2006).

Así, el aspecto de color resultante de papas fritas también depende de la cantidad y distribución de las regiones marrones desarrolladas durante la fritura, así como el resto aceites absorbidos en la superficie después de freír (Mendoza et al., 2007). El color del alimento es afectado por el tiempo que permanece expuesto en el aceite, tendiendo a experimentar un oscurecimiento, en tanto que cuando más alta la temperatura de freír, más oscuras se tornarán las papas fritas, ya que las reacciones no enzimáticas de dorado son de alta temperatura (Pedreschi et al., 2006).

2.2.4. Visión computacional.

Hunter (1996) manifiesta que la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), con el fin de evaluar el color creó un método para expresar el color de un objeto usando valores o números y se le denominó espacio de color. El espacio de color $L^* a^* b^*$, CIELAB, tiene como principio que el color no pueden ser rojo y verde o amarillo y azul al mismo tiempo por lo que diseñó una nomenclatura donde (L^*) indica la luminosidad y (a^*) y (b^*) son las coordenadas cromáticas como:

$L^* = \text{luminosidad}$

$a^* = \text{coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)}$

$b^* = \text{coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)}$

Se le dio valores para cada coordenada L^* , a^* , y b^* obteniendo un valor de color para un objeto y por último se comparó con el estándar obteniendo las diferencias en coordenadas absolutas de color llamadas Delta (Δ); como por ejemplo Deltas por L^* (ΔL^*), a^* (Δa^*) y b^* (Δb^*) y pueden ser positivas (+) o negativas (-); siendo la diferencia total, Delta E (ΔE^*), como:

$$\Delta L^* = \text{diferencia en luz y oscuridad (+ = más luminoso, - = más oscuro)}$$

$$\Delta a^* = \text{diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)}$$

$$\Delta b^* = \text{diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)}$$

Para determinar la diferencia total de color entre las tres coordenadas, se debe usar la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \text{diferencia total de color}$$

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

Según Brosnan (2004), la utilización de 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. Los alimentos son sistemas complejos representados por su forma, textura y colores y para ser evaluados correctamente se deben obtener imágenes de alta calidad que depende del tipo de cámara fotográfica y de la iluminación; como puede verse en la Figura 1, donde se muestra los pasos que involucra el análisis de imágenes que son; adquisición de imagen en cámara, pre-procesamiento, segmentación, conversión de color de RGB a $L^* a^* b^*$ y análisis de los valores $L^* a^* b^*$.

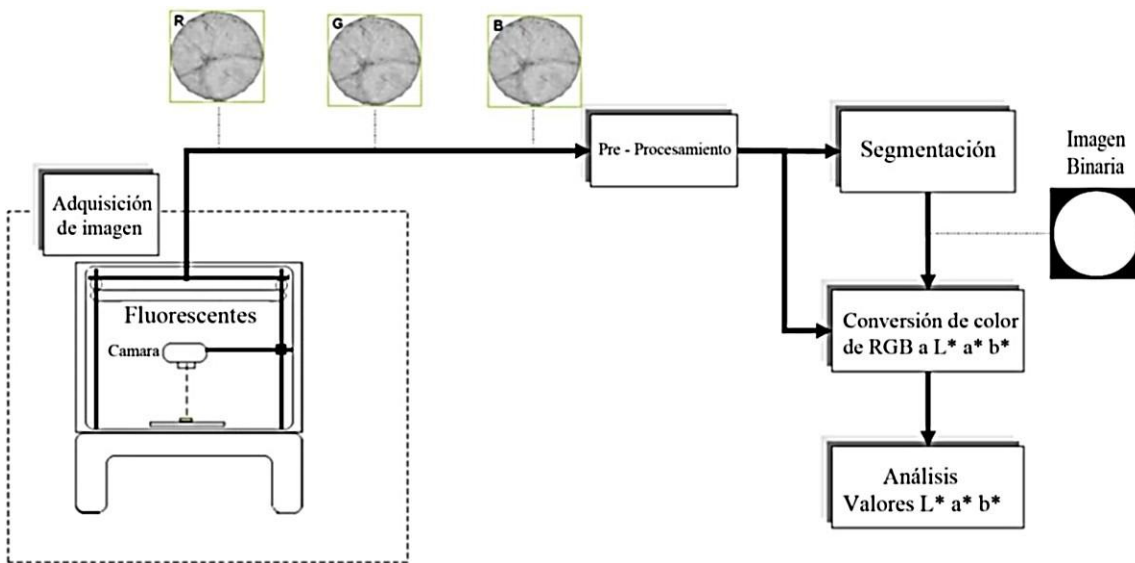


Figura 1. Esquema de un proceso de análisis de imágenes: adquisición de la imagen, pre-procesamiento, segmentación, conversión de color y valores $L^* a^* b^*$.

El sistema de visión computacional como se observa en la Figura 1, consisten en un cubo de madera de 1 metro x 1 metro x 1 metro. El sistema de iluminación consiste en cuatros tubos fluorescentes Philips, luz natural, 18 watts (longitud de 60 cm), correspondiente a la luz del día. Los

cuatro tubos se ubican horizontalmente, formando un cuadrado por sobre toda la cámara para que al iluminar se cree un núcleo de luz homogéneo en el lugar donde se ubican las muestras. El cubo de toma de imágenes tiene sus paredes interiores negras y la superficie donde se ubica la muestra es de goma negra, todo esto a fin de evitar alteraciones producidas por brillo sobre la cámara y muestras (Pedreschi et al., 2006). Para el sistema de captura la caja posee un soporte para la cámara de video digital canon EOS, ubicada verticalmente a 22,5 cm de distancia de las muestras con un ángulo alrededor de 45° entre su eje de la cámara y las fuentes de iluminación. Las imágenes se capturan con la máxima resolución (1024x780) y conectadas a la computadora.

Para analizar la imagen, primero se pasa a la toma de fotos que se realiza con el software EOS Utility proveniente de la cámara Canon; la extracción de las características de color de las imágenes se realiza en una interface gráfica de usuario creado en MatLab, el cual fue previamente calibrado con el colorímetro KINGWELL; luego de acondicionar la muestra dentro del equipo de visión computacional se procede a encender la cámara y posteriormente a ingresar al programa EOS Utility, la cual es una aplicación propia de la cámara digital, con la que nos permite visualizar automáticamente la imagen en vivo de la muestra.

El procesado de la imagen consiste en la conversión de unidades de color RGB a $L * a * b *$ (del segmento etiquetado) valores necesarios para la respectiva gráfica y análisis. Para convertir el espacio de color RGB de la imagen al espacio de color CIE Lab es necesario realizarla en dos fases. La primera fase consiste en la conversión de RGB a XYZ y la segunda de

XYZ al espacio de color CIELab (Alva y Ramirez 2015).

El modelo matemático más común y simple que se usa para describir los cambios en la calidad de los alimentos en condiciones isotérmicas es la llamada ley de velocidad general o modelo de orden. Esta ley, derivada de una reacción química simple, expresa una relación entre un solo reactivo y su concentración; en esta ley C es la concentración de un componente o cualquier indicador asociado a la calidad del alimento que está creciendo o perdiendo en el tiempo (t) y k (tiempo^{-1}) es una constante que representa la velocidad de la reacción. La ley de velocidad general se usa generalmente para modelar la cinética de los alimentos cuando se aplica la ecuación (1) (Saavedra et al., 2013).

C = concentración de color

t = tiempo de proceso

$k(t^{-1})$ = velocidad rx

α = frecuencia

β = factor B

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

$$C = C + kt \quad (2)$$

$$C = C_0 e^{kt} \quad (3)$$

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

Otro modelo matemático simple que se ha utilizado para describir la cinética del color es el modelo de Weibull visualiza un fenómeno, en el que la fracción de las moléculas disminuye con el tiempo. Por lo tanto, no es sorprendente que las curvas cinéticas de los alimentos se puedan

describir con el modelo de Weibull; este consiste en una ley donde C/C_0 es la fracción de alteración de un componente con respecto al valor inicial; α es un parámetro de frecuencia y cuando α es positivo, la ecuación describe el crecimiento isotérmico exponencial y cuando es negativo, describe una desintegración isotérmica exponencial. El valor β es un parámetro llamado factor B y cuando $\beta > 1$, la curva cinética tiene concavidad hacia abajo y cuando $\beta < 1$, concavidad hacia arriba. En la ecuación (5), cuando $\beta = 1$, describe una cinética de primer orden. En esta situación $k = \alpha$ (Quevedo et al., 2011).

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

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis central de la investigación

El modelo de visión por computadora tiene un nivel de predicción adecuado en el modelado del cambio de color en frituras de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como huagalina, huayro, limeña y peruanita.

3.2. Variables e indicadores de la investigación

✓ Variables e indicadores dependientes:

Color; siendo sus indicadores los parámetros $L * a * b *$.

Masa; siendo su indicador la unidad de medida en *gramos*.

✓ Variables e indicadores independientes:

Variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como huagalina, huayro, limeña y peruanita; siendo sus indicadores los órganos de la vista, tacto y gusto.

3.3. Métodos de la investigación

✓ Elaboración de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).

✓ Análisis de Imagen de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).

✓ Pérdida de agua de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).

3.4. Diseño o esquema de la investigación

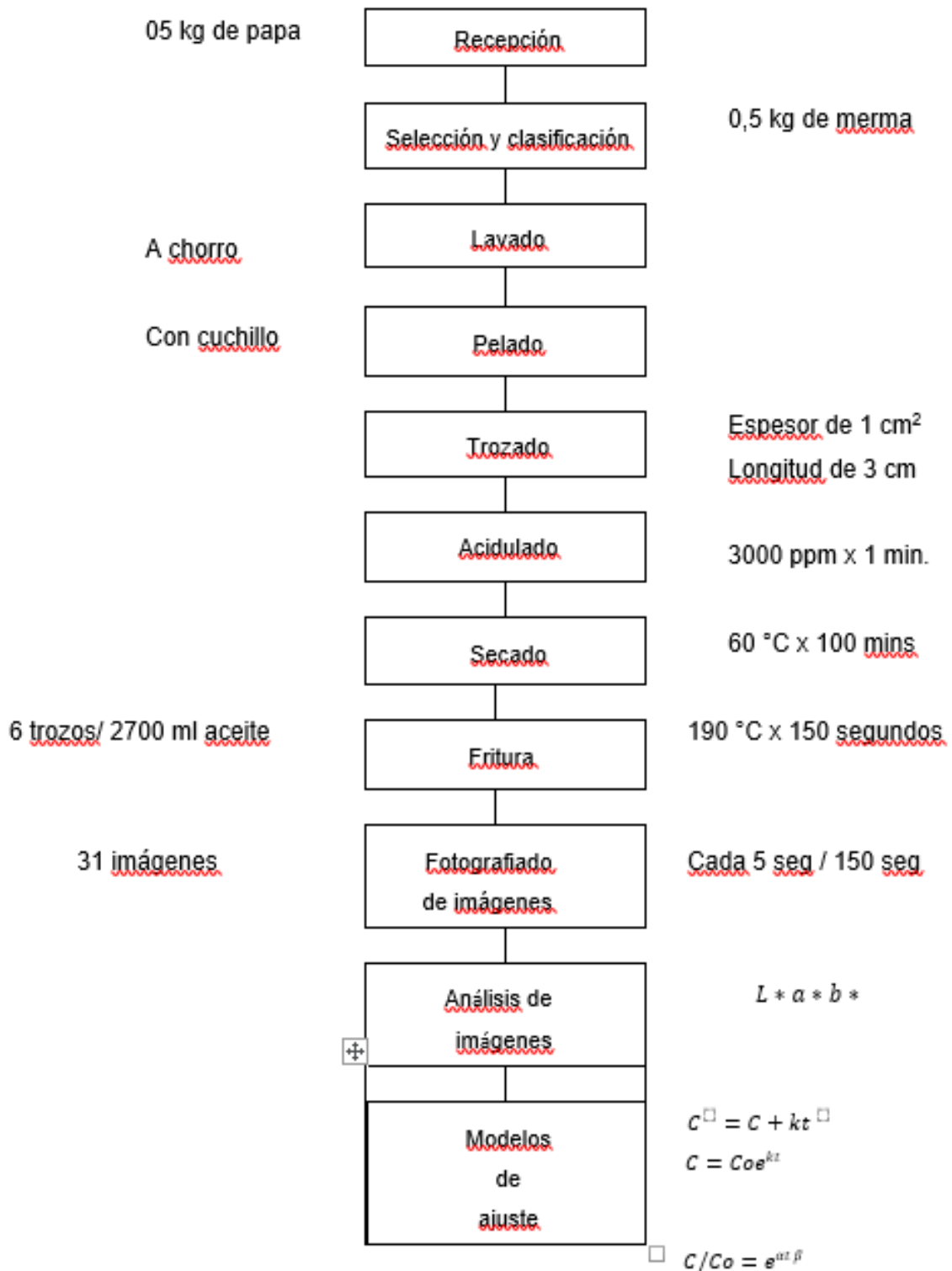


Figura 2. Esquema Experimental de la investigación

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 fueron transportados al Laboratorio de Ingeniería de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (Perú); donde se realizó actividades de procesamiento de papa fritas y análisis de imagen como se esquematiza en la Figura 2.

La investigación se centró en el análisis de imagen que consistió en la visualización, captura, guardado, segmentado y el procesado es decir la obtención de los parámetros colorimétricos $L^* a^* b^*$ de seis trozos por cada 5 segundos a 190 °C en 150 segundos con tres repeticiones por variedad; obteniendo 31 imágenes por variedad.

Se encendió la cámara, se capturó la imagen y se guardó en una carpeta de archivo en la computadora; posteriormente se procedió a separar las zonas de interés de la escena arrojando la imagen segmentada; posteriormente se realizó el procesamiento con la conversión de unidades de color RGB a $L^* a^* b^*$.

De una imagen por 06 trozos por 03 repeticiones por variedad se obtuvieron 18 valores y de ellos sus valores promedio de $L^* a^* b^*$; luego se reemplazaron los valores promedio en las ecuaciones de orden cero, primer orden y de Weibull obteniendo sus parámetros $(L^*)(a^*)(b^*)$ y así se realizó para las 31 imágenes con la obtención de los valores que se graficaron en 150 segundos en una curva ajustada por modelo o ecuación.

Como por ejemplo para obtener los valores colorimétricos de una imagen en el procesamiento de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) se diseñó el siguiente procedimiento:

Donde L : valor de luminosidad de 0 a 100

M1: promedio de (L) primera repetición

M2: promedio de (L) segunda repetición

M3: promedio de (L) tercera repetición

Mt: promedio total de (M)

Lo = valor de luminosidad promedio de inicio del proceso

n : número de muestras

N: número de repeticiones

a) Se calculó:

$$M1 = \sum L / n$$

$$M2 = \sum L / n$$

$$M3 = \sum L / n$$

$$Mt = \sum M / N$$

$$Mt = Lo$$

b) Se reemplazó:

(Lo) se reemplaza en la ecuación de orden cero:

$$L * = Lo + kt$$

(Lo) se reemplaza en la ecuación de primer orden:

$$L * = Loe^{kt}$$

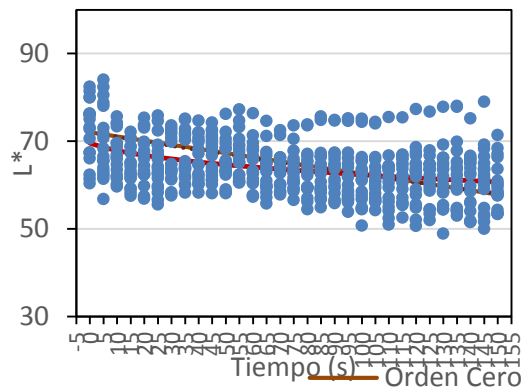
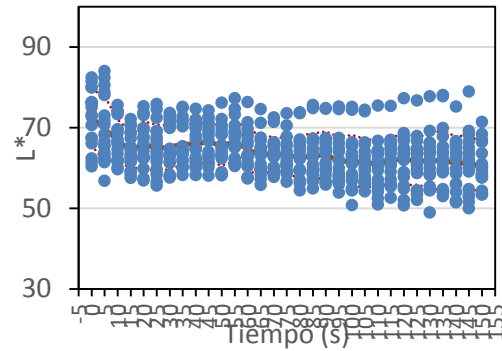
(Lo) se reemplaza en la ecuación de Weibull:

$$L */Lo = e^{\alpha t \beta}$$

Para el resto de imágenes se procedió de la misma forma, obteniendo por cada imagen un valor L promedio y un L^* ajustado.

c) Se graficó:

Los valores L promedio y L^* ajustados se graficaron con el tiempo obteniendo sus respectivas curvas.



3.5. Población y muestra

✓ Población

Papas de las variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita.

✓ Muestra

La Muestra fue no probabilística de cada variedad.

3.6. **Actividades del proceso investigativo**

- ✓ Elaboración de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).
- ✓ Análisis de Imagen de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).
- ✓ Pérdida de agua de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).

3.7. **Técnicas e instrumentos de la investigación**

✓ Materiales

- Materiales biológicos:

Papa (*Solanum tuberosum*) variedades huagalina, huayro, limeñay peruanita.

- Insumos:

Aceite vegetal de girasol y algodón de la marca Primor Premium (Alicorp Perú SAA).

- Materiales adicionales:

Vasos de precipitación 100, 500 y 1000 ml

Embudo de vidrio

Bagueta

Cortadora manual de papas

Regla graduada

Pelador manual

Cuchillo

Bandeja

- Equipos:

Cámara digital CANON EOS T4i.

Estufa MEMMERT CIMATEC S.A.

Computadora CORE i3

Olla freidora eléctrica de una poza broaster de acero inoxidable.

Equipo de sistema de visión computacional

Balanza semianalítica HXBRS-232 (precisión 0,01g, rango 600g)

Se realizó las siguientes técnicas como se esquematiza en la Figura 2.:

- ✓ Elaboración de frituras de papa (*Solanum tuberosum*)

La recepción de la papa (*Solanum tuberosum*) se realizó con cinco kilogramos por cada variedad; se retiró lo contaminado y con deterioro físico; se lavó con chorro de 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 cm² 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.

✓ Análisis de imagen de frituras de papa (*Solanum tuberosum*).

Se procedió a un análisis de imagen de las frituras de papa para cada variedad con sus respectivas tres repeticiones en el mismo proceso de fritura; previamente 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, a una temperatura controlada a 25 °C a 85% de humedad relativa. Se realizó el fotografiado en el instante que se inicia la fritura de papas cada cinco segundos durante 150 segundos de tiempo de fritura y se visualizó la reacción del cambio de color capturando 31 imágenes o tomas con una resolución de 4000 × 3000 píxeles en cada experimento por variedad; siendo las imágenes del color de las papas fritas guardadas y etiquetadas en un archivo.

✓ Pérdida de agua de frituras de agua

Para determinar la pérdida de agua se evaluó la humedad en ocho

tiempos consecutivos de intervalos; la primera desde el tiempo inicial hasta los 5 primeros s; la segunda entre 5 y 10 s; la tercera entre 10 y 15 s; la cuarta entre 15 y 20 s, la quinta entre 20 y 30 s, la sexta entre 30 y 60 s, la séptima entre 60 y 100 s y la última etapa de fritura desde los 100 hasta los 150 s finales.

Cada muestra se retiró del aceite caliente según el tiempo correspondiente y se tomó el peso inmediatamente, seguidamente se sometió a secado por aire caliente en estufa (Memmert Cimatec S.A.) a 105 °C durante 5 horas y se determinó su contenido de humedad final luego del proceso de fritura siguiendo el método gravimétrico de determinación de humedad por estufa (AOAC, 2016).

3.8. Procedimiento para la recolección de datos

Se procedió a un análisis de imagen de las frituras de papa para cada variedad con sus respectivas tres repeticiones en el mismo proceso de fritura; previamente 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, a una temperatura controlada a 25 °C a 85% de humedad relativa. 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 × 3000 píxeles en cada experimento por variedad; siendo las imágenes del color de las papas fritas guardadas y etiquetadas en un archivo.

3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

La investigación se centró en el pre-procesamiento, segmentación (cosecha) de imagen, y obtención de los parámetros colorimétricos $L^* a^* b^*$ 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 parámetros $(L^*)(a^*)(b^*)$ correspondientes al cambio de color en el proceso de fritura de papa. Para saber si existe o no diferencias entre los parámetros de $L^* a^* b^*$ que se obtuvieron de cada una de las tres ecuaciones de orden cero (2), de primer orden (3) y de Weibull (5); se compararon estadísticamente mediante el uso de t student al 5% de la significación (Quevedo et al., 2011).

$C =$ concentración de color

$(t) =$ tiempo de proceso

$k(t^{-1}) =$ velocidad rx

$\alpha =$ frecuencia

$\beta =$ factor B

$$C = C + kt \quad (2)$$

$$C = C_0 e^{kt} \quad (3)$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{at\beta} \quad (5)$$

Los modelos se ajustaron para minimizar la asimilación de las medidas (RSS) de acuerdo con (Zwietering et al., 1993); es decir, $RSS = \sum [L * i - L * e]^2$, donde $L * i =$ valor medido de $L * y L * e =$ valor estimado de $L * (predicción del modelo)$.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variación del color de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina.

La luminosidad o claridad (L) de la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina con un valor inicial promedio de 72,52 disminuyó en el tiempo de proceso de fritura hasta un valor final promedio de 60,15, como se aprecia en el Anexo 02 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.

Se obtuvieron valores de luminosidad o claridad ajustados en el modelo de orden cero de 72,05 a 57,84, de primer orden de 72,00 a 58,08 y de Weibull de 69,578 a 60,681; de todos los resultados los de Weibull tuvieron menor variabilidad y predijeron mejor el valor de luminosidad (L) o la cinética de cambio de color ya que hubo menos dispersión, se agruparon más cerca de su media, fue más representativo, dependieron mejor del tiempo y su coeficiente de determinación (R^2) fue de 82,960% mayor que 75,20% y 76,20% para el de orden cero y primer orden respectivamente como se indica en el Anexo 02 y se corrobora 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. La cinética de cambio de color se representó por curvas elaboradas por varios puntos como se puede distinguir en la Figura 3a la curva promedio y en la Figura 3b al modelo de orden cero, primer orden y de Weibull con un coeficiente de correlación de Pearson es entre $-1 < r < 0$, ósea una correlación negativa porque cuando aumenta el tiempo de proceso disminuye la luminosidad o claridad (L^*) aumentando el pardeamiento.

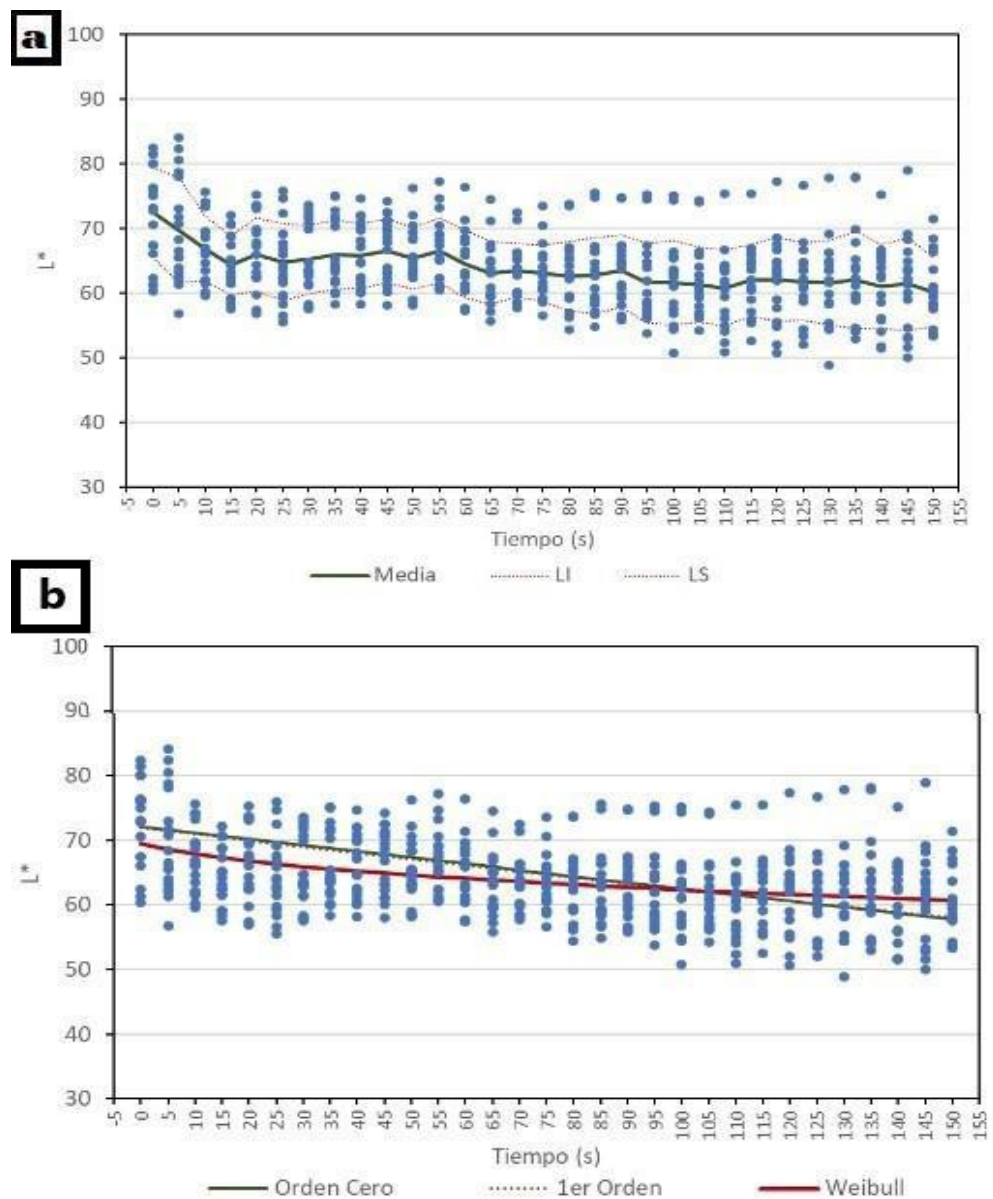


Figura 3. Curvas de luminosidad variedad huagalina, (a) modelo orden cero (b) modelo de primer orden y Weibull.

Observamos en la Figura 3a que la curva promedio no es una línea recta, no intercepta o superpone la mayoría de puntos y además la nube de puntos es gruesa y están alejados de la curva por lo que indica que la curva es poco representativa de la nube de puntos; en la Figura 3b se observa que las curvas ajustadas se asemejan a una recta y existe un poco de mayor intercepción o superposición con los puntos o están más cerca de la curva dando un coeficiente de determinación bajo (R^2) de 75,20% para el modelo de orden cero, de 76,29 para el de primer orden y de 82,96 para el modelo de Weibull siendo el que más se ajusta por ser mayor de 80% es decir que la variación de luminosidad (L) si depende del tiempo y la curva representa mejor la nube de puntos ya que sus medias y varianzas del estimado y del promedio son parecidas como lo describe Rey y 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 concluyendo que el modelo de Weibull era el mejor método que describe la cinética de inactivación.

Según los valores obtenidos de $\alpha = -0,04144$ y $\beta = 0,425$ en la descripción de la cinética de color con el modelo de Weibull mostrado en el Anexo 09, 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 3b.

De los valores de luminosidad (L) descritos en Anexo 02 y las imágenes observadas en la Figura 4a y Figura 4b 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 al final del proceso o menor valor de (L), cómo se observa en la Figura 4c y Figura 4d; corroborando lo manifestado por Alva y Ramírez (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 (que representan amarillez y azulado) y reafirmado por Piyalungka, Sadiq, Assavarachan y Nguyen (2019) que obtuvieron en frituras de papa (*Solanum tuberosum*) al vacío una disminución del color

amarillento y el contenido de carotenoides y aumentó el color marrón oscuro al aumentar la temperatura y tiempo de fritura.

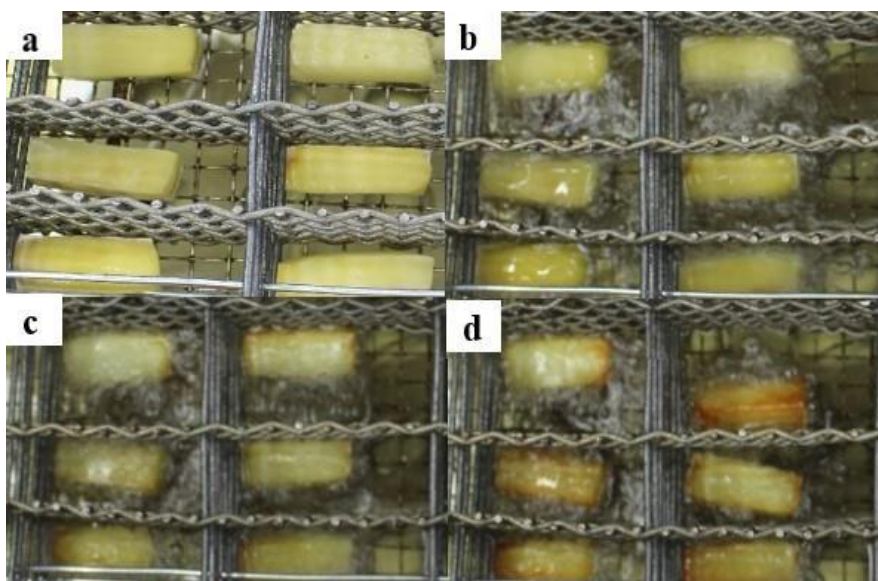


Figura 4. Variación de Imágenes variedad huagalina, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.

4.2 Variación del color de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huayro.

La luminosidad o claridad (L) de la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huayro con un valor inicial promedio de 84,24 disminuyó en el tiempo de proceso de fritura hasta un valor final promedio de 65,25, como se aprecia en el Anexo 03 es decir aumentó el pardeamiento o ennegrecimiento por el incremento de la reacción de Maillard y pérdida de humedad corroborado por Saldaña y Huamán (2012) obtuvieron en rodajas de yacón (*Smallantus sonchifolius*) que el valor L^* disminuyó de 65.9 a 60. 8, el parámetro de color a^* aumentó de 7,3 a 17,7 y el parámetro de color b^* aumentó de 35,1 a 41,5 debido al oscurecimiento de las muestras.

Se obtuvieron valores de luminosidad o claridad ajustados en el modelo

de orden cero de 83,29 a 54,68, de primer orden de 83,29 a 55,07 y de Weibull de 68.588 a 63,010; de todos los resultados los de Weibull tuvieron menor variabilidad y predijeron mejor el valor de luminosidad (L) o la cinética de cambio de color ya que hubo menos dispersión, se agruparon más cerca de su media, fue el más representativo, dependieron mejor del tiempo y su coeficiente de determinación (R^2) fue de 15,80 por ciento mayor que 3,48 y 4,23 para el de orden cero y primer orden respectivamente como se indica en el Anexo 03 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 se representó por curvas elaboradas por varios puntos como se puede distinguir en la Figura 5a la curva promedio y en la Figura 5b al modelo de orden cero, primer orden y de Weibull con una correlación negativa porque cuando aumenta el tiempo de proceso disminuye la luminosidad o claridad (L) aumentando el pardeamiento.

Observamos en la Figura 5a que la curva promedio no es una línea recta y es muy desuniforme, no solo no intercepta o superpone la mayoría de los puntos, sino que están muy alejados de la curva por lo que indica que es casi nada representativa de la nube de puntos y en la figura 5b se observa que las curvas ajustadas se asemejan a una recta pero existe poca interceptación o superposición con los puntos y no están cerca de la curva dando un coeficiente de determinación bajo (R^2) de 3,48% para el

modelo de orden cero, de 4,23 para el modelo de primer orden y de 15,80 para el modelo de Weibull siendo el que más se ajusta pero es menor de 80%, es decir, la variación de luminosidad (L) depende poco del tiempo y la curva representa poco la nube de puntos ya que sus medias y varianzas del estimado y del promedio no son parecidas, como lo describen Rey y Ramil (2007) y Maingonnat (2014), el modelo Weibull es el más adecuado para describir los cambios en la textura de la manzana bajo maceración enzimática al utilizar la correlación de Pearson; además se confirma por lo manifestado por Sampedro y Fan (2014) que determinaron que Weibull fue el mejor modelo para la cinética de inactivación de la polifenol oxidasa.

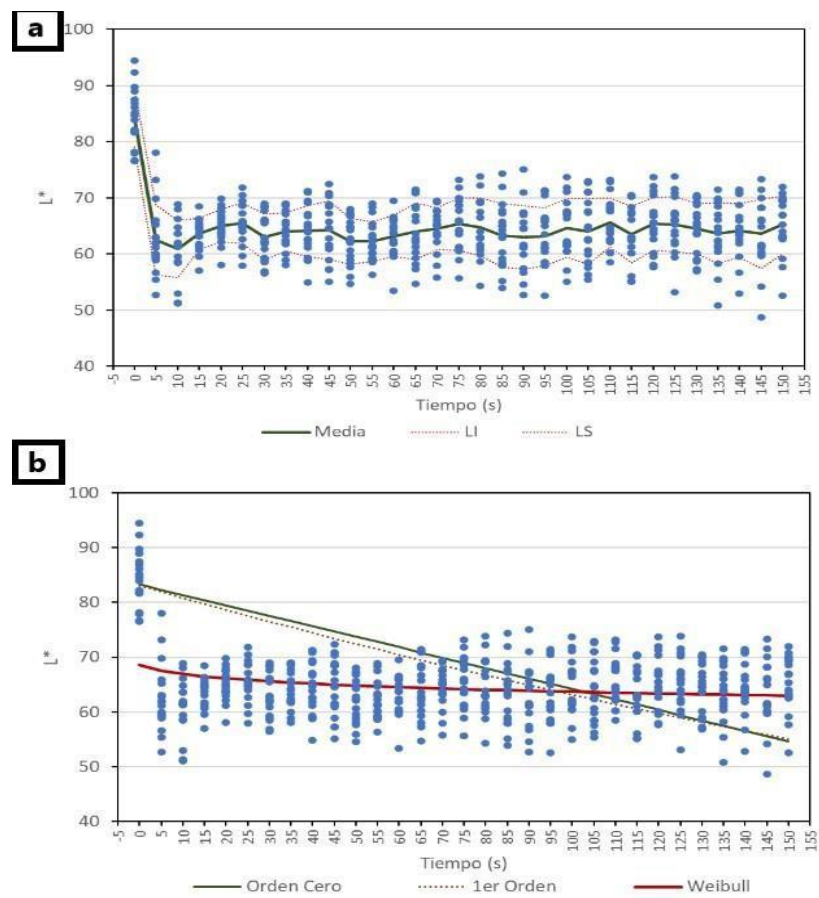


Figura 5. Curvas de luminosidad variedad huayro, (a) modelo de orden cero (b) modelos de primer orden y Weibull.

Según los valores obtenidos de $\alpha = -0,20557$ y $\beta = 0,101$ en la descripción de la cinética de color con el modelo de Weibull (Anexo 9), 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 5b.

De los valores (L) descritos en el Anexo 3 y las imágenes observadas en la Figura 6a y Figura 6b 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 pero a medida que el proceso avanzó aumentó su variabilidad ya que el color cambio casi en su mayoría en la mitad del proceso y totalmente cambio a marrón al final del proceso; cómo se puede ver en la Figura 6c y Figura 6d; corroborando lo manifestado por Alva y Ramírez (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 (que representan amarillez y azul) y reafirmado por Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (2019) que obtuvieron en frituras de papa al vacío una disminución del color amarillento y el contenido de carotenoides y aumento del color marrón oscuro al aumentar la temperatura y tiempo de fritura.

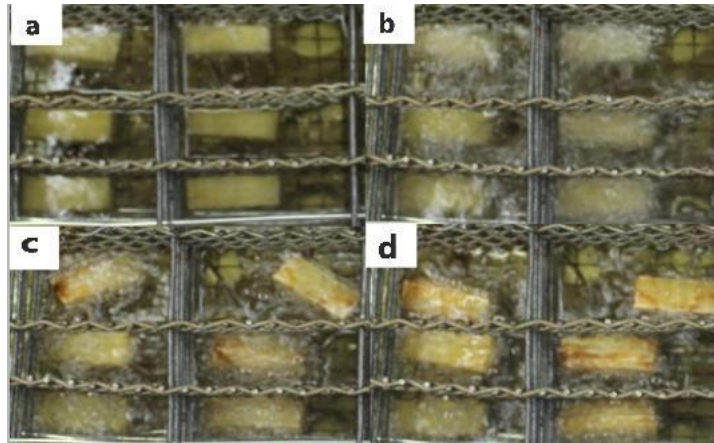


Figura 6. Variación de Imágenes variedad huayro, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.

4.3 Variación del color de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad limeña

La luminosidad o claridad (L) de la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad limeña con un valor inicial promedio de 54,990 disminuyó en el tiempo de proceso de fritura hasta un valor final promedio de 45,790, como se aprecia en el Anexo 09 es decir aumentó el pardeamiento o ennegrecimiento por el incremento de la reacción de Maillard y pérdida de humedad corroborado por Quevedo, Díaz, Caqueo, Ronceros, y Aguilera (2009) que afirmaron que el pardeamiento enzimático de pera

se manifiesta con la disminución de L^* entre 52,4 y 47,6.

Se obtuvieron valores de luminosidad o claridad ajustados en el modelo de orden cero de 54,882 a 51,785, de primer orden de 55,880 a 51,813 y de Weibull de 54,973 a 54,964; todos los resultados tuvieron mucha variabilidad y no predijeron bien la cinética de cambio de color ya que hubo mucha dispersión, se agruparon lejos de su media y sus coeficientes de determinación (R^2) fueron de 21,31 por ciento para el de orden cero, 21,10 de primer orden y de 13,19 en Weibull como se indica en el Anexo 04.

La cinética de cambio de color se representó por curvas elaboradas por varios puntos como se puede distinguir en la Figura 7a la curva promedio y en la Figura 7b al modelo de orden cero, primer orden y de Weibull.

Observamos en la Figura 7a que la curva promedio no es una línea recta y es desuniforme no intercepta la mayoría de puntos además la nube de puntos es gruesa y están alejados de la curva; en la Figura 7b se observa que las curvas se asemejan a una recta y existe un poco de mayor intercepción o superposición con los puntos o están más cerca de la curva pero dan un coeficiente de determinación bajo (R^2) de 21,31 por ciento para el modelo de orden cero, de 21,10 para el modelo de primer orden y de 13,19 para el modelo de Weibull como lo describe Rey y Ramil (2007).

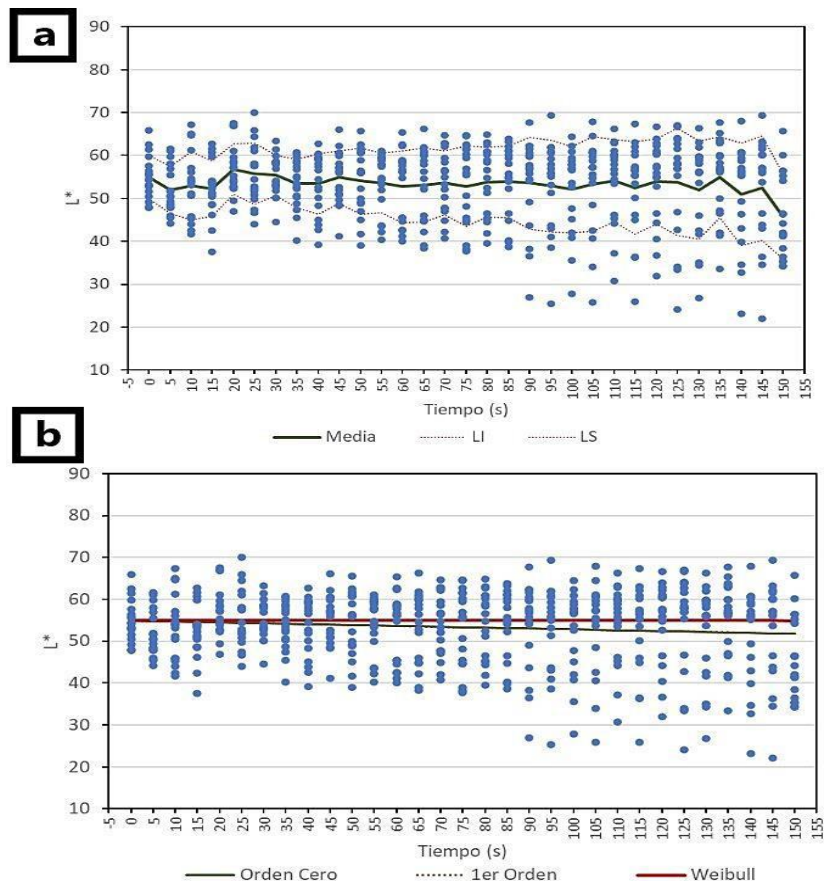


Figura 7. Curvas de luminosidad variedad limeña, (a) orden cero, (b) primer orden y Weibull.

Según los valores obtenidos de $\alpha = -0,00022$ y $\beta = 0,16802$ en la descripción de la cinética de color con el modelo de Weibull mostrado en el Anexo 09, 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 7b.

De los valores (L) descritos en el Anexo 04 y las imágenes observadas en la Figura 8a y Figura 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 pero a medida que el proceso avanzó aumentó su variabilidad ya que el color cambio a marrón casi en su totalidad a mitad de proceso y cambio totalmente a marrón al final del proceso; cómo se puede corroborar en el Anexo 04, Figura 8c y Figura 8d; corroborando lo manifestado por Alva y Ramírez (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 (que representan amarillez y azul) y reafirmado por Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (2019) que obtuvieron en frituras de papa (*Solanum tuberosum*) al vacío una disminución del color amarillento y el contenido de carotenoides y aumento del color marrón oscuro al aumentar la temperatura y tiempo de fritura.

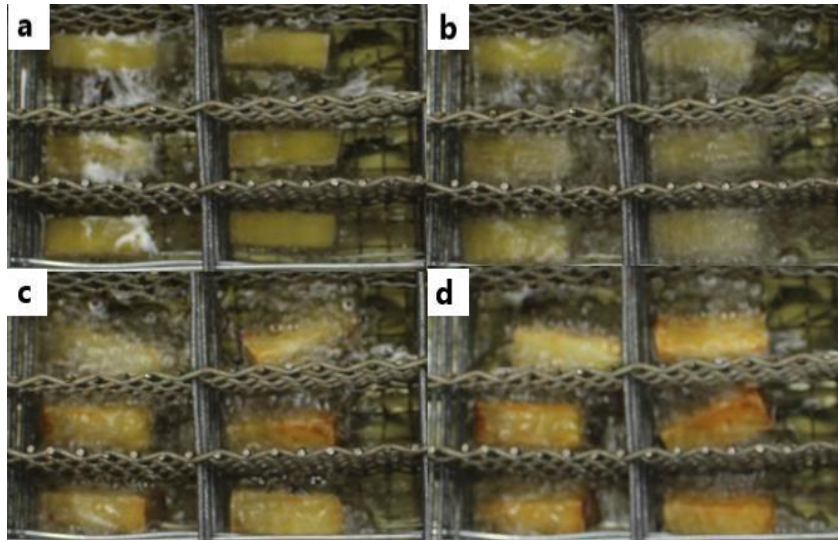


Figura 8. Variación de Imágenes variedad limeña, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.

4.4 Variación de color de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad peruanita.

La luminosidad o claridad (L) de la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina con un valor inicial promedio de 82,120 disminuyó en el tiempo de proceso de fritura hasta un valor final promedio de 66,480 como se aprecia en el Anexo 5 es decir aumentó el pardeamiento o ennegrecimiento por el incremento de la reacción de Maillard y pérdida de humedad corroborado por Alva y Ramírez (2015) en fritura de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad Huevo de Indio utilizando visión computacional, disminuyó su valor de (L^*) a 53,4 y aumentaron los valores de (a^*) a 4,9 y (b^*) a 32,3.

Se obtuvieron valores de luminosidad o claridad ajustados en el modelo de orden cero de 81,393 a 59,598, de primer orden de 81,286 a 59,856 y de Weibull de 71,204 a 65,760; de todos los resultados los de Weibull tuvieron menor variabilidad y predijeron mejor el valor de luminosidad (L)

o la cinética de cambio de color ya que hubo menos dispersión, se agruparon más cerca de su media, fue más representativo, dependieron mejor del tiempo y su coeficiente de determinación (R^2) fue de 28,35 por ciento mayor que 10,21 y 11,17 para el de orden cero y primer orden respectivamente como se indica en el Anexo 5 y se corrobora 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.

La cinética de cambio de color se representó por curvas elaboradas por varios puntos como se puede distinguir en la Figura 9a la curva promedio y en la Figura 9b al modelo de orden cero, primer orden y de Weibull; con una correlación negativa porque cuando aumenta el tiempo de proceso disminuye la luminosidad o claridad (L) aumentando el pardeamiento (Rey y Ramil, 2007).

Observamos en la Figura 9a que la curva promedio no es una línea recta y no intercepta o superpone la mayoría de puntos además la nube de puntos es gruesa y están alejados de la curva por lo que indica que es poco representativa de la nube de puntos; en la Figura 9b se observa que las curvas ajustadas se asemejan a una recta y existe un poco de mayor intercepción o superposición con los puntos o están más cerca de la curva dando un coeficiente de determinación bajo (R^2) de 10,21% para el modelo de orden cero, 11,17 para el modelo de primer orden y de 28,35 para el modelo de Weibull ninguna de ellas se ajusta por ser menores de 80%, es decir, la variación de luminosidad (L) no depende del tiempo y la curva

no representa la nube de puntos ya que sus medias y varianzas del estimado y del promedio no son parecidas (Rey y Ramil, 2007).

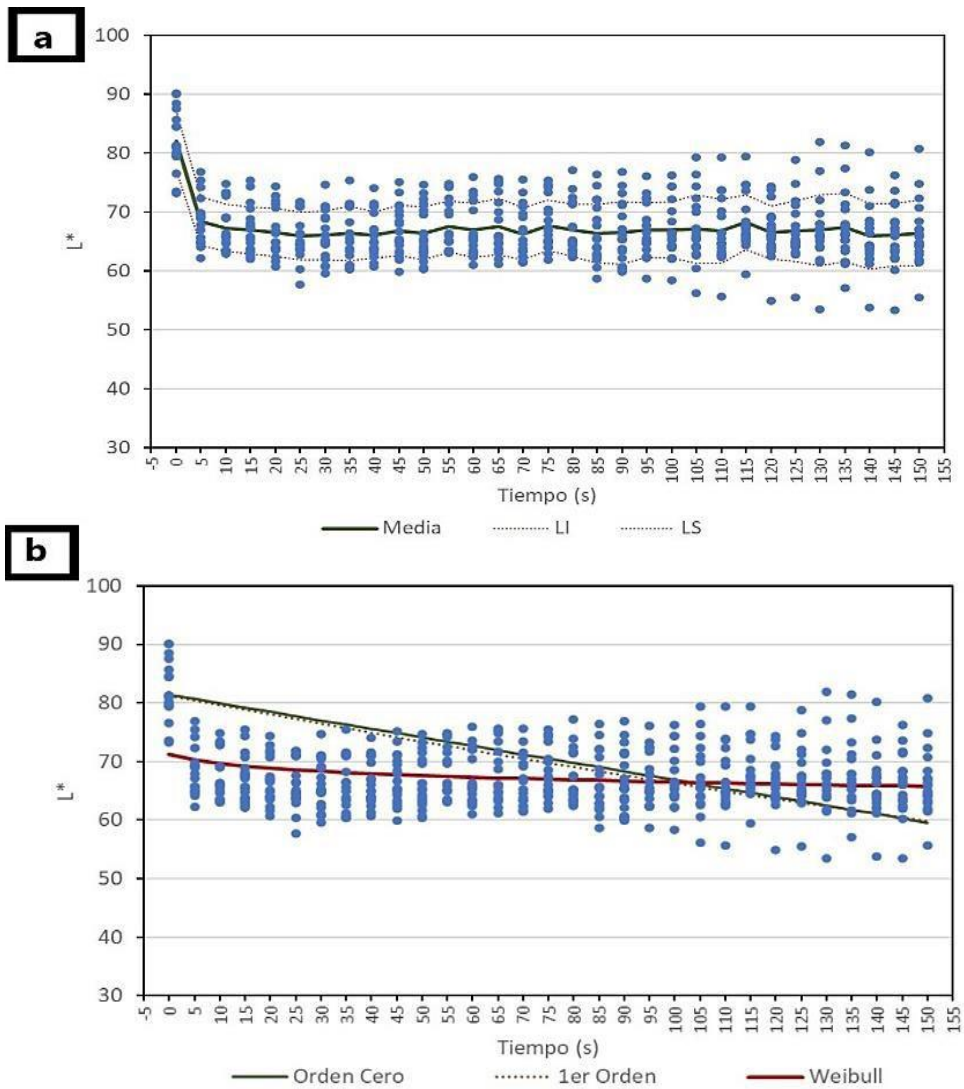


Figura 9. Curvas de luminosidad variedad peruanita, (a) modelo orden cero, (b) modelo de primer orden y Weibull.

Según los valores obtenidos de $\alpha = -0,14263$ y $\beta = 0,1291$ en la descripción de la cinética de color con el modelo de Weibull mostrado en el Anexo 5, 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 9b.

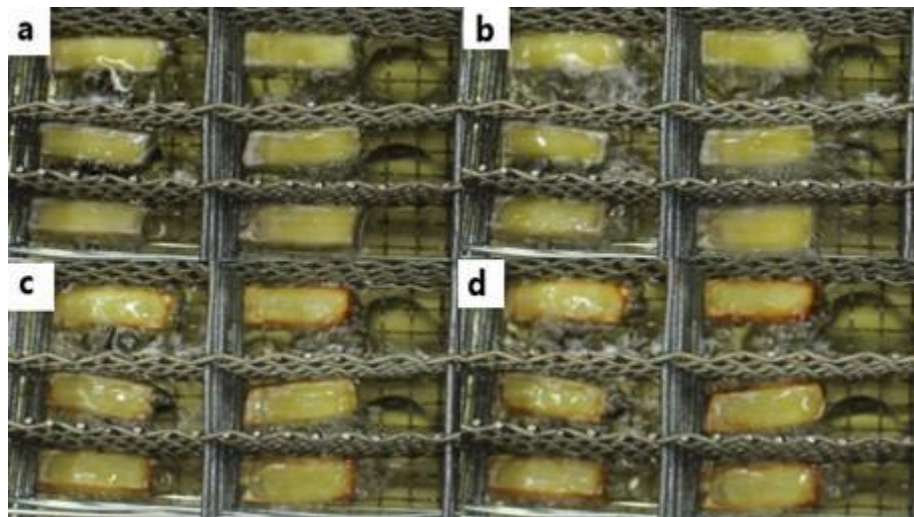


Figura 10. Variación de imágenes variedad peruanita, (a) 0 s, (b) 5 s, (c) 75 s y (d) 150 s de fritura.

De los valores (L) descritos en el Anexo 5 y las imágenes observadas en la Figura 10a y Figura 10b 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 y a medida que el proceso avanzó 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 (Figura 10c y Figura 10d); corroborando lo manifestado por Alva y Ramírez (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 (que representan amarillez y azul) y reafirmado por Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (2019) que obtuvieron en frituras de papa (*Solanum tuberosum*) al vacío una disminución del color amarillento y el contenido de carotenoides y aumento del color marrón oscuro al aumentar la temperatura y tiempo de fritura.

Cuadro 02. Coeficientes de determinación variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita en modelos de orden cero, primer orden y weibull.

Variedades	R ²			
	x	Cero	1er	W
Huagalina	-	75,20	76,29	82,96
Huayro	-	3,48	4,23	15,8
Limeña	-	21,31	21,10	13,19
Peruanita	-	10,21	11,17	28,35

Cuadro 03. Coeficiente de variancia variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita en modelos de orden cero, primer orden y weibull.

Variedades	CV			
	x	Cero	1er	W
Huagalina	4,32	6,63	6,5	3,82
Huayro	5,89	12,44	12,44	2,19
Limeña	3,31	1,76	1,87	0,0045
Peruanita	4,17	9,37	9,26	2,07

Cuadro 04. Valores α y factor β variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita en modelo de Weibull.

Variedades	A	B
Huagalina	-0,041	0,425
Huayro	-0,206	0,101
Limeña	-0,0002	0,168
Peruanita	-0,143	0,129

En conclusión el modelo de Weibull es el que mejor predice el valor (L) o la cinética de cambio de color en el proceso de fritura y le presiden el modelo de primer orden y de orden cero porque se ajusta mejor a un comportamiento de degradación fraccionada ya que tienen coeficientes

de determinación mayores a los otros modelos como se muestra en la Tabla 02, donde huagalina es la más ajustable con un R^2 de 82,96, le presiden huayro con 15,8, peruanita con 28,35 y limeña con 13,19; 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 02, donde limeña es la de menor variación con un CV 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.

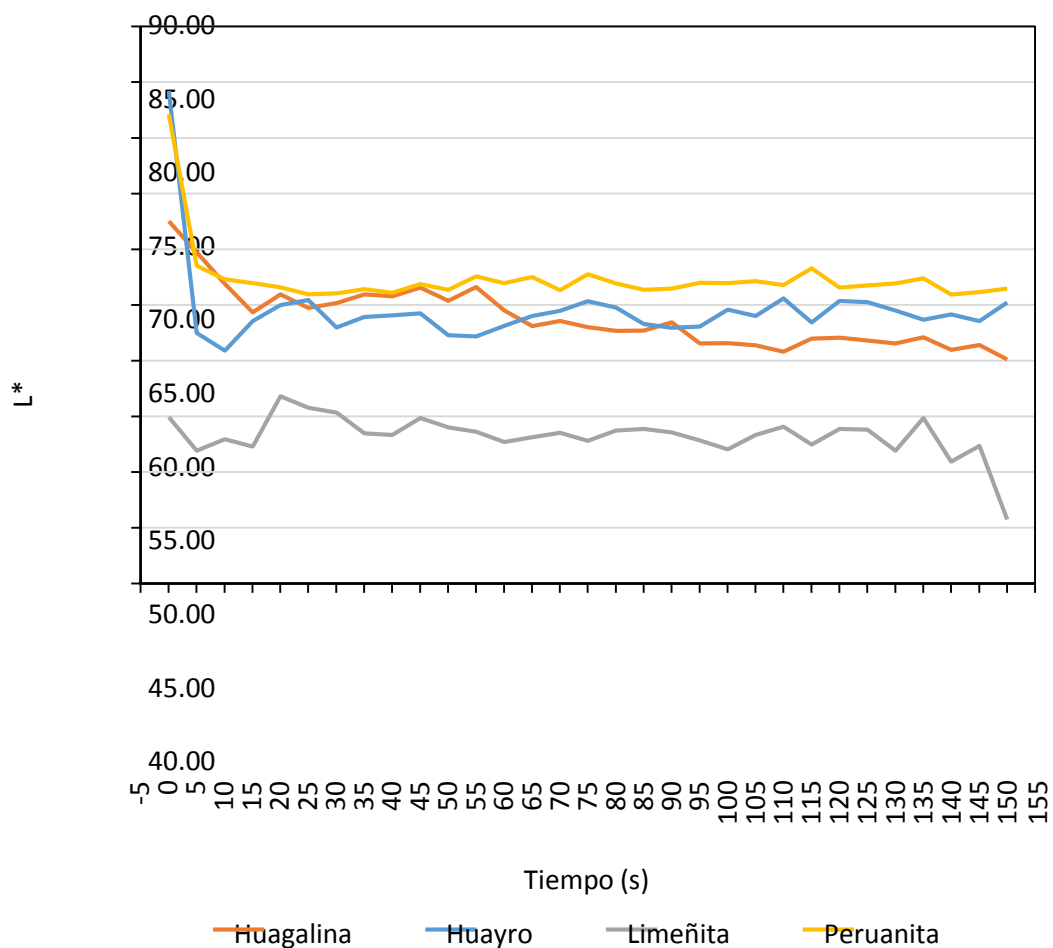


Figura 11. Curvas de luminosidad promedio, variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita.

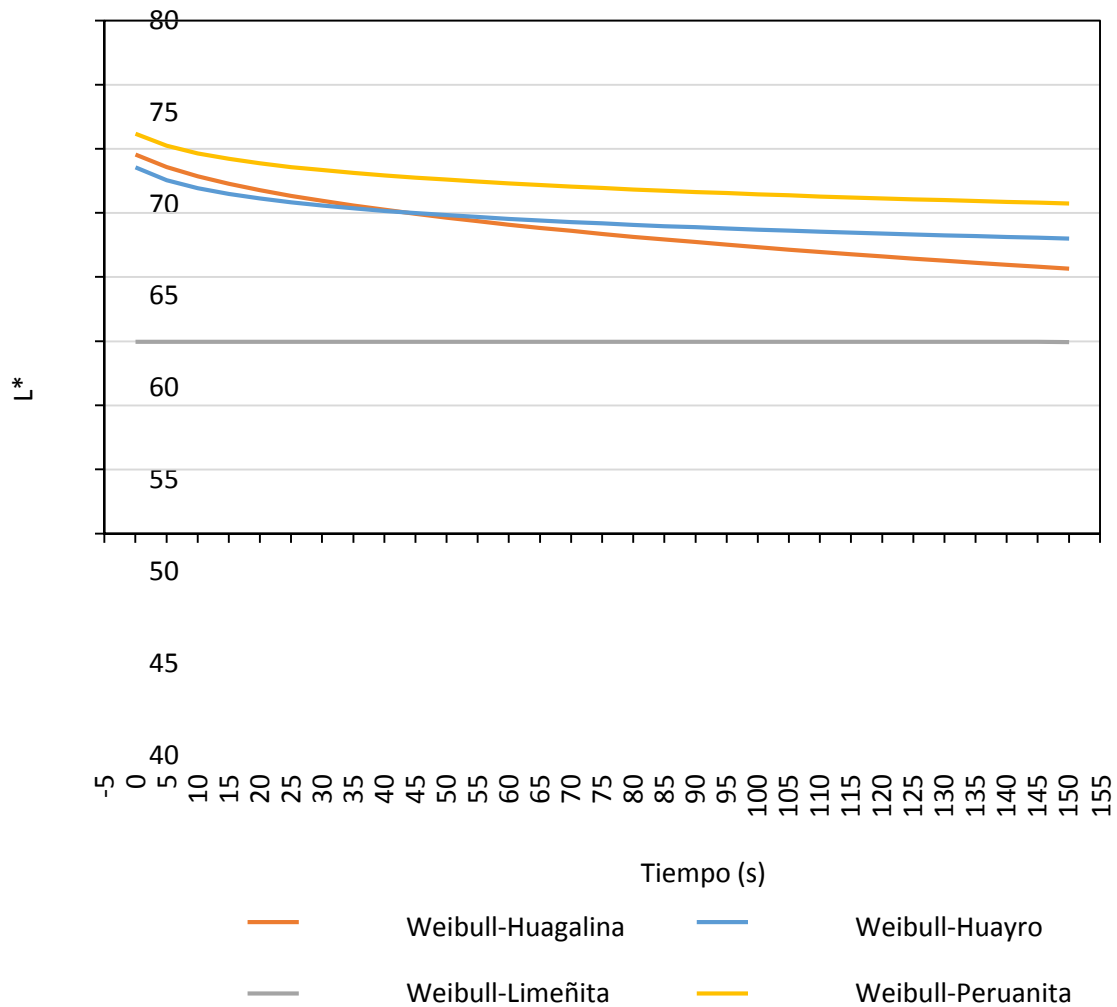


Figura 12. Curvas de luminosidad modelo Weibull, variedad huagalina, huayro, limeña y peruanita.

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 64,39, huagalina con 63,87 y limeña con 54,96 como la más oscura y se distinguen en la Figura 11 y Figura 12 donde las curvas de la variedad

peruanita están sobre la de huayro, huagalina y limeña respectivamente; corroborando lo manifestado por Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (2019) que obtuvieron en frituras de papa (*Solanum tuberosum*) una disminución del color amarillento y el contenido de carotenoides y aumento del color marrón oscuro al aumentar la temperatura y tiempo de fritura.

4.5 Variación de la humedad de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedades huagalina, huayro, limeña y peruanita.

Se observó que el porcentaje de humedad disminuye a medida que aumenta el tiempo de proceso obteniendo para huagalina un rango desde 53,5921 % hasta 36,2727 % con una pérdida de humedad de 17,3194 %; para huayro desde 53,221 % hasta 42,419 % con una pérdida de humedad de 10,802 %; para limeña obteniendo un rango desde 54,562% hasta 40,281 % con una pérdida de humedad de 14,281 % y para peruanita obteniendo un rango desde 57,322 % hasta 43,075 % con una pérdida de humedad de 14,247 % y que es representado en curvas con pendiente negativa como se tabula y grafica en Anexo 08, 09, 10 y 11; las humedades y pérdidas de humedad son muy parecidas siendo la de mayor pérdida de humedad la papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina y le presiden limeña, peruanita y huayro y la más homogénea en su variación de la humedad es la papa (*Solanum tuberosum*) variedad limeña por la uniformidad de la curva de humedad, le presiden huayro, peruanita y huagalina corroborando lo estudiado por Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (2019) que manifiestan que en fritura de papas

disminuyeron el contenido de humedad, la actividad de agua, la ligereza y aumentaron el contenido de aceite al aumentar la temperatura y el tiempo de fritura.

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.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. 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 defritura 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 papa (*Solanum tuberosum*) variedad huagalina es el de mayor pérdida de humedad con un 17,3194% y le preside limeña con 14,281%, peruanita con 14,247% y huayro con 10,802%.

5.2. RECOMENDACIONES

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, Rafe, y Taghizadeh (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.
- Adedeji y Ngadi (2018). Impact of freezing method, frying and storage on fat absorption kinetics and structural changes of par fried potato. *Journal of Food Engineering*, 218, 24-32.
- Al Faruq, Zhang, y Adhkari (2018). A novel vacuum frying technology of apple slices combined with ultrasound and microwave. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 522-529.
- AOAC (2016). *Oficial methods of análisis*, 20 th edition. Washington DC, USA.
- Alva y Ramírez (2015). “Efecto de la temperatura y tiempo de fritura en el color de hojuelas fritas de papa (*Solanum tuberosum*) de las variedades de huevo de indio, negra y única utilizando visión computacional” (Tesis). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Avalos (2014). “Influencia del secado previo y del tiempo de fritura en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de rebanadas de papa (*Solanum tuberosum*) frita variedad huevo de indio” (Tesis). Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.
- Bansal, Takhar, Alvarado, y Thompson (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.
- Brosnan (2004). Improving quality inspection of food products by computer

- vision. *Journal of Food Engineering*, 125, 81.
- Caro, Sampayo, Acevedo, Montero, y Martelo (2020). Mass Transfer and Colour Analysis during Vacuum Frying of Colombian Coastal Carimañola. *International Journal of Food Science*, 2020, 9816204.
- Corradini y Peleg (2004). A model of non-isothermal degradation of nutrients, pigments and enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Derossi, De Pilli, y Fiore (2010). Vitamin C kinetic degradation of Strawberry Juice stored under non-isothermal conditions. *LWT – Food Science and Technology*, 43 (4), 590-595.
- Faruq, Zhang, y Fan (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 y Saldaña (2011). Estimación de la vida útil por color de rodajas de yacón (*Smalluntus sonchifolius*) mínimamente procesados mediante pruebas aceleradas a partir de un sistema de visión computacional. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.
- Hunter (1996). "Hunter Lab Color Scale". *Insight on Color*. Reston, VA, USA: Hunter Associates Laboratories.
- García (2018). "Optimización de la fritura de hojuelas de papa nativa (*Solanum tuberosum* sp.) aplicando el método de superficie respuesta" (Tesis de maestría) Universidad Nacional Agraria. La Molina. Lima, Perú.
- Islam, Zhang, y Fan (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.

- Krarpup (2006). Tubérculos recuperados el 08 de diciembre del 2013, de <http://www.puc.cl/sw-educ/cultivos/papa/tubercul.htm>.
- Lin, Cavinato, Mayes, Smiley, Huang, Al-holy, y Rasco (2003). Bruise detection in Pacific Pink Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) by visible and short wavelength near-infrared (SW-NIR) spectroscopy (600-1100 nm). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6404 - 6408.
- Liu, Dodds, Leong, Eyres, Burritt, y Oey (2017). Effect of pulsed electric fields on the structure and frying quality of “kumara” sweet potato tubers. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 197-208.
- Maingonnat, Missang, Baron, y Renard (2014). Two micro-mechanical techniques for studying the enzymatic maceration kinetics of apple parenchyma. *Journal of Food Engineering*, 122(1), 1–7.
- Malheiros, Saint, Brandelli, y Franco (2015). Kinetic modeling of thermal inactivation of antimicrobial peptides produced by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a. *Thermochimica acta*, 605,95-99.
- Maneesh, Faiza, Debnath, y Nasirullah (2017). Status of the bioactive phytochemicals during deep-fat frying of snack food using nutra-coconut oil. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 3689-3698.
- Manjunatha, Mathews, y Patki (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.
- Mariotti-Celis, Zúñiga, Cortés, y Pedreschi (2017). A Kinetic Study of Furan Formation in Wheat Flour-Based Model Systems during Frying. *Journal of Food Science*, 82(1), 232-239.

- Mba, Dumont, y Ngadi (2016). Deterioration Kinetics of Crude Palm Oil, Canola Oil and Blend During Repeated Deep-Fat Frying. *JAOCOS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 55 (11), 3087-3102.
- MINAG (2011). *La papa nuestra de cada día*. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú.
- Mendoza, Dejmek, y Aguilera (2007). Colour and image textura análisis in classification of comercial potato chips. *Food Reesearch International* 40: 1146 -1154.
- Mojaharul, Zhang, Bhandari, y Guo (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 Bioproducts Processing*, 55 (11), 3087-3102.
- Mondal y Dash (2017). Textural, Color Kinetics, and Heat and Mass Transfer Modeling During Deep Fat Frying of Chhena Jhili. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12828.
- Moreira (2001). Deep-Fat Frying of Foods. In: J. Irudayaraj. *Food Processing Operations Modeling*. Elsevier.
- Nayak, Dash, Radha, Mishra, y Rayaguru (2017). Process Optimization for Minimizing Residual Free Fatty Acil Levels in fried Mustand Oil: Isotherm and kinetics Studies. *Journal of food Process Engineering*, 40 (3), e12426.
- Noshad, Mohebbi, Ansarifar, y Behbahani (2015). Quantication of enzymatic browning kinetics of quince preserved by edible coating using the fractal textura Fourier image. *Journal Food measunrement and charaterization*, 9 (3), 375-381.

- Oyededeji, Sobukola, Henshaw, Adegunwa, Ijabadeniyi, Sanni, y Tomlins (2017). Effect of frying treatments on texture and colour parameters of deep fat fried yellow fleshed cassava chips. *Journal of Food Quality*, 2017, 8373801.
- Pambou-tobi, Arab-Tehrany, Niamayoua, y Linder (2016). RSM applied for optimization of deep-fat fried ripe plantain slices and study of oxidation kinetics of oil by a DSC and polar methods. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 269-280.
- Panigrahi y Gunasekaran (2001). *Nondestructive food evaluation techniques to analyse properties and quality*. New York: Marcel Dekker.
- Pedreschi, Moyano, Kaack, y Granby (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38(1), 1-9.
- Pedreschi y Aguilera (2002). Some changes un potato chips during frying observed by confocal laser scanning microscopy. *Food Science and Technology Internatonal*, 8, 197 - 201.
- Pedreschi, Leon, y Moyano (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *El Sevier*, 1092- 1098.
- Pertuz (2008). *La papa (Solanum Tuberosum L)* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Piyalungka, Sadiq, Assavarachan, y Nguyen (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, Lopez, Aguilera, y Cadoche (2001). Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of*

Food Engineering, 53, 361–371.

Quevedo, Díaz, Caqueo, Ronceros, y Aguilera (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, Ronceros, García, López, y Pedreschi (2011). Enzymatic browning in sliced and puréed avocado: a fractal kinetic study. *Journal of Food Engineering*, 105 (2), 210 - 215.

Quevedo, Díaz, Valencia, Pedreschi, Bastias, y Siche (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 y Ramil (2007). *Introducción a la Estadística Descriptiva*. Segunda Edición. Editorial Gesbiblo. España. 156.

Saldaña y Huamán (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.

Saldaña, Siche, Huamán, Luján, Castro, y Quevedo (2013). Computer vision system in real-time for color determination on flat surface food. *Scientia Agropecuaria*, 4, 55 – 63.

Saavedra, Córdova, Gálvez, Quezada, y Navarro (2013). Principal component analysis as an exploration tool for kishnack. *Journal of food engineering*, 119 (2), 229 - 235.

Salehi (2019). Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica*

oleracea var. gongylodes) slice. *International Journal of Food Properties*, 22, 511-519.

Sampedro y Fan (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, Olayanju, Mulaba-Bafubiandi (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, Zhang, Adhikari, Mujumdar, y Zhang (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, Zhang, Bhandari, y 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, Zhang, Chitrakar, y Zhang (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.

Su, Zhang, Zhang, Liu, y Adhikari (2018). Ultrasonic microwave- assisted vacuum frying technique as a novel frying method for potato chips at low frying temperature. *Food and Bioproducts Processing*, 108, 95-104.

Valdramidis, Cullen, Tiwari, y O'Donnell (2010). Quantitative modelling

- approaches for ascorbic acid degradation and non- enzymatic browning of orange juice during ultrasound processing. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 449–454.
- Valencia (2003). Procesado de imagen digital en color: adquisición, análisis colorimétrico y realce. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Vásquez (1988). Mejoramiento Genético de la papa. Amaru Editores. Primera Edición. Lima 13, 96-97.
- Wiset, Wongkasem, Poomsa-Ad, y Kampakdee (2017). Silkworm pupae drying using microwave combined with hot air. *International Food Research Journal*, 25(2), 702-705.
- Zelanski y Fisher (2001). *Color*. Madrid : Tursen SA/ M. Blume.
- Zwietering, Rombouts, y Vant Riet (1993). Some aspects of modelling microbial quality of food. *Food Central*, 4 (2), 89 -96.

ANEXOS

**ANEXO 1. SESIÓN FOTOGRÁFICA – ELABORACIÓN DE FRITURAS DE
PAPA (*Solanum tuberosum*)**



Operación de recepción



Operación de lavado



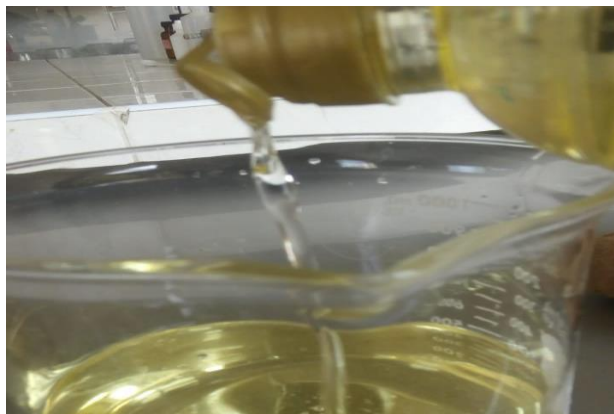
Operación de Oreado



Operación de pelado



Operación de corte



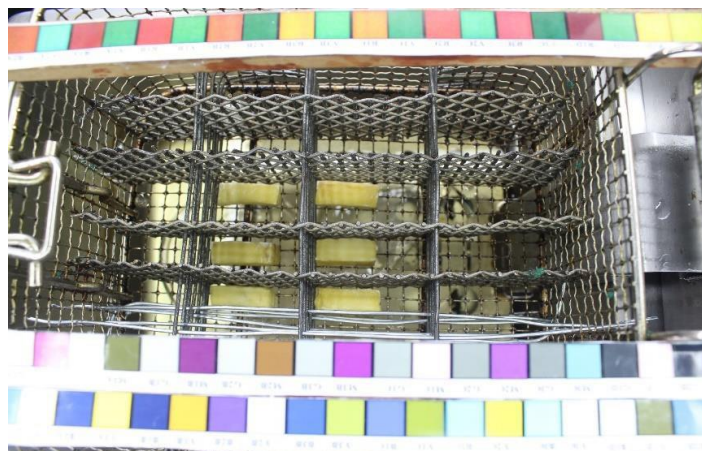
Medición de aceite



Exterior de freidora eléctrica.



Interior de freidora eléctrica.



Materia prima previo a la operación de fritura



Inicio de la operación de fritura



Final de la operación de fritura

Sistema de adquisición de imágenes



Programa ImagenJ

ANEXO 2. RESULTADOS DE CAMBIO DE COLOR VARIEDAD HUAGALINA

Lo = 65.5648

Orden cero
L=Lo+k*t

1er Orden
L=Lo*EXP(k*t)

Modelo de Weibull
(L/Lo)=Exp(Alfa*t^Beta)

k = -0.4736 k = -0.0072 Alfa = -0.04144 Beta = 0.425

Cód.	Tiempo (s)	L_Inf	M	L_sup
1	0	65.56	72.52	79.48
2	5	61.62	69.74	77.87
3	10	61.87	66.91	71.95
4	15	59.82	64.36	68.89
5	20	60.34	65.98	71.61
6	25	58.83	64.78	70.72
7	30	59.87	65.20	70.53
8	35	60.65	65.98	71.30
9	40	60.84	65.80	70.75
10	45	61.58	66.57	71.57
11	50	60.59	65.41	70.22
12	55	61.60	66.62	71.65
13	60	59.33	64.53	69.73
14	65	58.26	63.14	68.02
15	70	59.46	63.60	67.73
16	75	58.69	63.03	67.37
17	80	57.33	62.71	68.08
18	85	56.92	62.73	68.53
19	90	57.87	63.46	69.06
20	95	55.44	61.58	67.73
21	100	55.09	61.61	68.14
22	105	55.60	61.40	67.21
23	110	54.91	60.82	66.74
24	115	56.48	62.01	67.54
25	120	55.67	62.10	68.53
26	125	55.83	61.83	67.82
27	130	55.05	61.58	68.10
28	135	54.57	62.11	69.65
29	140	54.49	61.01	67.54
30	145	54.20	61.42	68.65
31	150	54.79	60.15	65.50

	L	L	L
1	72.05	72	69.578
2	71.57	71.49	68.597
3	71.1	70.98	67.884
4	70.63	70.47	67.303
5	70.15	69.97	66.805
6	69.68	69.47	66.364
7	69.21	68.97	65.967
8	68.73	68.48	65.603
9	68.26	67.99	65.267
10	67.79	67.51	64.952
11	67.31	67.03	64.657
12	66.84	66.55	64.378
13	66.37	66.07	64.114
14	65.89	65.6	63.861
15	65.42	65.13	63.62
16	64.94	64.67	63.389
17	64.47	64.21	63.167
18	64.00	63.75	62.953
19	63.52	63.29	62.746
20	63.05	62.84	62.546
21	62.58	62.39	62.353
22	62.1	61.95	62.165
23	61.63	61.5	61.983
24	61.16	61.07	61.805
25	60.68	60.63	61.633
26	60.21	60.2	61.464
27	59.73	59.77	61.3
28	59.26	59.34	61.14
29	58.79	58.92	60.983
30	58.31	58.5	60.83
31	57.84	58.08	60.681

R2 = 75.23%

R2 = 76.29%

R2 = 82.96%

Tiempo (seg)	Promedo (M)	Orden cero (L) L=Lo+k*t K=-0.4736	Primer orden (L) L=Lo*EXP(k*t) K=-0.0072	Weibull (L/Lo)=Exp(Alfa*t*Beta) Alfa=-0.04144 Beta=0.425
0	72.52	72.05	72.00	69.578
5	69.74	71.57	71.49	68.597
10	66.91	71.10	70.98	67.884
15	64.36	70.63	70.47	67.303
20	65.98	70.15	69.97	66.805
25	64.78	69.68	69.47	66.364
30	65.20	69.21	68.97	65.967
35	65.98	68.73	68.48	65.603
40	65.80	68.26	67.99	65.267
45	66.57	67.79	67.51	64.952
50	65.41	67.31	67.03	64.657
55	66.62	66.84	66.55	64.378
60	64.53	66.37	66.07	64.114
65	63.14	65.89	65.60	63.861
70	63.60	65.42	65.13	63.620
75	63.03	64.94	64.67	63.389
80	62.71	64.47	64.21	63.167
85	62.73	64.00	63.75	62.953
90	63.46	63.52	63.29	62.746
95	61.58	63.05	62.84	62.546
100	61.61	62.58	62.39	62.353
105	61.40	62.10	61.95	62.165
110	60.82	61.63	61.50	61.983
115	62.01	61.16	61.07	61.805
120	62.10	60.68	60.63	61.633
125	61.83	60.21	60.20	61.464
130	61.58	59.73	59.77	61.300
135	62.11	59.26	59.34	61.140
140	61.01	58.79	58.92	60.983
145	61.42	58.31	58.50	60.830
150	60.15	57.84	58.08	60.681
Media	63.89	64.94	64.80	63.870
Varianza	07.62	18.54	17.79	05.970
D. stand.	02.76	04.30	04.21	02.440
C. variac.	04.32	06.63	06.50	03.820
t-student	128.84**	83.97**	85.54**	145.43**
c. determ. (%)		75.20	76.29	82.960

ANEXO 3. RESULTADOS DE CAMBIO DE COLOR VARIEDAD HUAYRO

Lo = 84.2420		k = -0.0137	
	Orden cero	1er Orden	Modelo de Weibull
	L=Lo+k*t	L=Lo*EXP(k*t)	(L/Lo)=Exp(Alfa*t^Beta)
PROMEDIO	k = -0.9538	Alfa = -0.20557	Beta = 0.101

Cód.	Tiempo (s)	L_Inf	M	L_sup
1	0	79.04	84.24	89.45
2	5	56.31	62.54	68.76
3	10	55.85	60.93	66.01
4	15	60.77	63.60	66.42
5	20	62.10	65.01	67.93
6	25	61.86	65.50	69.13
7	30	58.95	63.01	67.07
8	35	60.59	63.96	67.34
9	40	59.57	64.10	68.64
10	45	59.10	64.27	69.45
11	50	58.20	62.31	66.42
12	55	58.63	62.21	65.80
13	60	59.50	63.17	66.85
14	65	58.98	64.06	69.13
15	70	60.79	64.50	68.21
16	75	60.70	65.36	70.02
17	80	59.66	64.80	69.94
18	85	57.70	63.32	68.95
19	90	57.32	62.99	68.67
20	95	57.96	63.10	68.23
21	100	59.45	64.63	69.81
22	105	58.23	64.06	69.89
23	110	61.26	65.63	70.00
24	115	58.48	63.47	68.45
25	120	60.70	65.39	70.07
26	125	60.35	65.28	70.21
27	130	60.03	64.52	69.01
28	135	58.31	63.70	69.09
29	140	59.41	64.19	68.98
30	145	57.41	63.59	69.77
31	150	60.09	65.25	70.41

	L	L	L
1	83.29	83.09	68.588
2	82.33	81.96	67.577
3	81.38	80.85	66.96
4	80.43	79.75	66.51
5	79.47	78.66	66.154
6	78.52	77.59	65.859
7	77.57	76.53	65.606
8	76.61	75.49	65.385
9	75.66	74.46	65.187
10	74.7	73.45	65.01
11	73.75	72.45	64.847
12	72.8	71.46	64.698
13	71.84	70.49	64.56
14	70.89	69.53	64.432
15	69.94	68.58	64.312
16	68.98	67.65	64.199
17	68.03	66.73	64.092
18	67.07	65.82	63.991
19	66.12	64.92	63.895
20	65.17	64.04	63.804
21	64.21	63.16	63.717
22	63.26	62.3	63.633
23	62.31	61.46	63.554
24	61.35	60.62	63.477
25	60.4	59.79	63.403
26	59.44	58.98	63.332
27	58.49	58.18	63.263
28	57.54	57.38	63.197
29	56.58	56.6	63.132
30	55.63	55.83	63.07
31	54.68	55.07	63.01

R2 = 3.48% R2 = 4.23% R2 = 15.80%

Tiempo (seg)	Promedio (m)	Orden cero (l) L=lo+k*t K=-0.4736	Primer orden (l) L=lo*exp(k*t) K=-0.0072	Weibull (l) (l/lo)=exp(alfa*t^beta) Alfa=-0.04144 Beta=0.425
0	84.24	83.29	83.09	68.588
5	62.54	82.33	81.96	67.577
10	60.93	81.38	80.85	66.960
15	63.60	80.43	79.75	66.510
20	65.01	79.47	78.66	66.154
25	65.50	78.52	77.59	65.859
30	63.01	77.57	76.53	65.606
35	63.96	76.61	75.49	65.385
40	64.10	75.66	74.46	65.187
45	64.27	74.70	73.45	65.010
50	62.31	73.75	72.45	64.847
55	62.21	72.80	71.46	64.698
60	63.17	71.84	70.49	64.560
65	64.06	70.89	69.53	64.432
70	64.50	69.94	68.58	64.312
75	65.36	68.98	67.65	64.199
80	64.80	68.03	66.73	64.092
85	63.32	67.07	65.82	63.991
90	62.99	66.12	64.92	63.895
95	63.10	65.17	64.04	63.804
100	64.63	64.21	63.16	63.717
105	64.06	63.26	62.30	63.633
110	65.63	62.31	61.46	63.554
115	63.47	61.35	60.62	63.477
120	65.39	60.40	59.79	63.403
125	65.28	59.44	58.98	63.332
130	64.52	58.49	58.18	63.263
135	63.70	57.54	57.38	63.197
140	64.19	56.58	56.60	63.132
145	63.59	55.63	55.83	63.070
150	65.25	54.68	55.07	63.010
Media	64.60	68.15	68.15	64.590
Varianza	14.51	75.19	71.98	2.00
D. stand.	3.81	8.67	8.48	1.41
C. variac.	5.89	12.44	12.44	2.19
t-student	94.43**	44.29**	44.73**	254.06**
C.determ.%		3.48	4.23	15.80

ANEXO 4. RESULTADOS DE CAMBIO DE COLOR VARIEDAD LIMEÑA

Lo = 54.9855



PROMEDIO

Orden cero
L=Lo+k*t

k = -0.10325

1er Orden
L=Lo*EXP(k*t)

k = -0.00192

Modelo de Weibull
(L/Lo)=Exp(Alfa*t^Beta)

Alfa = -0.00022 Beta = 0.16802

Cód.	Tiempo (s)	L_Inf	M	L_sup
1	0	49.96	54.99	60.01
2	5	46.42	51.95	57.47
3	10	45.03	53.00	60.96
4	15	45.85	52.34	58.83
5	20	50.93	56.84	62.75
6	25	48.72	55.81	62.90
7	30	50.68	55.37	60.07
8	35	47.87	53.50	59.12
9	40	46.31	53.37	60.44
10	45	48.76	54.89	61.01
11	50	46.30	54.04	61.79
12	55	46.74	53.65	60.56
13	60	44.36	52.73	61.09
14	65	44.59	53.17	61.76
15	70	46.11	53.56	61.01
16	75	43.45	52.85	62.24
17	80	45.65	53.77	61.90
18	85	45.50	53.90	62.31
19	90	42.91	53.60	64.29
20	95	42.18	52.87	63.57
21	100	42.00	52.07	62.13
22	105	42.36	53.36	64.35
23	110	44.48	54.11	63.75
24	115	41.71	52.50	63.30
25	120	43.95	53.91	63.87
26	125	41.37	53.86	66.36
27	130	40.57	51.95	63.32
28	135	45.42	54.89	64.36
29	140	39.05	50.97	62.89
30	145	40.20	52.40	64.60
31	150	35.86	45.79	55.71

	L	L	L
1	54.882	54.88	54.973
2	54.779	54.775	54.972
3	54.676	54.67	54.971
4	54.573	54.566	54.97
5	54.469	54.461	54.969
6	54.366	54.357	54.969
7	54.263	54.253	54.968
8	54.16	54.149	54.968
9	54.056	54.045	54.968
10	53.953	53.941	54.967
11	53.85	53.838	54.967
12	53.747	53.735	54.967
13	53.643	53.632	54.967
14	53.54	53.529	54.966
15	53.437	53.427	54.966
16	53.334	53.325	54.966
17	53.23	53.222	54.966
18	53.127	53.121	54.966
19	53.024	53.019	54.965
20	52.921	52.917	54.965
21	52.817	52.816	54.965
22	52.714	52.715	54.965
23	52.611	52.614	54.965
24	52.508	52.513	54.965
25	52.404	52.412	54.964
26	52.301	52.312	54.964
27	52.198	52.212	54.964
28	52.095	52.112	54.964
29	51.991	52.012	54.964
30	51.888	51.913	54.964
31	51.785	51.813	54.964

R2= 21.31%

R2 = 21.10%

R2= 13.19%

Tiempo (seg)	Promedio (m)	Orden cero (l) $L=l_0+k*t$ $K=-0.4736$	Primer orden (l) $L=l_0*exp(k*t)$ $K=-0.0072$	Weibull (l) $(l/l_0)=exp(alfa*t^beta)$ $Alfa=-0.04144$ $Beta=0.425$
0	54.990	54.882	55.880	54.973
5	51.950	54.779	54.775	54.972
10	53.000	54.676	54.670	54.971
15	52.340	54.573	54.566	54.970
20	54.840	54.469	54.461	54.969
25	55.810	54.366	54.357	54.969
30	55.370	54.263	54.253	54.968
35	53.500	54.160	54.149	54.968
40	53.370	54.056	54.045	54.968
45	54.890	53.953	53.941	54.967
50	54.040	53.850	53.838	54.967
55	53.650	53.747	53.735	54.967
60	52.730	53.643	53.632	54.967
65	53.170	53.540	53.529	54.965
70	53.560	53.437	53.427	54.966
75	52.850	53.334	53.325	54.966
80	53.770	53.230	53.222	54.966
85	53.900	53.127	53.121	54.966
90	53.600	53.024	53.019	54.965
95	52.870	52.921	52.917	54.965
100	52.070	52.817	52.816	54.965
105	53.360	52.714	52.715	54.965
110	54.110	52.611	52.614	54.965
115	52.500	52.508	52.513	54.965
120	53.910	52.404	52.412	54.964
125	53.860	52.301	52.312	54.964
130	51.950	52.198	52.212	54.964
135	54.890	52.095	52.112	54.964
140	50.970	51.991	52.012	54.964
145	52.400	51.888	51.913	54.964
150	45.790	51.785	51.813	54.964
Media	53.220	53.330	53.36	54.96
Varianza	03.120	00.880	0.99	6.18
D. stand.	01.770	00.930	0.99	0.0024
C. variac.	03.310	01.760	1.87	0.0045
t-student	167.71**	316.32**	297.20**	123.0**
C.determ. %		21.31	21.10	13.19

ANEXO 5. RESULTADOS DE CAMBIO DE COLOR VARIEDAD PERUANITA

Lo = 82.1191

Orden cero
L=Lo+k*t

1er Orden
L=Lo*EXP(k*t)

Modelo de Weibull
(L/Lo)=Exp(Alfa*t^Beta)

Alfa = -0.14263 Beta = 0.1291

PROMEDIO

k = -0.7265

k = -0.0102

Cód.	Tiempo (s)	L_Inf	M	L_sup
1	0	77.09	82.12	87.15
2	5	64.43	68.53	72.63
3	10	63.35	67.33	71.30
4	15	63.00	66.99	70.98
5	20	62.54	66.60	70.66
6	25	61.95	65.99	70.02
7	30	61.93	66.07	70.20
8	35	61.79	66.42	71.05
9	40	62.24	66.11	69.98
10	45	62.66	66.90	71.15
11	50	61.89	66.39	70.88
12	55	63.27	67.59	71.90
13	60	62.43	66.99	71.54
14	65	62.73	67.52	72.32
15	70	61.92	66.34	70.77
16	75	63.51	67.79	72.07
17	80	62.47	66.94	71.41
18	85	61.32	66.37	71.41
19	90	61.27	66.50	71.73
20	95	62.37	67.01	71.66
21	100	62.18	66.98	71.78
22	105	61.36	67.16	72.96
23	110	61.31	66.80	72.29
24	115	63.61	68.31	73.01
25	120	62.03	66.56	71.09
26	125	61.62	66.79	71.95
27	130	60.91	66.96	73.01
28	135	61.59	67.40	73.21
29	140	60.37	65.96	71.55
30	145	60.88	66.16	71.44
31	150	60.87	66.48	72.09

	L	L	L
1	81.393	81.286	71.204
2	80.666	80.461	70.26
3	79.94	79.644	69.674
4	79.213	78.836	69.242
5	78.487	78.036	68.897
6	77.76	77.244	68.61
7	77.034	76.46	68.363
8	76.307	75.684	68.145
9	75.581	74.916	67.951
10	74.854	74.155	67.775
11	74.128	73.403	67.614
12	73.401	72.658	67.466
13	72.675	71.92	67.328
14	71.948	71.19	67.2
15	71.222	70.468	67.079
16	70.495	69.753	66.966
17	69.769	69.045	66.859
18	69.042	68.344	66.757
19	68.316	67.65	66.66
20	67.589	66.964	66.568
21	66.863	66.284	66.48
22	66.136	65.611	66.395
23	65.41	64.945	66.314
24	64.683	64.286	66.236
25	63.957	63.634	66.161
26	63.23	62.988	66.089
27	62.504	62.349	66.019
28	61.777	61.716	65.951
29	61.051	61.09	65.885
30	60.324	60.47	65.822
31	59.598	59.856	65.76

R2= 10.21%

R2 = 11.17%

R2 = 28.35%

Tiempo (seg)	Promedio (m)	Orden cero (l) L=lo+k*t K=-0.4736	Primer orden (l) L=lo*exp(k*t) K=-0.0072	Weibull (l) (l/lo)=exp(alfa*t^beta) Alfa=-0.04144 Beta=0.425
0	82.120	81.393	81.286	71.204
5	68.530	80.666	80.461	70.260
10	67.330	79.940	79.644	69.674
15	66.990	79.213	78.836	69.242
20	66.600	78.487	78.036	68.897
25	65.990	77.760	77.244	68.610
30	66.070	77.034	76.460	68.363
35	66.420	76.307	75.684	68.145
40	66.110	75.581	74.916	67.951
45	66.900	74.854	74.155	67.775
50	66.390	74.128	73.403	67.614
55	67.590	73.401	72.658	67.466
60	66.990	72.675	71.920	67.328
65	67.520	71.948	71.190	67.200
70	66.340	71.222	70.468	67.079
75	67.790	70.495	69.753	66.966
80	66.940	69.769	69.045	66.859
85	66.370	69.042	68.344	66.757
90	66.500	68.316	67.650	66.660
95	67.010	67.589	66.964	66.568
100	66.980	66.863	66.284	66.480
105	67.160	66.136	65.611	66.395
110	66.800	65.410	64.945	66.314
115	68.310	64.683	64.286	66.236
120	66.560	63.957	63.634	66.161
125	66.790	63.230	62.988	66.089
130	66.960	62.504	62.349	66.019
135	67.400	61.777	61.716	65.951
140	65.960	61.051	61.090	65.885
145	66.160	60.324	60.470	65.822
150	66.480	59.598	59.856	65.760
Media	67.35	70.49	70.04	67.39
Varianza	7.90	43.63	42.13	1.94
D. stand.	2.81	6.60	6.49	1.39
C. variac.	4.17	9.37	9.26	2.07
t-student	133.36**	59.42**	60.08**	264.69**
C.determ %		10.21	11.17	28.35

ANEXO 6. PROMEDIOS DE LUMINOSIDAD (L)

Cód.	Tiempo (s)	Huaga	Huay	Lim	Per
1	0	72.52	84.24	54.99	82.12
2	5	69.74	62.54	51.95	68.53
3	10	66.91	60.93	53.00	67.33
4	15	64.36	63.60	52.34	66.99
5	20	65.98	65.01	56.84	66.60
6	25	64.78	65.50	55.81	65.99
7	30	65.20	63.01	55.37	66.07
8	35	65.98	63.96	53.50	66.42
9	40	65.80	64.10	53.37	66.11
10	45	66.57	64.27	54.89	66.90
11	50	65.41	62.31	54.04	66.39
12	55	66.62	62.21	53.65	67.59
13	60	64.53	63.17	52.73	66.99
14	65	63.14	64.06	53.17	67.52
15	70	63.60	64.50	53.56	66.34
16	75	63.03	65.36	52.85	67.79
17	80	62.71	64.80	53.77	66.94
18	85	62.73	63.32	53.90	66.37
19	90	63.46	62.99	53.60	66.50
20	95	61.58	63.10	52.87	67.01
21	100	61.61	64.63	52.07	66.98
22	105	61.40	64.06	53.36	67.16
23	110	60.82	65.63	54.11	66.80
24	115	62.01	63.47	52.50	68.31
25	120	62.10	65.39	53.91	66.56
26	125	61.83	65.28	53.86	66.79
27	130	61.58	64.52	51.95	66.96
28	135	62.11	63.70	54.89	67.40
29	140	61.01	64.19	50.97	65.96
30	145	61.42	63.59	52.40	66.16
31	150	60.15	65.25	45.79	66.48

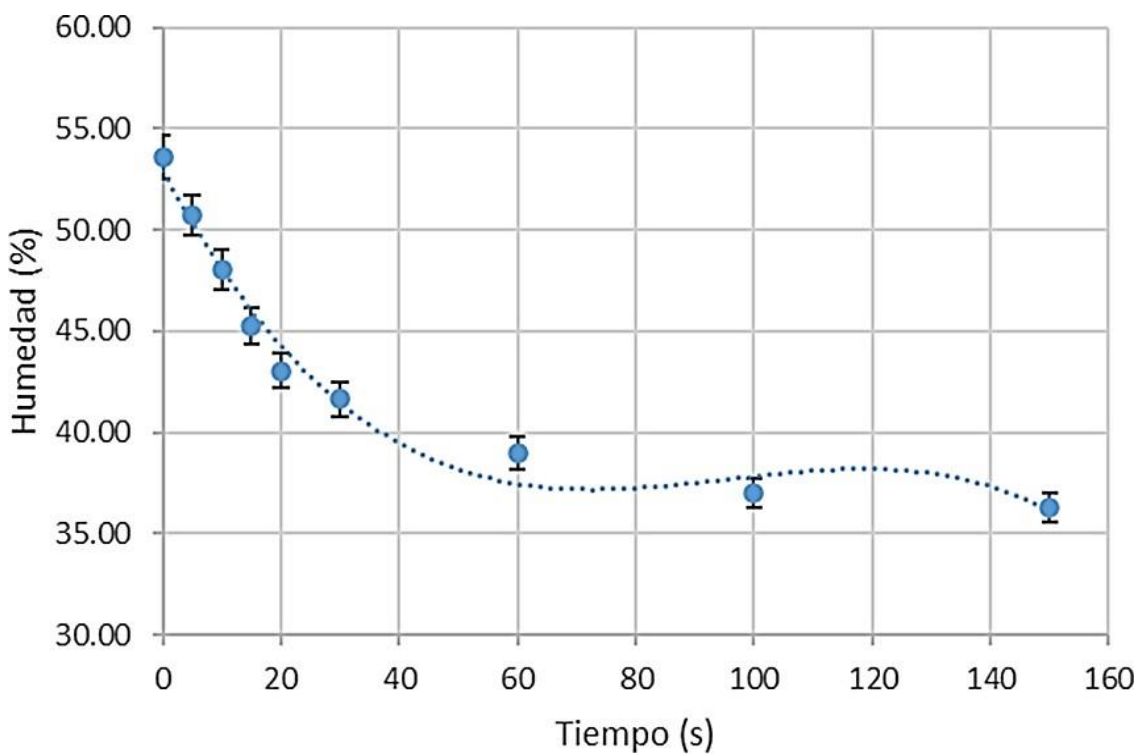
ANEXO 7. PROMEDIOS DE LUMINOSIDAD MODELO WEIBULL

Modelo de Weibull					
Lo =	72.522	Alfa =	- 0.041	Beta =	0.425
Lo =	84.242	Alfa =	- 0.206	Beta =	0.101
Lo =	54.986	Alfa =	-2E- 04	Beta =	0.168
Lo =	82.119	Alfa =	- 0.143	Beta =	0.129
Cód.	† Tiempo (s)	Huaga	Huay	Lim	Per
1	i 0	69.58	68.59	54.97	71.2
2	n 5	68.6	67.58	54.97	70.26
3	a 10	67.88	66.96	54.97	69.67
4	H 15	67.3	66.51	54.97	69.24
5	u 20	66.8	66.15	54.97	68.9
6	a 25	66.36	65.86	54.97	68.61
7	y 30	65.97	65.61	54.97	68.36
8	r 35	65.6	65.38	54.97	68.15
9	o 40	65.27	65.19	54.97	67.95
10	L 45	64.95	65.01	54.97	67.77
11	i 50	64.66	64.85	54.97	67.61
12	m 55	64.66	64.85	54.97	67.61
13	e 55	64.38	64.7	54.97	67.47
14	ñ 60	64.11	64.56	54.97	67.33
15	i 65	63.86	64.43	54.97	67.2
16	t 70	63.62	64.31	54.97	67.08
17	a 75	63.39	64.2	54.97	66.97
18	P 80	63.17	64.09	54.97	66.86
19	e 85	62.95	63.99	54.97	66.76
20	r 90	62.75	63.9	54.97	66.66
21	u 95	62.55	63.8	54.97	66.57
22	a 100	62.35	63.72	54.96	66.48
23	n 105	62.17	63.63	54.96	66.4
24	i 110	61.98	63.55	54.96	66.31
25	t 115	61.81	63.48	54.96	66.24
26	120	61.63	63.4	54.96	66.16
27	125	61.46	63.33	54.96	66.09
28	130	61.3	63.26	54.96	66.02
29	135	61.14	63.2	54.96	65.95
30	140	60.98	63.13	54.96	65.89
31	145	60.83	63.07	54.96	65.82
32	150	60.68	63.01	54.96	65.76

ANEXO 8. RESULTADOS DE CINETICA DE HUMEDAD VARIEDAD HUAGALINA

		PESOS	% MATERIA	PESO DE	PESO DE	PESO		Agua	%
	Tiempo	MATERIA FRESCA	SECA VARIEDAD	MATERIA SECA	MATERIA PRESECADO	MATERIA FRITA	Aceite (10%)	luego de fritura	HUMEDAD FRITURA
1	0	5.1814	21.7697	1.1280	3.1364	3.1364	0.3136	1.6948	54.0360
2	0	5.2091	21.7697	1.1340	2.9571	2.9571	0.2957	1.5274	51.6514
3	0	4.6942	21.7697	1.0219	2.9272	2.9272	0.2927	1.6126	55.0890
4	5	5.4691	21.7697	1.1906	3.2083	3.0476	0.3048	1.5522	50.9330
5	5	4.9478	21.7697	1.0771	2.9098	2.7681	0.2768	1.4142	51.0880
6	5	4.7112	21.7697	1.0256	2.6309	2.5757	0.2576	1.2925	50.1811
7	10	5.2207	21.7697	1.1365	3.1719	2.7333	0.2733	1.3234	48.4191
8	10	4.9094	21.7697	1.0688	2.8115	2.4878	0.2488	1.1703	47.0399
9	10	4.8790	21.7697	1.0621	2.6616	2.5726	0.2573	1.2532	48.7132
10	15	5.2222	21.7697	1.1369	2.7155	2.5672	0.2567	1.1736	45.7160
11	15	5.3223	21.7697	1.1586	2.6575	2.5457	0.2546	1.1325	44.4860
12	15	5.0868	21.7697	1.1074	2.4943	2.4977	0.2498	1.1405	45.6639
13	20	5.3380	21.7697	1.1621	2.8787	2.4368	0.2437	1.0311	42.3118
14	20	5.0391	21.7697	1.0970	2.6477	2.3593	0.2359	1.0264	43.5033
15	20	5.1335	21.7697	1.1175	2.5563	2.3922	0.2392	1.0354	43.2837
16	30	4.6470	21.7697	1.0116	2.7777	2.1010	0.2101	0.8793	41.8497
17	30	5.1909	21.7697	1.1300	2.7557	2.2804	0.2280	0.9223	40.4454
18	30	5.5535	21.7697	1.2090	3.0256	2.5515	0.2552	1.0874	42.6169
19	60	5.5740	21.7697	1.2134	3.3538	2.3894	0.2389	0.9370	39.2156
20	60	5.3173	21.7697	1.1576	3.2368	2.2659	0.2266	0.8817	38.9139
21	60	4.7231	21.7697	1.0282	2.4898	2.0085	0.2009	0.7794	38.8073
22	100	5.5354	21.7697	1.2050	3.2378	2.2697	0.2270	0.8377	36.9075
23	100	5.0006	21.7697	1.0886	2.8757	2.0919	0.2092	0.7941	37.9604
24	100	5.3262	21.7697	1.1595	2.8116	2.1519	0.2152	0.7772	36.1175
25	150	5.2233	21.7697	1.1371	2.9507	2.1167	0.2117	0.7679	36.2797
26	150	5.2560	21.7697	1.1442	2.8160	2.1248	0.2125	0.7681	36.1495
27	150	4.9743	21.7697	1.0829	2.7895	2.0199	0.2020	0.7350	36.3889

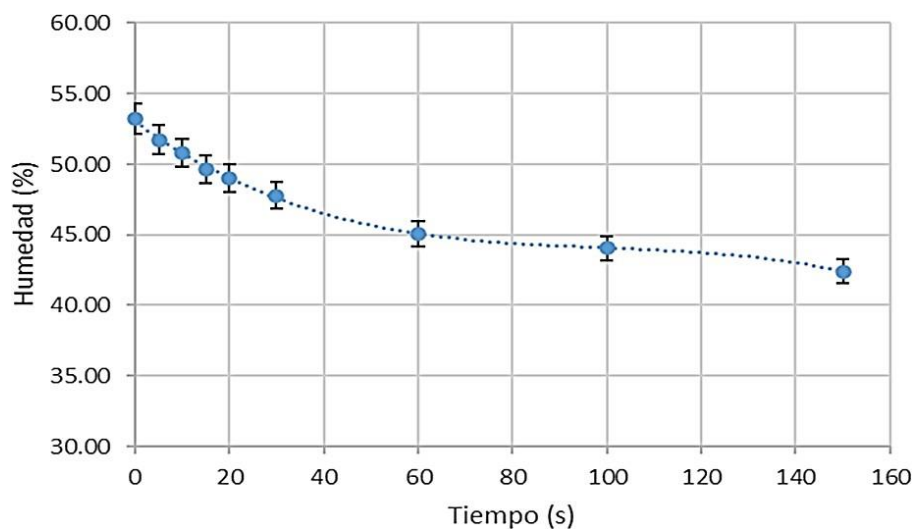
Tiempo (segundos)	Peso de materia fresca (g)	Porcentaje de materia seca (%)	Peso de materia seca (g)	Peso de materia de presecado (g)	Peso de materia frita (g)	Peso de aceite (g)	Peso de agua luego de fritura (g)	Humedad fritura (%)
0	5.400	19.649	1.061	3.248	3.248	0.325	1.862	57.322
05	5.326	19.649	1.047	3.099	3.087	0.309	1.732	56.030
10	5.120	19.649	1.006	3.070	2.713	0.271	1.436	52.960
15	5.359	19.649	1.053	3.128	2.766	0.277	1.437	51.926
20	4.986	19.649	0.980	2.796	2.471	0.247	1.245	50.344
30	5.350	19.649	1.051	2.699	2.613	0.261	1.300	49.627
60	5.431	19.649	1.067	3.037	2.527	0.253	1.208	47.757
100	5.322	19.649	1.046	2.791	2.294	0.229	1.0193	44.418
150	5.262	19.649	1.034	2.802	2.205	0.221	0.951	43.075



**ANEXO 9. RESULTADOS DE CINETICA DE HUMEDAD VARIEDAD
HUAYRO**

N°	PESOS MATERIA	%	PESO DE MATERIA	PESO DE MATERIA	PESO MATERIA		Agua luego de fritura	%	
					SECA FRESCA	PRESECADO FRITA			Aceite (10%)
1	0	5.3880	20.01	1.0781	2.7071	2.7071	0.2707	1.3583	50.1737
2	0	5.2372	20.01	1.0480	2.8934	2.8934	0.2893	1.5561	53.7809
3	0	5.9516	20.01	1.1909	3.4728	3.4728	0.3473	1.9346	55.7073
4	5	5.3475	20.01	1.0700	2.7021	2.7746	0.2775	1.4271	51.4346
5	5	5.3872	20.01	1.0780	3.0630	2.8281	0.2828	1.4673	51.8833
6	5	5.5015	20.01	1.1009	3.1343	2.8857	0.2886	1.4963	51.8515
7	10	5.0549	20.01	1.0115	2.7141	2.5392	0.2539	1.2738	50.1652
8	10	5.5267	20.01	1.1059	3.2393	2.8150	0.2815	1.4276	50.7143
9	10	5.7940	20.01	1.1594	3.1708	3.0132	0.3013	1.5525	51.5233
10	15	5.3320	20.01	1.0669	3.0017	2.6250	0.2625	1.2956	49.3549
11	15	5.0420	20.01	1.0089	2.5860	2.5031	0.2503	1.2439	49.6938
12	15	5.6474	20.01	1.1300	2.8306	2.8140	0.2814	1.4026	49.8420
13	20	5.0487	20.01	1.0102	2.8363	2.5017	0.2502	1.2413	49.6177
14	20	5.2536	20.01	1.0512	2.8795	2.5583	0.2558	1.2512	48.9084
15	20	5.4806	20.01	1.0967	2.8438	2.6427	0.2643	1.2818	48.5020
16	30	5.3459	20.01	1.0697	2.7948	2.5643	0.2564	1.2382	48.2843
17	30	5.7600	20.01	1.1526	2.8255	2.5680	0.2568	1.1586	45.1178
18	30	5.8002	20.01	1.1606	3.0735	2.9009	0.2901	1.4502	49.9910
19	60	5.6793	20.01	1.1364	2.7938	2.4371	0.2437	1.0570	43.3697
20	60	5.2409	20.01	1.0487	2.6364	2.3636	0.2364	1.0785	45.6311
21	60	5.6079	20.01	1.1221	2.9650	2.5643	0.2564	1.1857	46.2399
22	100	5.5340	20.01	1.1074	2.8256	2.4228	0.2423	1.0732	44.2945
23	100	5.6387	20.01	1.1283	2.8410	2.4645	0.2465	1.0897	44.2177
24	100	5.3298	20.01	1.0665	2.7990	2.2999	0.2300	1.0034	43.6287
25	150	5.3269	20.01	1.0659	2.7034	2.1518	0.2152	0.8707	40.4641
26	150	5.3079	20.01	1.0621	2.7207	2.2219	0.2222	0.9376	42.1981
27	150	5.7689	20.01	1.1544	3.1853	2.5423	0.2542	1.1337	44.5940

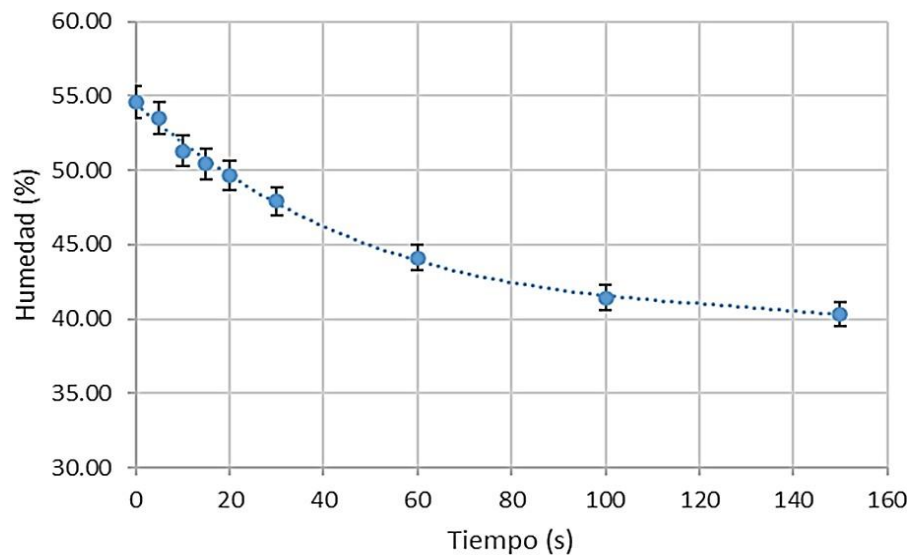
Tiempo (s)	Peso de materia fresca (g)	Porcentaje de materia seca (%)	Peso de materia seca (g)	Peso de materia de presecado (g)	Peso de materia frita (g)	Peso de aceite (g)	Peso de agua fritura (g)	Humedad fritura (%)
0	5.526	20.010	1.106	3.024	3.024	0.302	1.616	53.221
05	5.412	20.010	1.083	2.966	2.829	0.283	1.464	51.723
10	5.459	20.010	1.092	3.041	2.789	0.279	1.418	50.801
15	5.340	20.010	1.068	2.806	2.647	0.265	1.314	49.630
20	5.261	20.010	1.053	2.853	2.568	0.257	1.258	49.009
30	5.635	20.010	1.128	2.898	2.678	0.268	1.282	47.798
60	5.509	20.010	1.102	2.798	2.455	0.246	1.107	45.080
100	5.501	20.010	1.101	2.822	2.396	0.240	1.055	44.047
150	5.468	20.010	1.094	2.870	2.305	0.231	0.981	42.419



**ANEXO 10. RESULTADOS DE CINETICA DE HUMEDAD VARIEDAD
LIMEÑA**

N°	PESOS MATERIA FRESCA	% MATERIA SECA VARIEDAD	PESO DE MATERIA SECA	PESO DE MATERIA PRESECADO	PESO MATERIA FRITA	Aceite (10%)	Agua luego de fritura	% HUMEDAD FRITURA	
1	0	5.3963	19.18	1.03501034	2.8859	2.8859	0.2886	1.5623	54.1356
2	0	4.9853	19.18	0.95618054	2.6706	2.6706	0.2671	1.4474	54.1960
3	0	5.0904	19.18	0.97633872	2.818	2.818	0.2818	1.5599	55.3535
4	5	5.1097	19.18	0.98004046	2.6627	2.6232	0.2623	1.3808	52.6395
5	5	5.3936	19.18	1.03449248	2.929	2.8995	0.2900	1.5751	54.3217
6	5	5.091	19.18	0.9764538	2.808	2.6788	0.2679	1.4345	53.5488
7	10	5.2990	19.18	1.0163	2.8510	2.7374	0.2737	1.4473	52.8718
8	10	5.4093	19.18	1.0375	2.5952	2.5755	0.2576	1.2804	49.7164
9	10	5.0516	19.18	0.9689	2.5280	2.5031	0.2503	1.2839	51.2921
10	15	5.2344	19.18	1.00395792	2.5717	2.4946	0.2495	1.2412	49.7548
11	15	5.1413	19.18	0.98610134	2.6098	2.5133	0.2513	1.2759	50.7647
12	15	5.5407	19.18	1.06270626	2.765	2.7059	0.2706	1.3726	50.7263
13	20	5.5982	19.18	1.07373476	2.8371	2.6583	0.2658	1.3187	49.6082
14	20	5.3847	19.18	1.03278546	2.8159	2.6022	0.2602	1.3092	50.3111
15	20	5.1565	19.18	0.9890167	2.6062	2.4192	0.2419	1.1883	49.1180
16	30	5.1414	19.18	0.98612052	2.5615	2.327	0.2327	1.1082	47.6227
17	30	5.3626	19.18	1.02854668	2.6522	2.4216	0.2422	1.1509	47.5262
18	30	5.3465	19.18	1.0254587	2.7316	2.4769	0.2477	1.2038	48.5991
19	60	5.0508	19.18	0.96874344	2.8228	2.1	0.2100	0.9213	43.8694
20	60	5.0335	19.18	0.9654253	2.4272	2.1082	0.2108	0.9320	44.2062
21	60	4.8104	19.18	0.92263472	2.2288	2.0193	0.2019	0.8947	44.3092
22	100	4.9617	19.18	0.95165406	2.4664	1.9603	0.1960	0.8126	41.4537
23	100	5.321	19.18	1.0205678	2.6935	2.0363	0.2036	0.8121	39.8813
24	100	5.4432	19.18	1.04400576	2.887	2.2191	0.2219	0.9532	42.9536
25	150	4.9728	19.18	0.95378304	2.6687	1.8466	0.1847	0.7082	38.3492
26	150	4.91	19.18	0.941738	2.5844	1.9234	0.1923	0.7893	41.0378
27	150	5.4516	19.18	1.04561688	2.7719	2.154	0.2154	0.8930	41.4570

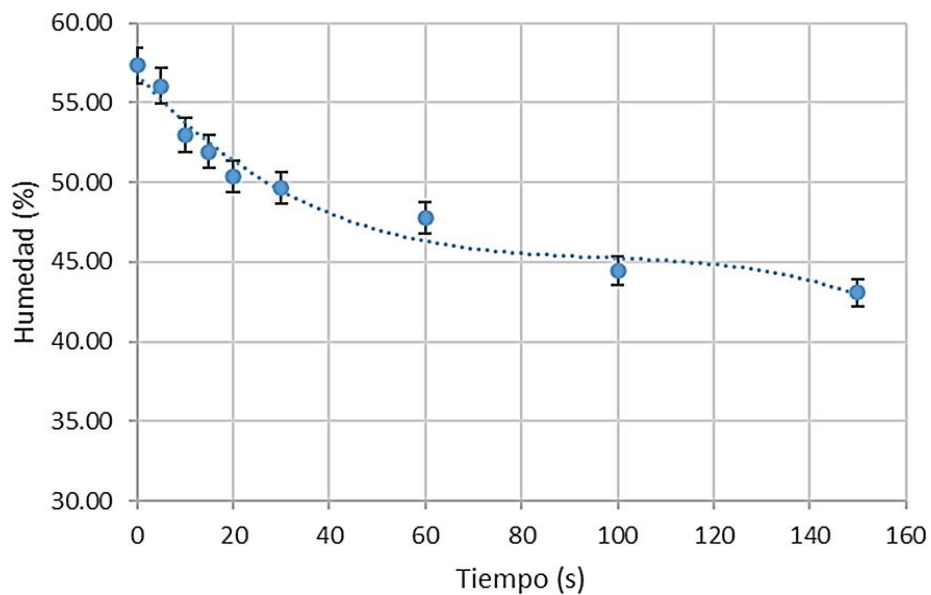
Tiempo (segundos)	Peso de materia fresca (g)	Porcentaje de materia seca (%)	Peso de materia seca (g)	Peso de materia de presecado (g)	Peso de materia frita (g)	Peso de aceite (g)	Peso de agua fritura (g)	Humedad fritura (%)
0	5.157	19.180	0.989	2.792	2.792	0.279	1.523	54.562
05	5.198	19.180	0.997	2.800	2.734	0.273	1.463	53.503
10	5.253	19.180	1.008	2.658	2.605	0.261	1.337	51.293
15	5.305	19.180	1.018	2.649	2.571	0.257	1.297	50.415
20	5.380	19.180	1.032	2.753	2.560	0.256	1.272	49.679
30	5.284	19.180	1.013	2.648	2.409	0.241	1.154	47.916
60	4.965	19.180	0.952	2.492	2.076	0.208	0.916	44.128
100	5.242	19.180	1.005	2.682	2.072	0.207	0.859	41.430
150	5.111	19.180	0.980	2.675	1.975	0.197	0.797	40.281



**ANEXO 11. RESULTADOS DE CINETICA DE HUMEDAD VARIEDAD
PERUANITA**

N°	PESOS MATERIA FRESCA	% MATERIA SECA VARIEDAD	PESO DE MATERIA SECA	PESO DE MATERIA PRESECADO	PESO DE		Aceite (10%)	Agua luego de fritura	% HUMEDAD FRITURA
					PESO MATERIA FRITA	PESO MATERIA FRITA			
1	0	5.5711	19.6489	1.0947	3.3243	3.3243	0.3324	1.8972	57.0710
2	0	5.1465	19.6489	1.0112	3.0710	3.0710	0.3071	1.7527	57.0716
3	0	5.4821	19.6489	1.0772	3.3477	3.3477	0.3348	1.9358	57.8235
4	5	5.5286	19.6489	1.0863	3.3477	3.1098	0.3110	1.7125	55.0682
5	5	5.0456	19.6489	0.9914	3.2705	2.8383	0.2838	1.5631	55.0705
6	5	5.4043	19.6489	1.0619	2.6780	3.3134	0.3313	1.9202	57.9518
7	10	4.6158	19.6489	0.9070	3.3304	2.4999	0.2500	1.3430	53.7204
8	10	4.9712	19.6489	0.9768	2.6436	2.6188	0.2619	1.3801	52.7010
9	10	5.7718	19.6489	1.1341	3.2355	3.0209	0.3021	1.5847	52.4584
10	15	5.3540	19.6489	1.0520	3.1717	2.8311	0.2831	1.4960	52.8412
11	15	5.4289	19.6489	1.0667	3.3191	2.7071	0.2707	1.3697	50.5955
12	15	5.2929	19.6489	1.0400	2.8935	2.7617	0.2762	1.4455	52.3422
13	20	4.7623	19.6489	0.9357	3.0230	2.3666	0.2367	1.1942	50.4606
14	20	5.1980	19.6489	1.0213	2.6399	2.4807	0.2481	1.2113	48.8282
15	20	4.9980	19.6489	0.9821	2.7244	2.5669	0.2567	1.3282	51.7417
16	30	5.3013	19.6489	1.0416	2.7980	2.3877	0.2388	1.1073	46.3745
17	30	5.3361	19.6489	1.0485	2.5094	2.7165	0.2717	1.3964	51.4031
18	30	5.4126	19.6489	1.0635	2.7883	2.7342	0.2734	1.3973	51.1032
19	60	5.5199	19.6489	1.0846	2.9163	2.5571	0.2557	1.2168	47.5848
20	60	5.6693	19.6489	1.1140	3.1512	2.6740	0.2674	1.2926	48.3412
21	60	5.1043	19.6489	1.0029	3.0436	2.3513	0.2351	1.1132	47.3453
22	100	5.2061	19.6489	1.0229	2.6132	2.2249	0.2225	0.9795	44.0230
23	100	5.3562	19.6489	1.0524	2.8822	2.3358	0.2336	1.0498	44.9433
24	100	5.4026	19.6489	1.0616	2.8766	2.3223	0.2322	1.0285	44.2888
25	150	5.0432	19.6489	0.9909	2.9611	2.0657	0.2066	0.8682	42.0292
26	150	5.4235	19.6489	1.0657	2.6170	2.2800	0.2280	0.9863	43.2606
27	150	5.3199	19.6489	1.0453	2.8266	2.2692	0.2269	0.9970	43.9352

Tiempo (segundos)	Peso de materia fresca (g)	Porcentaje de materia seca (%)	Peso de materia seca (g)	Peso de materia de presecado (g)	Peso de materia frita (g)	Peso de aceite (g)	Peso de agua frita (g)	Humedad fritura (%)
0	5.400	19.649	1.061	3.248	3.248	0.325	1.862	57.322
05	5.326	19.649	1.047	3.099	3.087	0.309	1.732	56.030
10	5.120	19.649	1.006	3.070	2.713	0.271	1.436	52.960
15	5.359	19.649	1.053	3.128	2.767	0.277	1.437	51.926
20	4.986	19.649	0.980	2.796	2.471	0.247	1.245	50.344
30	5.350	19.649	1.051	2.699	2.613	0.261	1.300	49.627
60	5.431	19.649	1.067	3.037	2.527	0.253	1.208	47.757
100	5.322	19.649	1.046	2.791	2.294	0.229	1.019	44.418
150	5.262	19.649	1.034	2.802	2.205	0.221	0.951	43.075



Tesis José Salhuana Granados

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
5	idoc.pub Fuente de Internet	1%
6	JUAN EDUARDO BRAVO VASQUEZ. "Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana.", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	web.www3.unicordoba.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	www.sabiia.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet	<1 %
13	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
14	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
15	studylib.es Fuente de Internet	<1 %
16	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad de Salamanca Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %
19	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
20	investigacionyacademia.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %

21

es.wikipedia.org

Fuente de Internet

<1 %

22

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

23

Roberto Quevedo, Oscar Díaz, Emir Valencia, Franco Pedreschi, José M Bastias, Raúl Siche. "Differences Between the Order Model and the Weibull Model in the Modeling of the Enzymatic Browning", Food and Bioprocess Technology, 2016

Publicación

<1 %

24

sedici.unlp.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

25

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

ruidera.uclm.es

Fuente de Internet

<1 %

27

es.cyclopaedia.net

Fuente de Internet

<1 %

28

bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

29

www.scielo.org.co

Fuente de Internet

<1 %

30

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

31	M ^a Empar Llorca Martínez. "Modificaciones químicas y microestructurales en la elaboración de calamares rebozados congelados.", Universitat Politecnica de Valencia, 2004 Publicación	<1 %
32	tvd.wiki Fuente de Internet	<1 %
33	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
35	digital.csic.es Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to International Baccalaureate Ministry of Education of Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
38	Marta Castro Giraldez. "Estudio de los espectros dieléctricos para el control de calidad de alimentos", Universitat Politecnica de Valencia, 2010 Publicación	<1 %
39	Submitted to Universidad Continental	

<1 %

40

SERGIO CUBERO GARCÍA. "Diseño e implementación de nuevas tecnologías basadas en visión artificial para la inspección no destructiva de la calidad de fruta en campo y mínimamente procesada", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015

<1 %

Fuente de Internet

41

www.lamolina.edu.pe

<1 %

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo