



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Predicción de los cambios de propiedades
físicas y texturales mediante la simulación
numérica del proceso de escaldado de jitomate.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MAYRA VIANEY ALBA DURÁN

ASESOR:

I.A FRANCISCO JAVIER LOPEZ MARTÍNEZ

COASESOR:

DRA. MARÍA ELENA VARGAS UGALDE

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

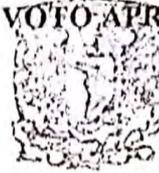


UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Predicción de los cambios de propiedades físicas y texturales mediante la simulación numérica del proceso de escaldado de jitomate.

Que presenta la pasante: **Mayra Vianey Alba Durán**

Con número de cuenta: 309091134 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Octubre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Francisco Javier López Martínez	
VOCAL	I.A. María Guadalupe López Franco	
SECRETARIO	I.A Edgar Francisco Arechavaleta Vázquez	
1er. SUPLENTE	I.Q.I Ada Josefa Meza Meza	
2do. SUPLENTE	I.A. Maritza Rocandio Pineda	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, de manera muy especial quiero ofrecer mi agradecimiento y dedicatoria con todo mi amor al gran ángel que me acompaña y guía desde el cielo, mi abuelita Rosa María Martínez Pérez, pues ella siempre confió en mí y aunque partió antes de poderme ver lograrlo sé que desde donde está, celebra conmigo.

A mis padres, María de Jesús Durán Martínez y Héctor Alba Garduño por ser las personas que siempre han estado para mí y que contribuyeron en gran parte a la culminación de esta etapa, gracias por todo lo que me han dado y por haberme forjado como la persona que actualmente soy.

A mi hermano Luis Héctor Alba Durán, porque sé que siempre está dispuesto a apoyarme en cualquier circunstancia.

Con cariño y gratitud a las personas que formaron parte de esta hermosa etapa: Mafer, Bibi Jobany, Karla, Iván, Natalia, Eli, Raúl y Memo, con quiénes experimente demasiadas cosas y a quienes les debo los mejores recuerdos de la universidad.

Con mucho cariño a la persona que me ofrece su apoyo incondicional, que es participe de mis sueños e ilusiones y es en mi vida parte muy importante. De las pocas personas por las que lo daría todo sin preguntar.

A mis asesores de tesis la Dra. María Elena Vargas Ugalde y el I.A Francisco Javier López Martínez por su paciencia, comprensión, disponibilidad, apoyo incondicional y buena voluntad durante todo el tiempo que llevo el proceso.

En general a todos los profesores que contribuyeron a mi formación académica y profesional.

A los ingenieros Juan Carlos Díaz, Adolfo Díaz y Liz Díaz por brindarme las facilidades de culminar este trabajo, además de su apoyo y motivación.

¡¡GRACIAS!!

Trabajo realizado con el apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIME clave PE208917:
LEM ALIMENTOS: TEORÍA PLANTEAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
EXPERIMENTALES POR MÉTODOS COMPUTACIONALES.

Índice

Resumen

1. Introducción	11
2. Marco Teórico	13
2.1 Conservación de alimentos	13
2.1.1 Principales métodos de conservación	14
2.2 Tratamientos térmicos	15
2.3 Escaldado	16
2.3.1 Definición y objetivos del escaldado	16
2.3.2 Tipos de escaldado	17
2.3.3 Efecto del escaldado	17
2.4 Propiedades físicas de los alimentos	19
2.4.1 Color	19
2.4.2 Textura	20
2.5 Simulación de procesos	22
2.5.1 Definición	22
2.5.2 Etapas para realizar un estudio de simulación	23
2.5.3 Diseño y desarrollo	24
2.5.3.1 Generación de variables aleatorias no uniformes	24
2.5.3.2 Lenguajes de programación	25
3. Metodología	28
3.1 Objetivos	28
3.2 Objetivo General	28
3.3 Objetivos particulares	28
3.3.1 Objetivo particular 1	28
3.3.2 Objetivo particular 2	28
3.3.3 Objetivo particular 3	28
4. Materiales y métodos	28
4.1 Material biológico	28
4.2 Escaldado	29

4.3 Perfil de temperaturas	30
4.4 Propiedades físicas	31
4.5 Colorimetría	31
4.6 Captura y tratamiento de imágenes	32
4.7 Dureza	32
4.8 Simulación	33
5. Resultados	35
5.1 Perfiles de temperatura al interior del jitomate	35
5.2 Cambios en las dimensiones del jitomate	36
5.3 Cambios en el color	40
5.4 Cambios en la dureza	45
5.5 Programa de simulación	46
6. Validación y contrastación	47
7. Conclusiones	53
8. Referencias	54

Índice de cuadros

Cuadro 1. Clasificación de propiedades relacionadas con la textura de los alimentos.	21
Cuadro 2. Colores (etapas de maduración) para el jitomate.	29
Cuadro 3. Tiempo de escaldado aplicado para cada uno de los jitomates Saladette.	30
Cuadro 4. Valores óptimos de ΔE de acuerdo con la norma ISO 12647-2.	32
Cuadro 5. Porcentajes de diferencia entre las longitudes iniciales y finales de los jitomates sometidos al proceso de escaldado.	37
Cuadro 6. Porcentajes de diferencia entre los diámetros iniciales y finales de los jitomates sometidos al proceso de escaldado.	38
Cuadro 7. Porcentajes de diferencia entre los pesos iniciales y finales de los jitomates sometidos al proceso de escaldado.	39
Cuadro 8. Coeficientes obtenidos por el programa Curve expert para aplicar el polinomio de cuarto grado.	40
Cuadro 9. Valores del cambio de color (ΔE) para los jitomates sometidos al proceso de escaldado de acuerdo con los valores de L, a y b obtenidos con el colorímetro.	43
Cuadro 10. Valores del cambio de color (ΔE) para los jitomates sometidos al proceso de escaldado de acuerdo con los valores de L, a y b obtenidos con el programa Photoshop.	44
Cuadro 11. Valores del índice de dureza.	45
Cuadro 12. Coeficientes obtenidos por el programa Curve expert para aplicar el modelo de Weibull.	46

Índices de figuras.

Figura 1. Fotografía de jitomate durante el proceso de escaldado.	31
Figura 2. Diagrama de flujo para programa de simulación de los cambios de propiedades físicas y texturales ocurridos en el jitomate durante el proceso de escaldado.	34
Figura 3. Perfiles de temperatura del jitomate durante el proceso de escaldado.	35
Figura 4. Perfil de temperatura del jitomate en la superficie.	36
Figura 5. Cambios en la longitud de los jitomates escaldados.	37
Figura 6. Cambios en el diámetro de los jitomates escaldados.	38
Figura 7. Cambios en el peso de los jitomates escaldados.	39

Figura 8. Fotografías de los jitomates antes y después de ser escaldados.	41
Figura 9. Fotografías de los jitomates antes y después de ser escaldados (continuación).	42
Figura 10. Coordenadas L, a, b obtenidas con el colorímetro en cuatro puntos del jitomate fresco y el jitomate escaldado.	43
Figura 11. Coordenadas L, a, b obtenidas con Photoshop en cuatro puntos de la imagen del jitomate fresco y el jitomate escaldado.	44
Figura 12. Temperaturas calculadas por el programa en los 5 puntos del jitomate.	48
Figura 13. Perfiles de temperatura calculados por el programa.	48
Figura 14. Cambios en la textura del jitomate calculados por el programa.	49
Figura 15. Cambios en las dimensiones del jitomate calculados por el programa.	50
Figura 16. Perfil de temperatura en el centro del jitomate.	50
Figura 17. Perfil de temperatura a 75% del radio del jitomate.	51
Figura 18. Comportamiento del índice de dureza durante el proceso de escaldado.	51

Resumen

El escaldado es una operación que debe ser cuidada, es decir, debe ser muy controlada en cuanto a la magnitud del tratamiento térmico en nivel de temperatura y período de aplicación, para evitar la pérdida de nutrimentos y propiedades sensoriales. Para llevar el control de dicho proceso puede utilizarse la simulación de procesos con modelos matemáticos, que nos ayuda tanto a generar nuevas alternativas como a identificar las condiciones más adecuadas para conseguir los fines deseados, sin interrumpir líneas de producción y sin tener que diseñar ni construir prototipos. Además, es un procedimiento útil y económico.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la penetración de calor y los cambios en color, dureza, longitud, diámetro y peso, ocurridos en el jitomate durante el proceso de escaldado, para desarrollar un programa de simulación a partir de los resultados obtenidos, propuesto como alternativa a la experimentación real, permitiendo describir la relación entre las variables que definen al proceso de escaldado para experimentar con ellas mediante simulación.

Una contribución importante de México a la agricultura mundial es el cultivo de jitomate, comúnmente llamado tomate, siendo un ingrediente ampliamente utilizado en la preparación de alimentos. En el territorio mexicano, la variedad con mayor distribución de este producto es el “jitomate saladette” que representa el 56% de la producción total anual (Sagarpa, 2010). Por ello para la ejecución del proyecto se trabajó con jitomate Saladette, el cual se sometió al proceso de escaldado por inmersión en agua a una temperatura de 92.5°C durante 5 minutos.

Durante el escaldado en intervalos de 30 s, se realizaron pruebas de color (colorímetro Minolta CR 300, cámara fotográfica, software de imagen Photoshop), dureza (texturómetro mecánico Marca: Stable Macrosystems modelo: TA. XT plus) y se midió el tamaño del jitomate (Vernier Digital). De igual forma se tomaron datos de temperatura dentro del jitomate (Termopares inalámbricos tipo J) y del tiempo de proceso para realizar la historia térmica, finalmente se obtuvo el perfil de penetración de temperatura. Con estos datos, se procedió a desarrollar el programa de simulación en lenguaje Java, empleando la plataforma Netbeans.

Por último se validó el programa, simulando una corrida con las mismas condiciones que se establecieron experimentalmente y se contrastaron los datos del programa con los experimentales; demostrando que el programa es confiable.

1.- Introducción

La preservación de alimentos puede definirse como el conjunto de tratamientos que prolonga su vida útil, manteniendo en el mayor grado posible sus atributos de calidad, incluyendo color, textura, sabor y especialmente valor nutritivo (Paltrinieri, 1993).

El escaldado es un tratamiento térmico que se aplica sobre todo a productos vegetales. A diferencia de otros procesos, el escaldado no destruye los microorganismos ni alarga la vida útil de los alimentos. Es una técnica previa a un segundo tratamiento, como puede ser la congelación, el enlatado, la liofilización o el secado, y produce un ablandamiento en el alimento que facilita el pelado en el caso de los jitomates, así como la limpieza y su posterior envasado. Es un proceso de uso generalizado en las industrias alimentarias que procesan verduras y algunas frutas, cuyo principal objetivo es inactivar enzimas, aumentar la fijación de la clorofila sobre todo en los vegetales verdes.

El escaldado consta de una primera fase de calentamiento del producto a temperaturas entre 70°C y 100°C. A esta etapa le sigue otra, que consiste en mantener el alimento durante un período de tiempo, que varía entre 30 segundos y dos o tres minutos, a la temperatura deseada. El último paso es realizar un enfriamiento rápido. De lo contrario, se contribuye a la proliferación de microorganismos termófilos, resistentes a la temperatura (Gimferrer, 2012). Siempre es preferible un tratamiento de alta temperatura por un período corto de tiempo. El tiempo de tratamiento depende de características del alimento tales como dimensiones, grado de madurez y variedad (Gil, 2010).

En los últimos años, soportada por el enorme progreso en la velocidad de los computadores, la simulación numérica se ha convertido en una herramienta importante para el diseño de productos, la predicción y optimización de procesos técnicos e industriales. La razón fundamental por la cual los cálculos numéricos han sido paulatinamente adoptados por la industria es que ofrecen una posibilidad barata y atractiva para la investigación de productos y procesos. En las disciplinas de ingeniería hay ciertas propiedades de los cuerpos sólidos o de los flujos de fluidos que tienen un papel importante, como: las deformaciones y esfuerzos, distribuciones de velocidad, presión y temperatura, fuerzas de resistencia, caídas de presión y

pérdidas de energía, o tasas de transferencia de calor y energía. Desde el punto de vista del quehacer en ingeniería, la investigación de tales propiedades, habitualmente, es esencial en el transcurso del rediseño o la mejora de productos y procesos, donde el conocimiento adquirido puede ser útil para diversos propósitos: mejora de la eficiencia, reducción del consumo de energía, mejora de la seguridad, extensión de vida útil, reducción de contaminantes, reducción de ruido, ahorro de materia prima o el entendimiento de procesos (Laín,2014). Las técnicas numéricas se han establecido en los últimos años como una disciplina científica ampliamente autocontenida. En este contexto, las investigaciones se llevan a cabo mediante métodos numéricos implementados en programas de computadora.

La simulación numérica del proceso de transferencia de energía permite calcular las distribuciones tiempo-temperatura en todo el dominio del alimento variando la temperatura. Por lo anterior, en este trabajo se decidió simular el proceso de escaldado. Una de las técnicas numéricas más utilizadas para los procesos térmicos son las Diferencias Finitas que nos permiten reemplazar las derivadas por diferencias, este método es una aproximación para encontrar la solución numérica de las ecuaciones que gobiernan el modelo matemático de un sistema continuo (Coss, 2003).

2. MARCO TEORICO.

2.1 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.

El concepto general de la preservación de alimentos es prevenir o evitar el desarrollo de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos) para que el alimento no se deteriore durante el almacenaje. Al mismo tiempo, se deben controlar los cambios químicos y bioquímicos que provocan deterioro. De esta manera, se logra obtener un alimento sin alteraciones en sus características organolépticas típicas (color, sabor y aroma), y que puede ser consumido sin riesgo durante un cierto período (no inferior a un año).

Recientemente, se han tenido muchas innovaciones en los procesos industriales de alimentos. Las técnicas que se practican hoy en la preservación de éstos tienen diferentes grados de complejidad, desde los antiguos métodos de fermentación y de secado solar, hasta la irradiación y la deshidratación por congelación. Cuando se consideran las técnicas relevantes de preservación de alimentos en la industria, se debe limitar la discusión a la aplicación de los métodos más sencillos.

La preservación de alimentos puede definirse como el conjunto de tratamientos que prolonga la vida útil de aquellos, manteniendo, en el mayor grado posible, sus atributos de calidad, incluyendo color, textura, sabor y especialmente valor nutritivo. Esta definición involucra una amplia escala de tiempos de conservación, desde períodos cortos, dados por métodos domésticos de cocción y almacenaje en frío, hasta períodos muy prolongados, dados por procesos industriales estrictamente controlados como la conservas, los congelados y los deshidratados (Paltrinieri, 1993).

Si se considera la estabilidad microbiana, los métodos de preservación por un periodo corto como la refrigeración son inadecuados después de algunos días o semanas de acuerdo a la materia prima, puesto que se produce un desarrollo microbiano acelerado.

En el caso de los procesos industriales, donde la conservación se realiza por la esterilización comercial, deshidratación o congelado, el desarrollo microbiano es controlado hasta el punto

en que el alimento que se elabora es seguro para su consumo. Además, se debe tener en cuenta que el uso de envases adecuados es particularmente importante, considerando que los procesos no tendrían ninguna validez si su envase no evita la contaminación posterior.

La preservación de frutas y hortalizas está dada por la utilización integral o parcial de la materia prima. En los casos de utilización integral únicamente se usa la materia prima sin agregados, como en los refrigerados y congelados, en el caso de la utilización parcial la materia prima puede transformarse o formularse en forma diferente, dependiendo del producto que se desea obtener, por ejemplo, hortalizas en salsa, sopas, jaleas, encurtidos (pickles) y jugos. Un claro ejemplo de los casos mencionados es el jitomate, el cual en su forma integral se conserva en refrigeración para su distribución y en su forma parcial sufre una serie de cambios físicos provocados por el pelado, la trituración o tamizado, obteniendo así conservas, jugo concentrado y puré. Para una misma materia prima se pueden considerar diversas posibilidades de proceso, las que originarán distintos productos. Por ejemplo, en el caso de la piña, se pueden obtener conservas en rodajas o tiras; pulpas o jugos, todos a partir de la misma fruta (Paltrinieri, 1993).

2.1.1 PRINCIPALES MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

En forma general, los métodos de conservación se pueden clasificar en tres tipos:

- Métodos de preservación por períodos cortos:
 - Refrigeración.
 - Almacenaje refrigerado con atmósfera modificada.
 - Tratamientos químicos superficiales.
 - Condiciones especiales de almacenaje.
 - Sistemas de embalaje que involucran modificación de atmósfera.
- Métodos de preservación por acción química:
 - Preservación con azúcar.
 - Adición de anhídrido sulfuroso.
 - Conservación por fermentación y salado.
 - Tratamiento con ácidos (adición de vinagre)

- Uso de aditivos químicos para control microbiano.
 - Métodos de preservación por tratamientos físicos:
- Uso de altas temperaturas.
- Uso de bajas temperaturas.
- Uso de radiaciones ionizantes.

La mayoría de estos métodos involucran una combinación de técnicas. Por ejemplo, existe una combinación entre congelación y deshidratación y conservas, pasteurización y fermentación. Además, es necesario contar con envases y embalajes adecuados que aseguren la protección del alimento contra microorganismos (Paltrinieri, 1993).

En los procesos de conservación por tratamiento térmico, el calentamiento reduce la concentración microbiana del alimento, pudiendo también inactivar las enzimas presentes. El tratamiento térmico es sólo una parte del proceso global, que puede incluir también, por ejemplo, la adición de conservadores químicos, el envasado adecuado del producto, o el almacenamiento a temperaturas reducidas. No es requisito que el calentamiento elimine a la totalidad de los gérmenes viables (Brennan, 2008).

2.2 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Una de las tecnologías más utilizadas para la conservación de alimentos consiste en someterlos a un proceso de calentamiento en condiciones determinadas de tiempo-temperatura. Este método de conservación, llamado procesamiento térmico, se realiza en alimentos previamente envasados en recipientes herméticos, o en los alimentos que después van a ser envasados bajo condiciones estériles.

Cabe destacar que la elaboración de productos derivados de frutas y vegetales procesados térmicamente permite aumentar su potencial de conservación, retener sus atributos de calidad deseables y reducir la necesidad de adicionar conservadores químicos; de ahí su importancia como proceso para ofrecer productos sanos e inocuos de larga duración. Los objetivos del procesamiento térmico se centran en lo siguiente:

- Asegurar la destrucción de microorganismos tanto vegetativos como esporulados.
- Detener las reacciones metabólicas (inhibir la actividad enzimática).
- Facilitar la cocción (puede ser completa o parcial) o mejorar las características sensoriales.
- Mantener el valor nutricional.

Respecto al último objetivo, se ha observado que, por parte de los consumidores, existe un interés cada vez mayor por el valor nutricional y funcional que poseen las frutas y hortalizas, por lo que siempre está presente la preocupación por los cambios que sufren los alimentos a causa del procesamiento. Debido a estos cambios en las propiedades de los alimentos resulta necesario optimizar las condiciones bajo las cuales se debe aplicar un proceso térmico (Bosquez, 2010).

2.3 ESCALDADO

2.3.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DEL ESCALDADO

Es una operación que consiste en sumergir la materia prima en agua caliente (de 85 a 98°C) o bien exponerla al vapor. Debe existir un control preciso de temperatura y tiempo. Los objetivos que se persiguen con el escaldado no son siempre los mismos y varían de acuerdo con el estado de madurez y el tipo de fruta u hortaliza (Bosquez, 2010).

Así, el escaldado se realiza por una o más de las siguientes razones:

- 1.- Inhibición de la acción enzimática. Al inactivarse las enzimas del producto, se permite que las reacciones oxidativas y otras de tipo químico también se inhiban, lo que contribuye a la obtención de un producto de mayor calidad, dado que se evitan cambios indeseables en el color y sabor del producto. En este contexto, el principal objetivo del escaldado es inactivar enzimas como la polifenoloxidasas, que produce oscurecimiento enzimático, así como la catalasa y peroxidasa, que catalizan la reacción de oxidación de pigmentos, lípidos y vitaminas.
- 2.- Expulsión de gases de respiración, lo cual:

- Evita o reduce la tensión o esfuerzo sobre los sellos de la lata durante el proceso térmico y favorece el desarrollo de un mayor vacío en el producto terminado.
- Reduce la corrosión interna de envases y/o tapas metálicas.

3.- Suavización del alimento. El producto se vuelve más manejable para el llenado del envase, por lo que se obtienen mayores pesos drenados.

4.- Facilitación de operaciones preliminares. El pelado, el cortado (cubos o rebanado) la extracción de pulpa y otros pasos preparatorios se realizan más fácil y eficientemente en algunos tipos de frutas y hortalizas.

5.- Fijación del color natural de ciertos productos. El escaldado puede o no ayudar a la retención del color verde en algunas hortalizas, lo cual depende del producto, la temperatura y el método de preservación utilizado después del escaldado.

6.- Remoción de sabores y olores no deseables de la materia prima.

2.3.2 TIPOS DE ESCALDADO.

- **Escaldado con agua caliente.** Esta forma de escaldado es muy eficiente y uniforme ya que el proceso puede controlarse adecuadamente. La principal desventaja es el gran volumen de agua requerido para el contacto directo con el producto, lo que a su vez ocasiona la lixiviación de ácidos, vitaminas y minerales importantes para la nutrición.
- **Escaldado por vapor.** Con este método se tiene la ventaja de que los productos retienen su contenido nutritivo. La principal desventaja consiste en que resulta menos eficiente ya que se requieren mayores tiempos para la inactivación enzimática, es más difícil controlar el tiempo y la temperatura, y el producto puede dañarse perdiendo material soluble de importancia nutricional como proteínas, azúcares y vitaminas en el caso de que no se controlen.
- **Escaldado químico.** Se utiliza cuando los dos métodos anteriores provocan daños graves al producto. Se realiza mediante la aplicación de dióxido de azufre, sulfitos, bisulfitos o metabisulfitos, los cuales reaccionan con compuestos fenólicos que inactivan enzimas.

2.3.3 EFECTO DEL ESCALDADO

Los tejidos vegetales son materiales vivos y manifiestan frescura dependiendo en gran cantidad de la ordenación estructural y composición química de la pared celular de los espacios intercelulares donde las sustancias pécticas son las principales constituyentes. El

calentamiento dado durante el escaldado ocasiona rompimiento de la célula y reducción de sustancias pécticas y además causa cambios irreversibles en la estructura celular y en las características físicas del tejido vegetal. El rompimiento de la membrana citoplasmática incrementa su permeabilidad penetrando agua a la célula y a los espacios intercelulares donde son expelidos los gases y otros productos volátiles. Las proteínas se desnaturalizan y existe pérdida de nutrimentos hidrosolubles como vitaminas, azúcares, minerales, clorofila y carotenos.

El escaldado es un tratamiento necesario para inactivar las enzimas de pectinesterasa y poligalacturonasa encontradas en los tomates ya que afectan a la calidad de los productos procesados causando una disminución rápida de viscosidad; así como otras enzimas naturales que podría descomponer pigmentos (Schwartz, 1994).

La intensidad del color rojo licopeno se usa como un indicador de la calidad de los productos de tomate y también cuando se utiliza como colorante de alimentos.

Dependiendo del uso final de conservación de los productos escaldados pueden observarse uno o varios de los siguientes efectos:

- Inactivación de enzimas para prevenir el desarrollo de sabor desagradable y la decoloración, causados por la presencia de clorofilas y carotenos.
- Lixiviación de almidón, lo que evitará productos con aspecto turbio.
- Remoción del aire atrapado inter o intracelular, con lo cual el producto es más fácil de enlatar. Por otro lado, se previene la oxidación de compuestos durante el almacenamiento de productos congelados.
- Mejoramiento del color en el producto, aunque algunos obtienen una disminución del mismo.
- Mayor control de calidad, ya que las partes defectuosas se hacen más visibles y por lo tanto el producto puede ser separado más eficientemente.
- Disminución de la contaminación microbiana, ya que las células vegetativas, levaduras y mohos son destruidos.
- Reducción del tiempo de cocinado, al igual que la homogeneización para mezcla de productos, al ser tratados individualmente.
- Con el tratamiento térmico en un producto se puede desarrollar un sabor amargo, el cual se encuentra incluido cuando llega al consumidor.

- En el escaldado cuando el agua o vapor es usado para el calentamiento existen pérdidas por lixiviación de vitaminas, sabor, color, carbohidratos, así como de otros componentes solubles en agua.

2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ALIMENTOS

Se entiende por propiedades físicas de un material aquellas características que pueden ser medidas y observadas sin modificar su composición o identidad. En alimentos, se pueden definir como aquellas propiedades que son importantes en el diseño de procesos y en la manufactura de alimentos (Vélez, 2003).

Las propiedades más importantes de los alimentos para los procesadores son la geometría, el color, la textura, propiedades funcionales y el sabor (Brennan, 2008).

2.4.1 COLOR

Es importante entender que el color es una sensación subjetiva que produce la luz reflejada o transmitida por el alimento en el ojo del consumidor.

El color de un alimento es importante desde el punto de vista comercial ya que un alimento para ser aceptado debe tener el color que espera el consumidor.

El color es un atributo físico que el ser humano puede distinguir con cierta precisión, ya que el ojo es relativamente sensible al color, especialmente a la comparación, por lo que los colores de los alimentos han de ser reproducidos con cierta precisión.

Por otra parte, el color puede tener en ocasiones aplicaciones analíticas o diagnósticas, como determinar el grado de madurez de un fruto.

El color es una magnitud física compleja que requiere ser definido rigurosamente con el fin de llegar a una forma de representación convencional que permita medirlo y transmitir la información en la industria alimentaria. A diferencia de otras magnitudes, el color no es definible por un único número.

Es un atributo de apariencia de los productos; su observación permite detectar ciertas anomalías y defectos. Diversas industrias miden el color de sus productos. En la industria alimentaria, el color es un parámetro en base al cuál se realizan clasificaciones de productos, se evalúan materias primas, se hace control de procesos y se miden indirectamente otros parámetros (Clementz, et.al, 2010).

El licopeno es un pigmento natural que le confiere el color rojo al jitomate. Bajo diferentes condiciones de procesamiento de alimentos, el licopeno se somete a la degradación a través de isomerización y oxidación, que afectan su bioactividad. Las reacciones de degradación del

licopeno se ven influidas por factores tales como el medio de reacción, la temperatura, el estado físico, y las condiciones ambientales. Los factores más importantes durante el proceso son el calor, la luz y el oxígeno (Ordoñez, et.al, 2009). Debido a estos factores, el color del jitomate puede cambiar durante el escaldado.

2.4.2 TEXTURA

La textura es un componente fundamental de la percepción organoléptica del alimento directamente relacionado con su estructura. Percibida sensorialmente, se define como “el atributo de una sustancia resultante de la combinación de las propiedades físicas” y percibida por los sentidos del tacto, incluidos aspectos cinestésicos y la palatabilidad, la vista y el oído (Boatella, 2004).

También se define como el conjunto de sensaciones mecánicas que produce el alimento en la boca al ser ingerido, es una sensación compleja que depende de cómo fluye el alimento, cómo se deforma bajo la presión o cómo se rompe bajo un esfuerzo, entre otras.

En realidad, se trata de un concepto bastante ambiguo, que ha sido definido de muy diversas maneras, debido a la participación de varios sentidos aplicados con amplitudes diferentes. De todos modos, siempre se manifiesta como una consecuencia externa de un cambio en la disposición de los elementos estructurales, o de los diversos componentes químicos, así como de sus combinaciones. Por ello, no puede hablarse de la textura de un alimento como un factor único que le caracteriza, sino como un elenco de tributos que aportan al alimento sus propiedades o sus características de textura (Bello, 2004).

La parametrización de las propiedades relacionadas con la textura de un alimento es, en consecuencia, una tarea compleja, pero de primordial importancia para la industria alimentaria, ya que de ella depende, de forma muy notable, la aceptación de este por parte del consumidor.

La percepción de la textura depende de la actividad de sistemas sensoriales deferentes, aunque las sensaciones más importantes procedan de la actividad muscular (cinestesia): tacto y presión. Las impresiones aportadas por las características geométricas, o las procedentes de la naturaleza líquida del alimento, vienen dadas de modo primario por las sensaciones del tacto. En cambio, para percibir las impresiones derivadas de las características mecánicas del alimento se requiere la contribución de los movimientos de boca y mandíbulas, dependiendo

de la magnitud de la fuerza, o presión, requerida para fracturar el alimento o simplemente modificar su forma.

La textura debe estar representada por una serie de características mecánicas, geométricas y de composición, que pueden ser primarias cuando se relacionan con una propiedad (fuerza, deformación, energía), o secundarias cuando son una consecuencia de la combinación de las anteriores. Todas ellas están vinculadas al modo de reaccionar un alimento frente a fuerzas que pueden ser medidas con los texturómetros.

Son atributos mecánicos aquellos que informan acerca de comportamiento frente a la deformación: adhesividad, cohesividad, dureza, elasticidad, fragilidad, viscosidad, gomosidad, masticabilidad.

Son atributos geométricos los relacionados con la forma o la orientación de las partículas del alimento: aspereza, esponjosidad, fibrosidad, flexibilidad, granulosidad.

Son atributos de composición los que indican de modo aparente la presencia de algún compuesto químico: aceitosidad, humedad (Bello, 2004).

Dado el carácter subjetivo, las propiedades de los productos y la dificultad de objetivar las sensaciones, se citan en la bibliografía una gran diversidad de características texturales que, además en ocasiones son de difícil clasificación. En este sentido Szczesniak propuso una primera aproximación a la clasificación de estas propiedades, como se muestra en el cuadro 1:

Cuadro 1. Clasificación de propiedades relacionadas con la textura de los alimentos.

CARACTERÍSTICAS	PARÁMETROS PRIMARIOS	TÉRMINOS RELACIONADOS	
Mecánicas	Dureza	blando, firme, duro.	
	Cohesión	Fragilidad	desmenuzable, crujiente, quebradizo.
		Masticabilidad	tierno, masticable, correoso.
		Gomosidad	crujiente, quebradizo, harinoso, pastoso, gomoso.
	Elasticidad	plástico, elástico.	
Adhesividad	pegajoso.		
Geométricas	Tamaño y forma de partícula	arenoso, granoso.	
	Forma y orientación de partícula	fibroso, cristalino.	
Otras	Humedad	seco, húmedo, acuoso.	
	Contenido de grasa	oleoso, untuoso.	

Fuente: (Boatella, 2004)

Desde un punto de vista físico las características mecánicas pueden definirse de la siguiente manera:

Dureza: Fuerza necesaria para conseguir en el alimento una deformación determinada.

Cohesividad: Fortaleza que mantiene unidos los enlaces internos que existen entre las distintas partículas que integran un alimento.

Adhesividad: Trabajo necesario para vencer las fuerzas atractivas entre las superficies de los materiales de un alimento puestos en contacto.

Elasticidad: Velocidad a la que un alimento, deformado por una fuerza externa, recupera su condición inicial una vez que ha desaparecido la acción de dicha fuerza.

Viscosidad: Velocidad con la que fluye un alimento por unidad de energía aplicada o de fuerza que le obligue a moverse

Fragilidad: Fuerza con la que se puede fractura el material que integra un alimento.

Masticabilidad: Energía requerida para masticar un alimento sólido y convertido en una forma o situación, adecuada para su degustación.

Gomosidad: Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido hasta una situación que sea apta para su degustación. (Bello, 2004)

2.5 SIMULACIÓN DE PROCESOS

La ingeniería de los procesos industriales precisa de herramientas para resolver los problemas de diseño y dimensionamiento de los procesos industriales. La industria se ve forzada a construir costosas plantas piloto para simular y probar el comportamiento de nuevos procesos para aplicar después de los conocimientos adquiridos en la planta real que se construirá posteriormente. Esta simulación es necesariamente complicada y costosa, y a veces imprecisa, debido a los cambios de escala entre la planta piloto y la planta real.

2.5.1 Definición

La simulación es una herramienta de trabajo que nació lentamente, en paralelo con la aparición de la computadora, y que poco a poco se ha impuesto gracias a la mayor velocidad y capacidad que las computadoras han ido ofreciendo a la industria.

La creciente utilización de la computadora en la simulación de procesos industriales ha sido posible gracias al desarrollo de las técnicas numéricas y al empleo de nuevos lenguajes de simulación (Himmeblau and Kennet, 2004).

2.5.2 ETAPAS PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

- **Definición del sistema:** Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.
- **Formulación del modelo:** una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.
- **Colección de datos:** es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Los modelos más frecuentes son: modelos físicos, analógicos, gráficos y matemáticos. Se considera fundamental el tipo de modelo matemático ya que ayuda a analizar y comprender procesos físicos complejos (Himmeblau and Kennet, 2004).
Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y si se requiere, por experimentación.
- **Implementación del modelo en la computadora:** con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza algún lenguaje como Fortran, Basic, Algol, etc., o se utiliza algún paquete como GPSS, Simula, Simgen, etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.
- **Validación:** una de las principales etapas de un estudio de simulación es la validación. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o

en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validar un modelo son:

- 1.- La opinión de expertos sobre los resultados de simulación.
- 2.- La exactitud con que se predicen datos históricos.
- 3.- La exactitud en la predicción del futuro.
- 4.- La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
- 5.- La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

- **Experimentación:** la experimentación con el modelo se realiza después de que éste ha sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
- **Interpretación:** en esta etapa del estudio, se interpretan los resultados de la simulación y con base en esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a sistemáticamente obtener mejores resultados.
- **Documentación:** se requieren dos tipos de documentación para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de procesamiento de datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado, a través de una terminal de computadora.

2.5.3 DISEÑO Y DESARROLLO.

Puesto que la simulación está basada fuertemente en la teoría de probabilidad y estadística, en matemáticas, en ciencias computacionales, etc., es conveniente considerar como intervienen estas áreas en el desarrollo y formulación del modelo de simulación.

2.5.3.1 Generación de variables aleatorias no-uniformes

Si el modelo de simulación es estocástico, es decir que el modelo matemático tenga la probabilidad de que la evolución del sistema dependa del tiempo, por ejemplo, el tiempo que un cajero de un banco requiere para procesar el depósito de un cliente depende de varios factores (algunos de ellos pueden ser controlados, otros no; algunos son medibles, otros no),

pero al final, realizando un conjunto de observaciones del tiempo de procesamiento de cada depósito del cajero, puede permitir ajustar los tiempos a una distribución y ‘predecir’ cuál será el tiempo de proceso en un modelo de simulación por eventos discretos. La simulación debe ser capaz de generar variables aleatorias no uniformes de distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas. Lo anterior puede obtenerse si se cuenta con un generador de números uniformes y una función que transforme estos números en valores de la distribución de probabilidad deseada. A este respecto, se han desarrollado una gran cantidad de generadores para las distribuciones de probabilidad más comunes como: la distribución normal, la distribución exponencial, la distribución Poisson, la distribución Erlang, la distribución Binomial, la distribución Gamma, la distribución Beta, la distribución F, T, etc.

2.5.3.2 Lenguajes de programación

Las primeras etapas de un estudio de simulación se refieren a la definición del sistema que va a ser modelado y a la descripción del sistema en términos de relaciones lógicas de sus variables y diagramas de flujo. Sin embargo, llega el momento de describir el modelo en un lenguaje que sea aceptado por la computadora que se va a usar. En esta etapa se tienen dos cursos de acción a seguir si no se tiene nada de software sobre simulación: 1) Desarrollar el software requerido para estudios de simulación, o 2) Comprar software (lenguajes de programación de propósito especial). Para esta alternativa es necesario analizar y evaluar varios paquetes de simulación antes de tomar la decisión final.

○ Condiciones iniciales

La mayoría de los modelos de simulación estocástica se corren con la idea de estudiar al sistema en una situación de estado estable. Sin embargo, la mayoría de estos modelos presentan en su etapa inicial estados transientes, los cuales no son típicos del estado estable. Por consiguiente, es necesario establecer claramente las alternativas o cursos de acción que existen para resolver este problema. Algunos autores piensan que la forma de atacar este problema sería a través de:

- Usar un tiempo de corrida lo suficientemente grande de modo que los períodos transientes sean relativamente insignificantes con respecto a la condición de estado estable.
- Excluir una parte apropiada de la parte inicial de la corrida.

- Utilizar simulación regenerativa, que es aquella donde existen instantes en los que el proceso recomienza probabilísticamente y empieza en el mismo punto de partida a partir de intervalos regulares de tiempo.

De las tres alternativas presentadas, la que tiene menos desventajas es el uso de simulación regenerativa. Algunas de sus ventajas son que permite recoger grupos de datos que están distribuidos idéntica e independientemente y resuelve dos de los principales problemas que existen en simulación, cómo son: el punto en el cual el sistema alcanza el estado estacionario y la dependencia estadística entre muestras. Por esta razón este método se puede aplicar para estimar características puntuales de los sistemas y determinar intervalos de confianza, en lugar de tener que recurrir a técnicas de análisis más sofisticadas. (Fontana. D, Díaz.C, 1980). Las otras alternativas presentan la desventaja de ser prohibitivamente excesivas en costo.

- o **Tamaño de la muestra**

Uno de los factores principales a considerar en un estudio de simulación es el tamaño de la muestra (número de corridas en la computadora).

La selección de un tamaño de muestra apropiado que asegure un nivel deseado de precisión y a la vez minimice el costo de operación del modelo, es un problema algo difícil pero muy importante. Puesto que la información proporcionada por el experimento de simulación sería la base para decidir con respecto a la operación del sistema real, esta información deberá ser tan exacta y precisa como sea posible o al menos, el grado de imprecisión presente en la información proporcionada por el modelo debe ser conocida. Por consiguiente, es necesario que se realice un análisis estadístico para determinar el tamaño de muestra requerido.

El tamaño de la muestra puede ser obtenido de dos maneras:

1. Previa e independientemente de la operación del modelo, o
2. Durante la operación del modelo y basado en los resultados arrojados por el modelo.

Para la última alternativa se utiliza la técnica estadística de intervalos de confianza.

- o **Diseño de experimentos**

El diseño de experimentos es un tópico cuya relevancia en experimentos de simulación ha sido reconocida pero raramente aplicado. El diseño de experimentos en estudios de simulación puede ser de varios tipos, dependiendo de los propósitos específicos que se hayan

planteado. Existen varios tipos de análisis que pueden requerirse. Entre los más comunes e importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Comparación de las medias y variaciones de las alternativas analizadas.
- Determinación de la importancia y el efecto de diferentes variables en los resultados de la simulación.
- Búsqueda de los valores óptimos de un conjunto de variables.

Para realizar el primer tipo de análisis, al cual se le denomina comúnmente diseño de experimentos de un factor simple, es necesario tomar muy en cuenta el tamaño de la muestra, las condiciones iniciales y la presencia o ausencia de auto correlación. Para el segundo tipo de análisis, existe una gran cantidad de literatura, puesto que la gran mayoría de los libros de texto de diseño de experimentos, explican o tratan el tema de análisis de varianza y técnicas de regresión como medios para evaluar la importancia y el efecto de varias variables en los resultados de operación de un sistema. Para el tercer tipo de análisis, generalmente se requiere utilizar algoritmos heurísticos de búsqueda como por ejemplo el algoritmo de Hooke y Jeeves (Coss, 2003).

En este trabajo se estudió el proceso de escaldado de jitomate mediante el método de inmersión en agua caliente, para la creación de un programa de simulación que logre predecir el efecto de las condiciones de dicho proceso sobre las propiedades del producto.

3. METODOLOGÍA

3.1 Objetivos

3.2 Objetivo general.

Predecir la variación de sus propiedades físicas y texturales de jitomate Saladette, que se tendrán durante el escaldado por inmersión en agua, mediante un modelo de simulación numérica, que permita cuantificar los cambios físicos y texturales del jitomate a diferentes condiciones de proceso.

3.3 Objetivos particulares.

3.3.1 Objetivo particular 1.

Determinar experimentalmente el efecto del tiempo de escaldado por inmersión en las propiedades físicas y texturales del jitomate.

3.3.2 Objetivo particular 2.

Determinar mediante el procesamiento y análisis de imágenes los cambios de color en el jitomate durante el proceso de escaldado.

3.3.3 Objetivo particular 3.

Desarrollar un programa de simulación que permita predecir los cambios físicos y texturales que tendría el jitomate al ser sometido a diferentes condiciones de escaldado.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material Biológico

La materia prima utilizada fue jitomate variedad Saladette, el cual fue adquirido en el comercio local, usando como criterio de selección los parámetros de color, tamaño y forma uniforme, para obtener muestras relativamente homogéneas. La NMX-FF-031-1997 establece que el factor de coloración de los jitomates se asocia con la madurez del producto y puede presentarse dentro de la escala indicada (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Colores (etapas de maduración) para el jitomate.

Verde:	Significa que la piel del tomate está completamente verde. El color verde puede variar de verde claro a oscuro.
Quebrando (verde - rosa):	Significa que hay una interrupción distinta en el color de verde hasta amarillo, rosado o rojo en no más del 10 % de la piel.
Rayado (rayando):	Significa que entre el 10 % y el 30 % de la superficie del tomate muestra un cambio definido del color verde hasta amarillo, rosado o rojo, o una mezcla de éstos.
Rosa:	Significa que entre el 30 % y el 60 % de la superficie del tomate, muestra un color rosado o rojo.
Rojo claro:	Significa que entre el 60 % y el 90 % de la superficie tiene color osado/rojo o rojo.
Rojo:	Significa que más del 90 % de la superficie del tomate muestra color rojo.

De acuerdo con lo anterior se seleccionaron jitomates de color rojo, buscando que estos tuvieran el mismo grado de madurez.

4.2 Escaldado

El proceso de escaldado por inmersión en agua caliente se llevó a cabo en un recipiente de aluminio, en la que se colocaron 2L. Se sumergió individualmente un jitomate para cada tiempo de escaldado establecido (intervalos de 30s hasta los 300s). La temperatura de escaldado fue 92.5°C.

Cuadro 3. Tiempo de escaldado aplicado para cada uno de los jitomates Saladette.

JITOMATE	Tiempo (s) de escaldado al que fue sometido.
1	0
2	30
3	60
4	90
5	120
6	150
7	180
8	210
9	240
10	270
11	300

4.3 Perfil de temperaturas

El perfil de temperaturas nos permite monitorear e interpretar las temperaturas de un producto a medida que se somete a un proceso de calentamiento. Los datos numéricos recolectados se convierten en información significativa que se muestra como una gráfica. Esta información proporciona datos de las temperaturas que ha alcanzado el producto, por cuanto tiempo y en qué punto del proceso.

Para conocer la distribución de temperaturas en el jitomate, se determinaron cinco puntos: centro, 25%, 50% y 75% del radio y superficie. En dichos puntos se midió la temperatura con ayuda de los termopares inalámbricos tipo J, en intervalos de 30s para obtener el perfil de temperatura (Figura 1).

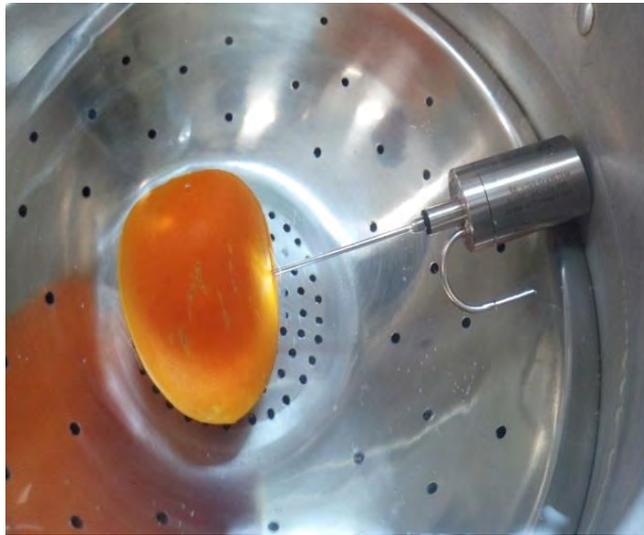


Figura 1. Fotografía de jitomate durante el proceso de escaldado.

4.4 Propiedades físicas

Se midieron las dimensiones (longitud, diámetro) y peso de los jitomates antes y después de ser sometidos a escaldado, con ayuda de un Vernier digital y una báscula digital. Los datos obtenidos se registraron. Para comprobar si había un cambio significativo se calculó el porcentaje de diferencia entre los valores iniciales y finales con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \times 100$$

estableciendo que el cambio no es significativo si el resultado obtenido del porcentaje no sobrepasaba el 10%.

4.5 Colorimetría

La evaluación de color se llevó a cabo mediante la utilización de un colorímetro marca Minolta modelo CR 300, el cual fue calibrado antes de ser utilizado. Se empleó la escala Hunter-Lab para cuantificar el color. Para poder evaluar el efecto del proceso térmico sobre el color, se determinó el cambio total de color (ΔE), mediante la ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Dónde:

ΔL , Δa , Δb son las diferencias de los valores L, a, b de la muestra antes y después de ser procesada.

Las determinaciones de L, a, b fueron medidas para cada muestra sobre la superficie en cuatro puntos del jitomate, para posteriormente ser promediadas.

ΔE se usó para evaluar las diferencias de tono entre el color de los jitomates frescos y el de los jitomates escaldados. Los valores óptimos de trabajo están especificados en la ISO 12647-2 (Cuadro 3).

Cuadro 4. Valores óptimos de ΔE de acuerdo con la norma ISO 12647-2.

Valores de ΔE	Calidad
0-1	Excelente
1-2	Buena
2-4	Normal
4-5	Suficiente
> 5	Mala

Está normalizado que una diferencia del ΔE entre dos colores superior al valor 5, según la ISO, se considerará como mala y normalmente inaceptable entre dos colores determinados, ya que indican que la diferencia de color es especialmente evidente.

4.6 Captura y tratamiento de imágenes.

Para la captura de imágenes se utilizó la cámara de 13MP de un celular Alcatel Idol 3 modelo 6045, y el estudio de los resultados de color se realizó analizando estas imágenes con el software Adobe Photoshop CS6, para obtener los parámetros L, a, b, dividiendo el área del jitomate en 4 partes y obteniendo el valor promedio para cada parámetro.

4.7 Dureza

Para el caso del cambio de la textura, el parámetro de interés obtenido fue la dureza, la cual se midió determinando los parámetros de firmeza del producto, efectuando ensayos de compresión, con la ayuda de un Texturómetro mecánico (Stable Macrosystems modelo:

TA.XT plus). La prueba de medición se realizó a una velocidad de 0.2mm/s, obteniendo resultados en g/s. Para obtener una ecuación que permitiera simular los cambios en la dureza sin importar el valor inicial, se utilizó una relación adimensional del cambio de la dureza a la cual se le denominó índice de dureza. Una vez obtenidos todos los índices se empleó el programa Curve Expert para determinar el modelo de regresión que permitió ajustar los valores del índice de dureza, que fue utilizado en la programación y simulación.

4.8 Simulación

Para poder realizar la simulación fue importante seguir las siguientes etapas:

1. Reconocer los elementos básicos del problema: perfiles de temperatura dentro del jitomate y los cambios en las propiedades físicas del mismo.
2. Definir las funciones del software: calcular las temperaturas dentro del jitomate, graficar perfiles de temperatura, calcular y graficar los cambios en la dureza del jitomate, así como los cambios en la longitud, diámetro y peso de este.
3. Entender el comportamiento de los factores que afectan al sistema, en este caso, las condiciones del escaldado (tiempo y temperatura).

En el diseño del programa se consideraron los cambios que sufre el jitomate cuando se somete al proceso de escaldado, para conocerlos durante el proceso, es indispensable obtener las propiedades térmicas como el calor específico (C_p), conductividad térmica (k), difusividad térmica (α), dichas propiedades se obtuvieron de la bibliografía; sus propiedades físicas y mecánicas, así como las condiciones del proceso las cuáles se obtuvieron experimentalmente.

Se recabaron los datos obtenidos experimentalmente (cambios en propiedades físicas y dureza) y se analizaron con el fin de determinar la interacción del tiempo y la temperatura para realizar el programa de simulación. Una vez definidos los resultados obtenidos del estudio se construyó un modelo matemático. Con el modelo definido se utilizó la plataforma Netbeans de Java para poder procesar los datos y desarrollar el programa.

Se elaboró un diagrama de flujo que sirvió como base para la elaboración del programa de simulación (figura 2).

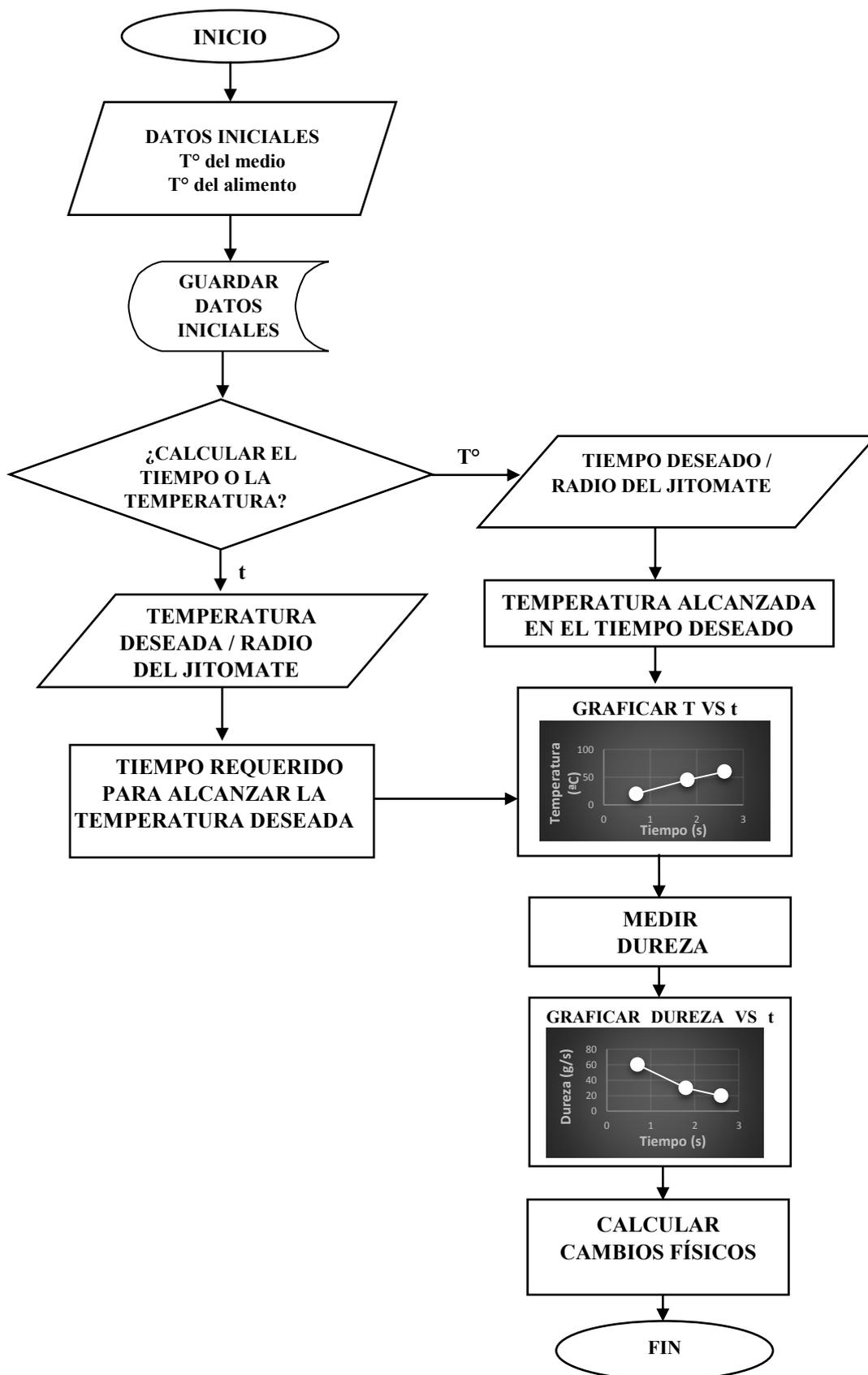


Figura 2. Diagrama de flujo para programa de simulación de los cambios de propiedades físicas y texturales ocurridos en el jitomate durante el proceso de escaldado.

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas descritas en el capítulo anterior. Los resultados muestran cómo se da la penetración de calor en el jitomate cuando es sometido al proceso de escaldado (perfiles de temperatura), así como los cambios que le ocurren a este en cuanto a color y dimensiones.

5.1 Perfiles de temperatura al interior del jitomate.

Con los resultados experimentales de temperatura, obtenidos en los cinco puntos del jitomate se trazaron gráficas en función del tiempo, para obtener los perfiles de temperatura y determinar el comportamiento de la penetración de calor.

La figura 3 muestra los perfiles de temperatura obtenidos en cuatro de los cinco puntos establecidos, durante la experimentación.

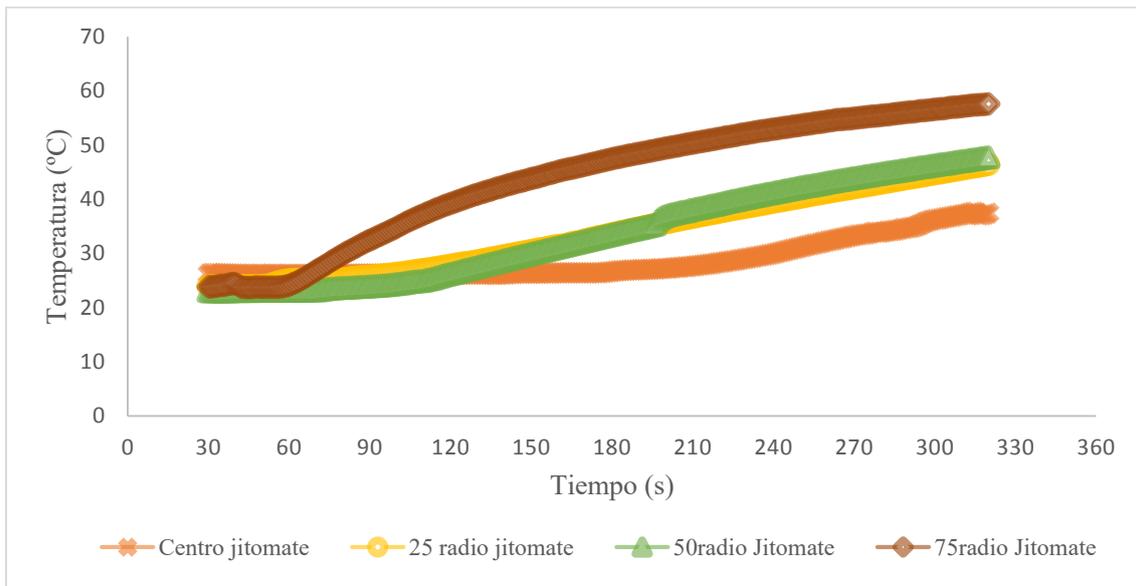


Figura 3. Perfiles de temperatura en el jitomate durante el proceso de escaldado.

Como puede observarse en la Figura 3, las curvas presentaron un comportamiento similar. En los primeros 60s la temperatura se mantiene constante y a partir de aquí la penetración de calor en el jitomate aumenta de forma gradual hacia la superficie. De acuerdo a la medición que se hizo con el termopar inalámbrico, en el centro se alcanza una temperatura de 37°C, mientras que a 75% del radio se alcanza una temperatura de 57°C. Se considera que las temperaturas de 25% y 50% del radio son similares debido a la composición del jitomate,

pues el jitomate cuenta con cavidades dónde se encuentran las semillas y líquido por lo que la transferencia de calor es diferente en estos puntos, comparados con los otros dos puntos.

En la figura 4 se muestra la curva correspondiente al perfil de temperatura, obtenida en la superficie del jitomate. Debido a que durante el proceso de escaldado la cáscara del jitomate se fractura o se rompe, existen muchas variaciones en la medición pues el termopar llegó a tocar en momentos el agua en ebullición o llegó a introducirse en el jitomate. A pesar de esto, en la curva podemos observar un aumento rápido de temperatura durante los primeros segundos y a partir de los 210s observamos que existe un periodo aparentemente constante considerando 75.8°C la temperatura promedio alcanzada en la superficie.

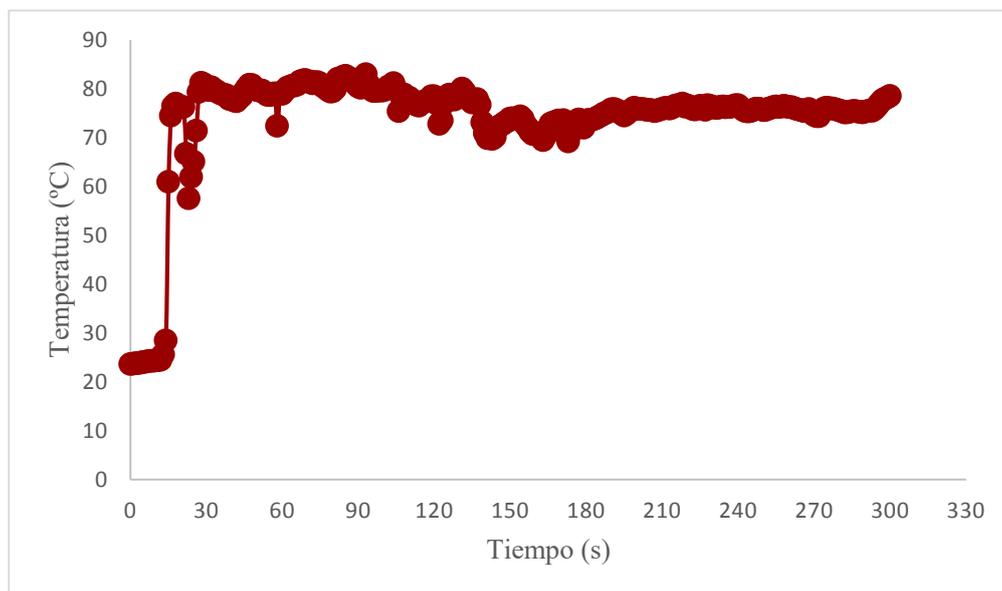


Figura 4. Perfil de temperatura del jitomate en la superficie.

5.2 Cambios en las dimensiones del jitomate.

Se puede decir que las diferencias entre las propiedades físicas del jitomate durante los primeros 120 segundos de escaldado y las del jitomate fresco, son pequeñas y a partir de este tiempo y hasta los 300s se considera que los cambios son más notorios.

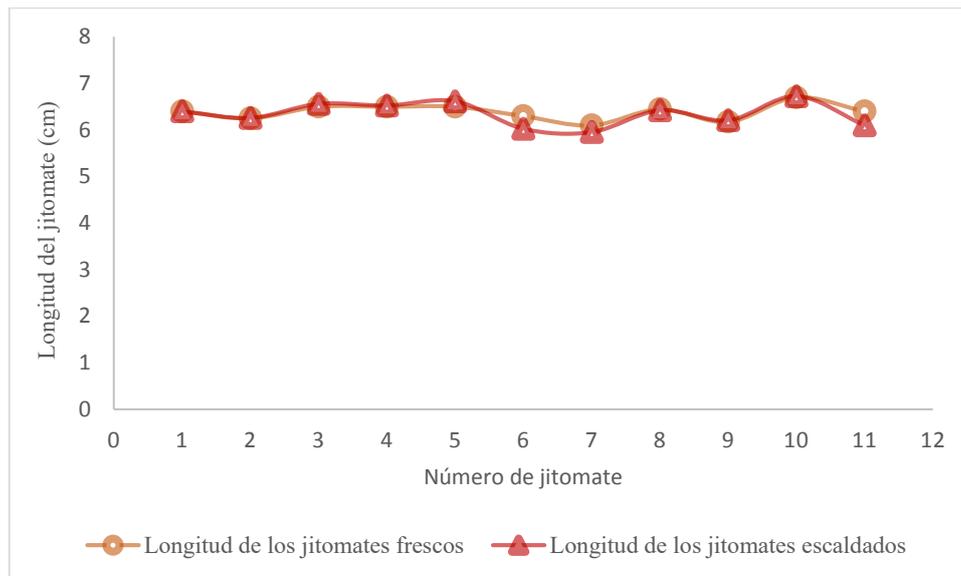


Figura 5. Cambios en la longitud de los jitomates

En la figura 5 podemos observar que los jitomates que presentaron disminución en cuanto a la longitud fueron los jitomates 6, 7, 8 y 11 esto debido a que hubo separación de la cáscara y la pulpa afectando así a la longitud (Figuras 8 y 9). En el cuadro 4 se muestran los valores del porcentaje de diferencia obtenido para la longitud de cada uno de los jitomates. De acuerdo con lo establecido en la metodología, ningún jitomate presentó un cambio significativo en cuanto a su longitud. Para los casos donde el porcentaje es negativo, esto se debió a que disminuyeron su longitud por lo mencionado anteriormente.

Cuadro 5. Porcentajes de diferencia entre las longitudes iniciales y finales de los jitomates sometidos al proceso de escaldado.

	JITOMATE	PORCENTAJE DE DIFERENCIA (%)
<i>LONGITUD</i>	1	0
	2	0.11
	3	0.92
	4	0.38
	5	1.8
	6	-4.33
	7	-2.38
	8	-0.38
	9	0.55
	10	0.37
	11	-4.68

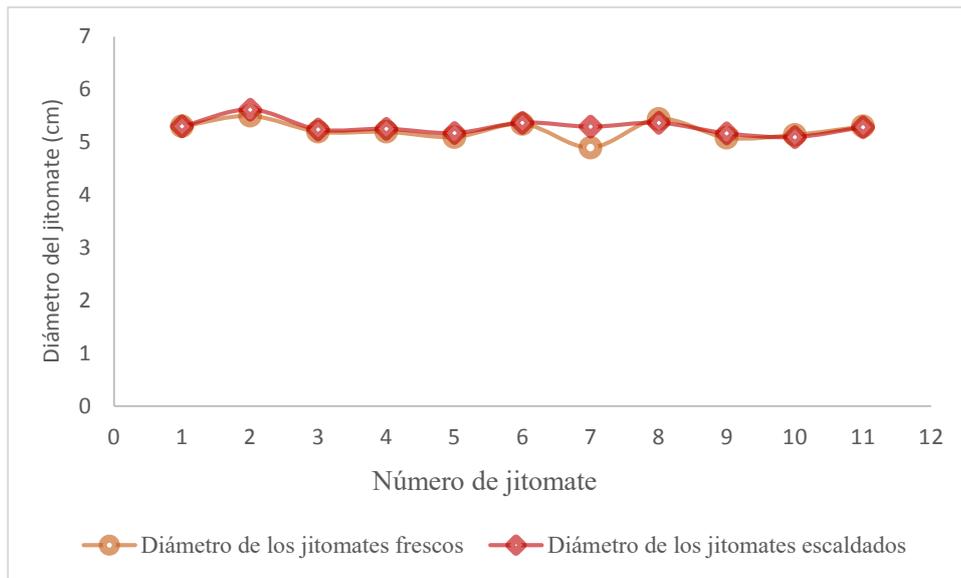


Figura 6. Cambios en el diámetro de los jitomates.

Cuadro 6. Porcentajes de diferencia entre los diámetros iniciales y finales de los jitomates sometidos al proceso de escaldado.

<i>DIÁMETRO</i>	JITOMATE	PORCENTAJE DE DIFERENCIA (%)
	1	0
	2	2.16
	3	0.82
	4	1.09
	5	1.49
	6	0.44
	7	8.06
	8	-1.35
	9	1.61
	10	-0.79
	11	-0.24

De acuerdo con la figura 6, a partir del jitomate número 2 y hasta el 7 se observa un aumento en el diámetro, siendo este último el jitomate que presentó mayor aumento. Esto puede indicar que en la dirección radial del jitomate se tiene un mayor hinchamiento, cuando se somete al proceso de escaldado. En el cuadro 5 observamos que nuevamente ningún porcentaje de diferencia sobrepasó el 10% por lo cual se considera que los cambios en el diámetro de los jitomates no son significativos.

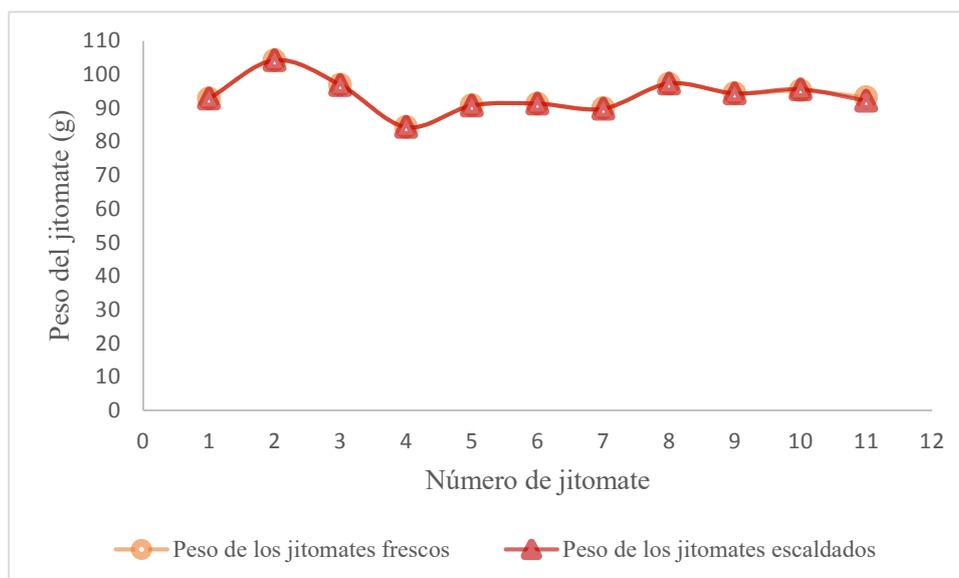


Figura 7. Cambios en el peso de los jitomates.

Las variaciones de peso son prácticamente nulas, de acuerdo, con lo observado en la figura 7 y el cuadro 6, se puede decir que se mantuvo constante. En los casos donde tiende a disminuir, la disminución de peso la podemos atribuir a la ruptura de la piel del jitomate, que dejó escapar algo del material del interior y lo cual provoca obtener un porcentaje de diferencia negativo. En el caso donde hubo aumento puede ser porque el jitomate no se escurrió totalmente y el agua superficial en exceso, incrementó el peso.

Cuadro 7. Porcentajes de diferencia entre los pesos iniciales y finales de los jitomates sometidos al proceso de escaldado.

	JITOMATE	PORCENTAJE DE DIFERENCIA (%)
<i>PESO</i>	1	0
	2	-0.07
	3	-0.08
	4	-0.04
	5	-0.05
	6	0
	7	0.09
	8	-0.04
	9	1.61
	10	0.36
	11	-1.12

Una vez que se obtuvieron los cambios en las dimensiones, se procedió a obtener el modelo matemático que mejor se ajustara a los datos y que fue utilizado para la programación. En este caso sólo se consideraron los cambios en la longitud; el diámetro y el peso se consideraron constantes.

La obtención del modelo de ajuste se realizó con ayuda del programa Curve expert, en el cual se introdujeron los datos obtenidos de los cambios en la longitud. De acuerdo con la valoración del programa el modelo que mejor se ajusta a los datos es un polinomio de cuarto grado.

Cuadro 8. Coeficientes obtenidos por el programa Curve expert, para aplicar el polinomio de cuarto grado.

	$y=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4$
A	-2.75E-07
B	4.42E+02
C	-2.06E+02
D	3.20E+01
E	-1.65E+00

5.3 Cambios en el color.

En las Figuras 8 y 9 se presentan las fotografías de los jitomates utilizados para la experimentación, del lado izquierdo se encuentran las muestras sin procesar y del lado derecho, las muestras escaldadas. Puede observarse que en general no existen cambios de color en el jitomate debidos al proceso, esto lo verificamos con los valores obtenidos de L,a y b, que se analizan en las figuras 10 y 11 de la páginas 40 y 41.

De acuerdo con estudios sobre la estabilidad del licopeno que es el pigmento mayoritario que le imparte al jitomate el color rojo, el escaldado en agua mantiene los niveles de licopeno bastante estables a condiciones de tiempo y temperatura considerablemente bajos (Melendez, A. Vicario, I. Heredia, F. 2004), es por ello que en este caso no se generó un cambio radical en el color de las muestras escaldadas.

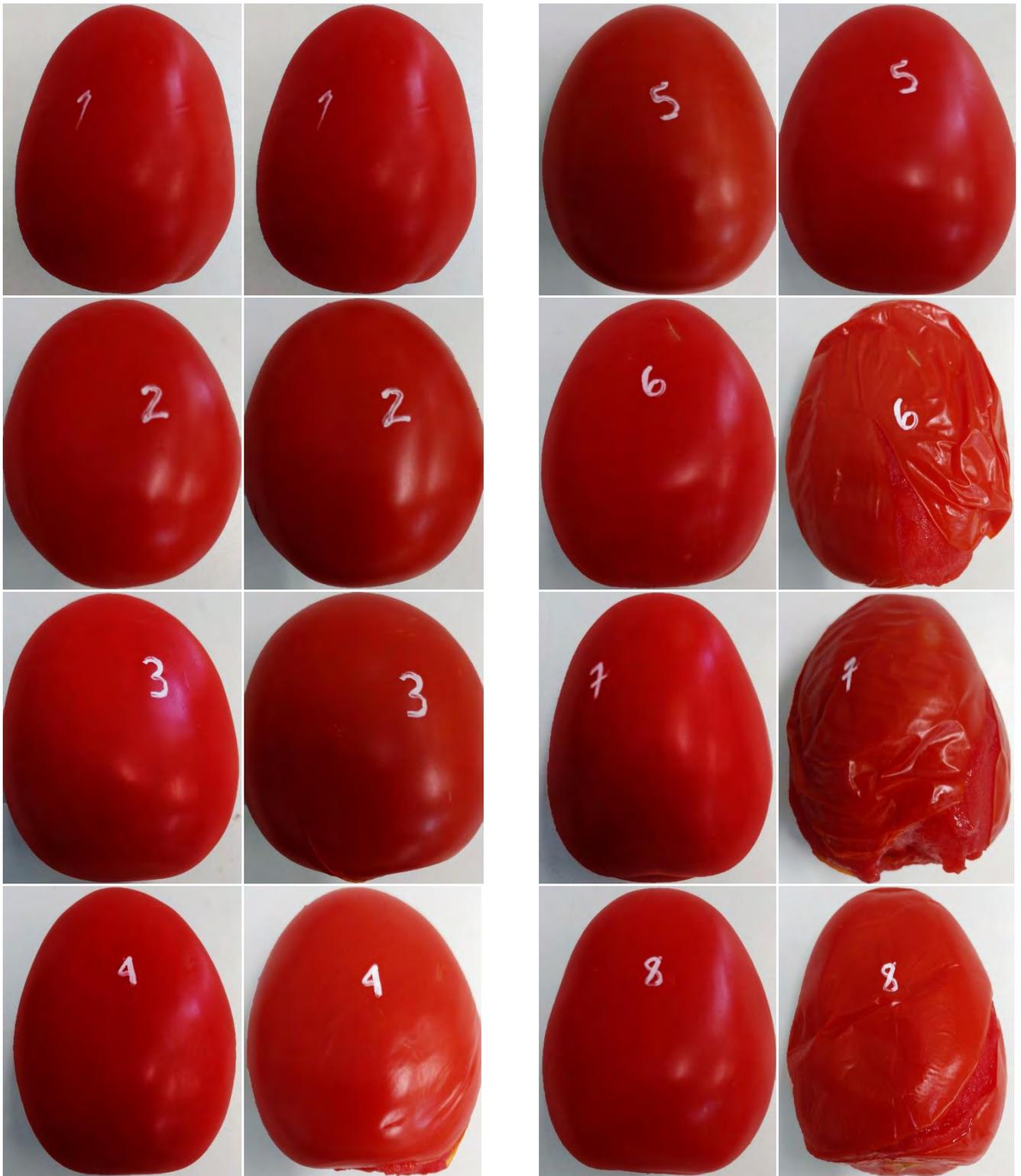


Figura 8. Fotografías de jitomates antes y después de escaldar.

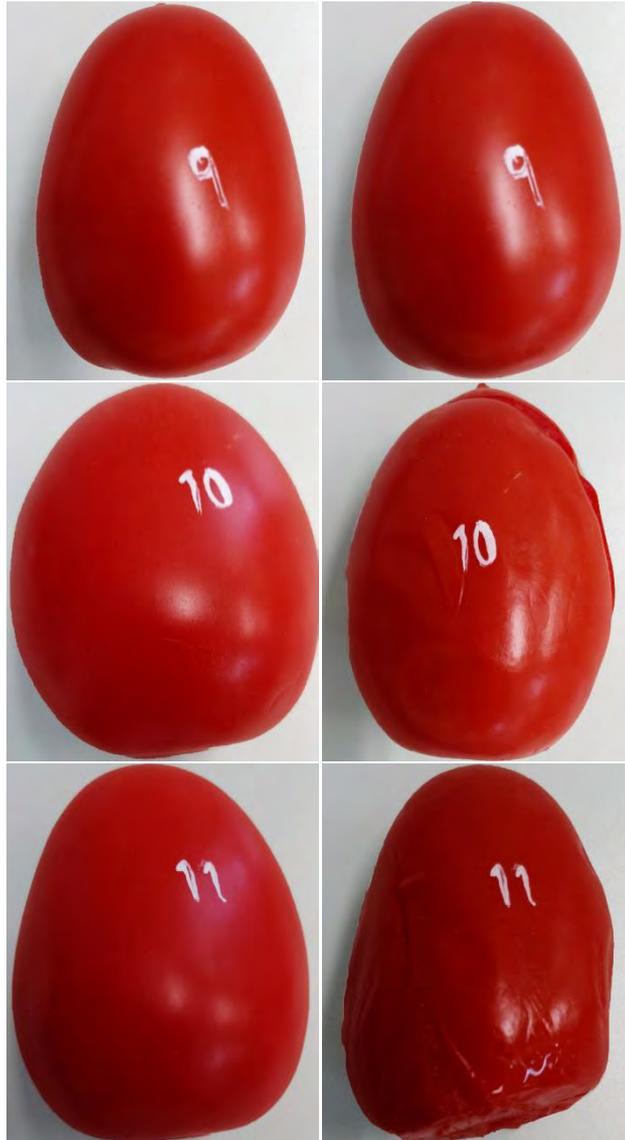


Figura 9. Fotografías de jitomates antes y después de escaldar (continuación).

A manera de ejemplo se presenta la figura 10 correspondiente al jitomate número dos, donde podemos observar la comparación entre las coordenadas L^* , a^* y b^* que se obtuvieron con el colorímetro para el jitomate fresco y las que se obtuvieron para el jitomate escaldado.

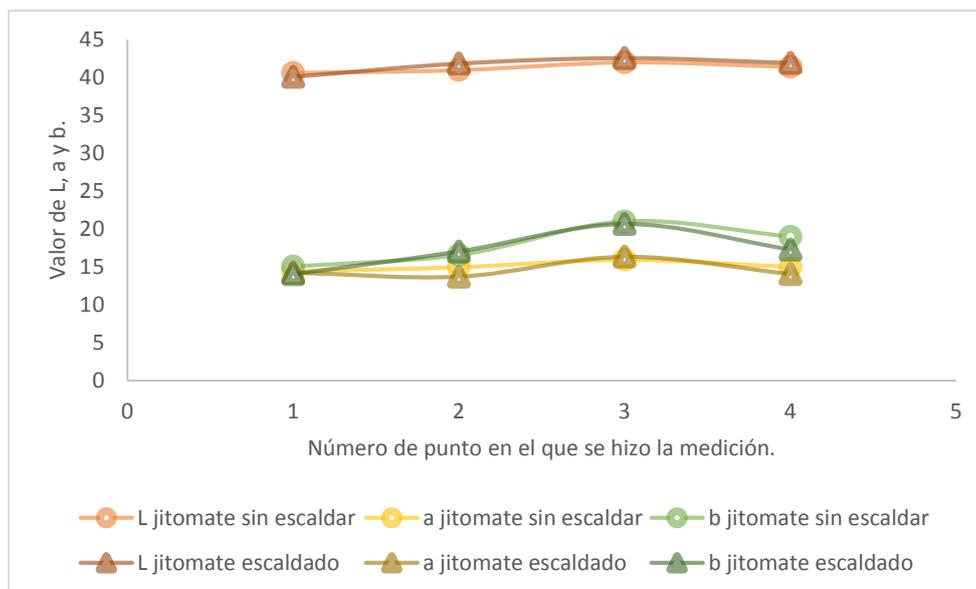


Figura 10. Coordenadas L, a y b obtenidas con el colorímetro en cuatro puntos del jitomate fresco y el jitomate escaldado.

Como se puede apreciar las diferencias entre los valores de L, a y b obtenidos para el jitomate fresco y los obtenidos para el jitomate escaldado no son significativas. En el cuadro 8 se presentan los resultados del cálculo de ΔE , dichos resultados nos confirman que los cambios en el color del jitomate son mínimos y no significativos, pues de acuerdo con la norma ISO 12647-2 para considerar un cambio significativo en el color el valor de ΔE deber ser igual o superior a 5.

Cuadro 9. Valores del cambio de color (ΔE) para los jitomates sometidos al proceso de escaldado de acuerdo con los valores de L, a y b obtenidos con el colorímetro.

JITOMATE	ΔE
2	1.9591
3	2.1657
4	1.3889
5	1.6379
6	1.2888
7	1.3604
8	1.4910
9	1.5728
10	1.4618
11	1.4203

Nuevamente de manera representativa se presenta la figura 11 donde podemos observar las coordenadas L*, a* y b* que se obtuvieron con el programa Photoshop.

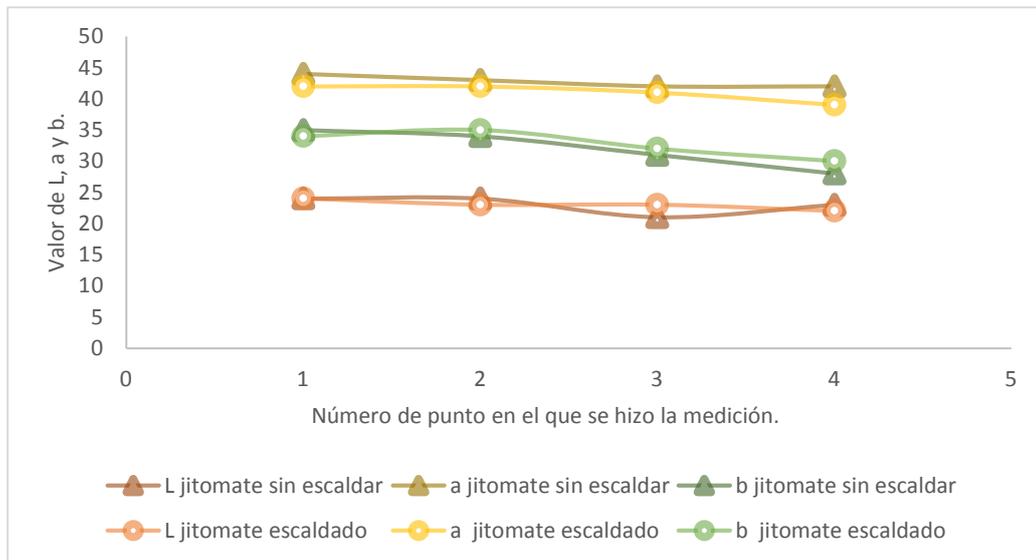


Figura 11. Coordenadas L, a, b obtenidas con el programa Photoshop, en cuatro puntos del jitomate fresco y el jitomate escaldado.

Como podemos apreciar el comportamiento de las gráficas es muy similar, y no se observan diferencias significativas lo que reafirma que bajo las condiciones utilizadas para esta experimentación el proceso de escaldado no tiene efecto alguno en el color de los jitomates. Cabe mencionar que los demás jitomates mostraron el mismo comportamiento.

Cuadro 10. Valores del cambio de color (ΔE) para los jitomates sometidos al proceso de escaldado de acuerdo con los valores de L, a y b obtenidos con el programa de Photoshop.

JITOMATE	ΔE
2	2.1114
3	3.2540
4	4.6454
5	3.7667
6	4.9203
7	4.0463
8	4.5660
9	4.8061
10	4.4211
11	2.1809

5.4 Cambios en la dureza

Como podemos observar en las figuras 8 y 9 para el caso de los jitomates escaldados existen cambios en la textura de la cáscara, así como encogimiento y deformación de ésta, lo que sugiere una separación entre la cáscara y la pulpa de jitomate.

En el cuadro 10 se muestran los parámetros del índice de dureza obtenidos a partir de los datos de dureza arrojados por el texturómetro.

Cuadro 11. Valores del índice de dureza.

Jitomate	Tiempo (s)	Índice de dureza
1	0	1
2	30	0.738
3	60	0.697
4	90	0.552
5	120	0.496
6	150	0.417
7	180	0.386
8	210	0.339
9	240	0.421
10	270	0.377
11	300	0.344

De acuerdo con el cuadro 10, observamos que conforme transcurre el tiempo de escaldado la dureza del jitomate disminuye. Para el caso del jitomate 9, donde observamos que existe un aumento en el valor del índice la dureza podemos decir que dicho aumento se debe a que este jitomate tenía un grado menor de maduración, recordemos que esta variable sólo se controló de acuerdo con lo que establece la NMX-FF-031-1997 por lo que para la selección no se hizo medición alguna respecto a la textura.

Los valores del índice de dureza obtenidos se trataron en el programa Curve Expert para encontrar el modelo de ajuste que sirviera para la programación. Los datos se ajustaron al Modelo de Weibull, que de acuerdo con el programa, es el modelo que mejor se ajusta tomando en cuenta el error estándar y el coeficiente de correlación. En el cuadro 7 se muestran los valores de los coeficientes, aplicables al modelo, que mostró el programa.

Cuadro 12. Valores de los coeficientes obtenidos por el programa Curve expert, para aplicar el modelo de Weibull.

Valores de los coeficientes	
a	0.5341
b	0.3992
c	131746.7651
d	-2.6762

5.5 Programa de simulación.

Para realizar el programa se utilizó la plataforma NetBeans Versión 8.0.2.

-Funcionamiento

Para ejecutar el programa es necesario seguir las instrucciones que a continuación se mencionan:

- 1.- Introducir la temperatura del medio (es decir la temperatura a la que se encuentra el agua, donde se realiza el escaldado) y la temperatura del jitomate, dar clic en el botón registrar.
- 2.- Una vez registrados los datos anteriores, en la pantalla aparecerán dos opciones
 - Tiempo de proceso
 - Temperatura final

Seleccionar la opción de nuestro interés.

3.- De acuerdo con la opción que se eligió el programa pedirá algunos datos, si nuestra opción es temperatura final, tendremos que ingresar el tiempo de proceso y el radio del jitomate. Si la opción es tiempo de proceso, deberemos ingresar la temperatura que deseamos alcanzar y el radio del jitomate. Para cualquiera de las dos deberemos dar clic en el botón calcular.

Una vez introducidos los datos, el programa mostrará una tabla, en la primera columna se muestra el tiempo de proceso en intervalos de 30s, en las siguientes columnas se mostrarán las temperaturas al centro del jitomate, a 25% del radio, a 50% del radio, a 75% del radio y en la superficie, respectivamente.

4.- Para obtener el perfil de temperaturas, bastará con dar clic en el botón graficar, el programa mostrará la variación de temperatura de acuerdo con la penetración de calor.

5.- Dar clic en el botón de Dureza que aparece del lado derecho en la parte inferior de la pantalla de penetración de calor.

6.- Introducir el valor de la textura inicial, y dar clic en el botón calcular, el programa nos mostrará una tabla con dos columnas, en la primera columna se tendrán los valores de temperatura y en la segunda los valores de dureza. Una vez teniendo los valores, dar clic en el botón graficar para que el programa grafique el cambio de dureza, durante el proceso.

7.- Regresar a la pantalla de penetración de calor y dar clic en el botón cambios físicos. Se va a desplegar una nueva pantalla, donde introduciremos los valores iniciales del jitomate en cuanto longitud, diámetro y peso y el tiempo de proceso. Dar clic en el botón calcular y del lado derecho de la pantalla se mostrarán los valores finales.

6. Validación y contrastación

La validación del programa se realizó ejecutando una corrida bajo las mismas condiciones experimentales y comparando los resultados obtenidos del programa con los experimentales, esto con el fin de determinar si las ecuaciones de los modelos de regresión obtenidos con el Curve Expert proporcionan valores similares a la experimentación.

- Perfiles de temperatura simulados

Para obtener los perfiles de temperatura dentro del jitomate, en el programa se introdujeron los siguientes datos: temperatura del medio 92.5°C, temperatura del jitomate: 23.2°C, tiempo de proceso 300s, radio del jitomate 0.026m.

Teniendo como resultado lo siguiente:

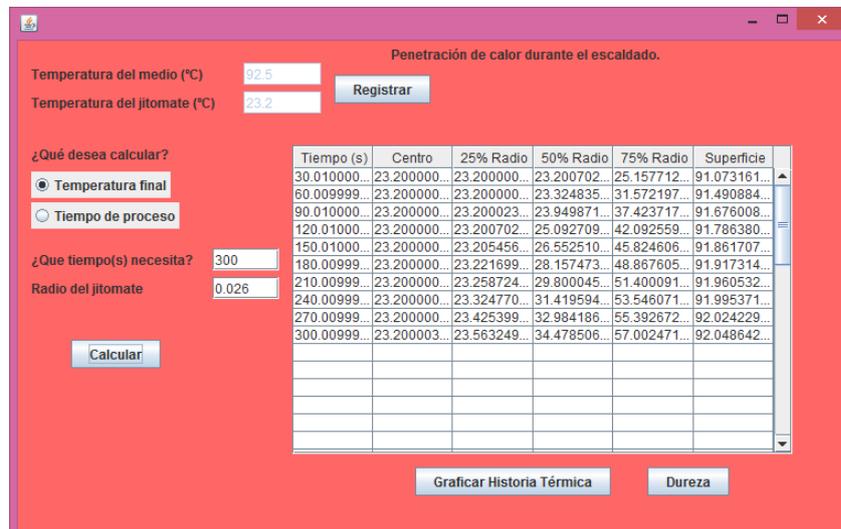


Figura 12. Temperaturas calculadas por el programa en los 5 puntos del jitomate.

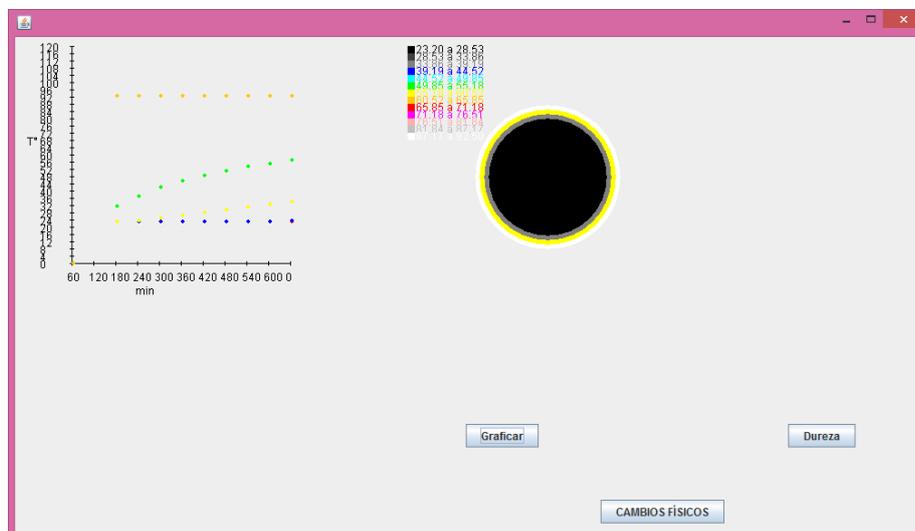


Figura 13. Perfiles de temperatura calculados por el programa.

Como podemos apreciar en las figuras 12 y 13 los valores obtenidos con el programa muestran el mismo comportamiento que los experimentales. Se observa que los perfiles tienen un aumento gradual de la temperatura del centro hacia la superficie.

- Cambios en la dureza predichos por el programa.

Para el cálculo de los cambios en la dureza ocurridos durante el proceso de escaldado se introdujo al programa el dato inicial de textura del jitomate fresco, el cual se obtuvo con el texturómetro (605.73 g/s), teniendo como resultado la figura 14.

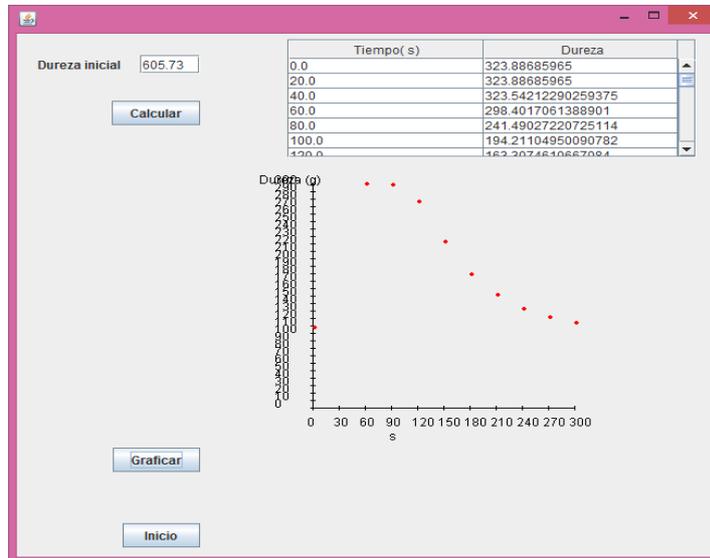


Figura 14. Cambios en la textura del jitomate calculados por el programa.

Al igual que lo obtenido experimentalmente el programa muestra que conforme transcurre el tiempo de escaldado, la dureza del jitomate disminuye.

- Cambios en la longitud, diámetro y peso.

Se introdujeron los datos iniciales de longitud (6.4 cm), diámetro (5.3cm) y peso (93.24g), correspondientes al promedio de los valores de los jitomates frescos. El programa calculó el cambio y el valor final.

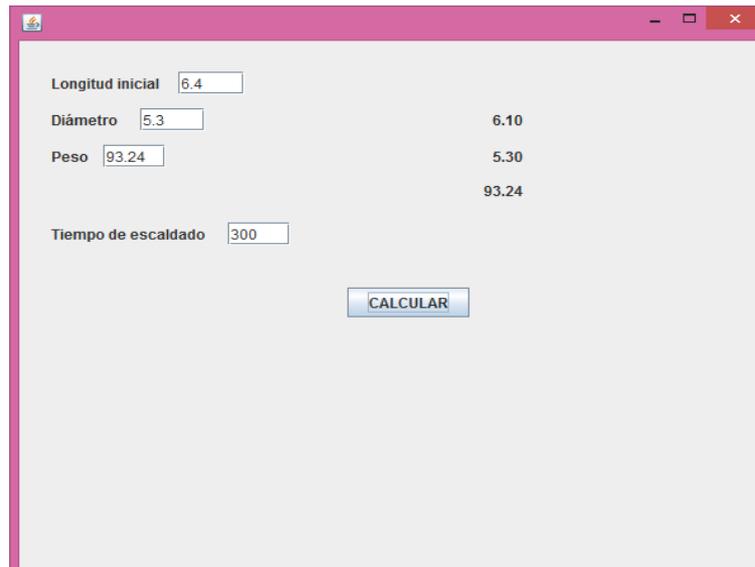


Figura 15. Cambios en las dimensiones del jitomate calculados por el programa.

Como podemos observar en la figura 15 sólo hubo cambio en la longitud, pues el diámetro y el peso se mantuvieron constantes. Comparados con los datos experimentales, obtuvimos los mismos resultados.

Para la contrastación del programa se graficaron los datos experimentales y los datos obtenidos con el programa.

A manera de ejemplo para los perfiles de temperatura se muestran las figuras 16 y 17 que pertenecen a los datos del centro y los de 75% del radio del jitomate.

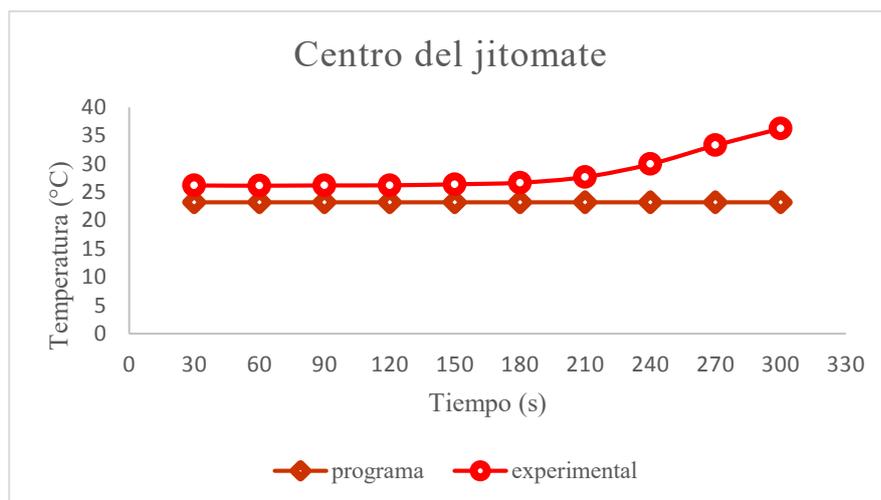


Figura 16. Perfil de temperatura en el centro del jitomate.

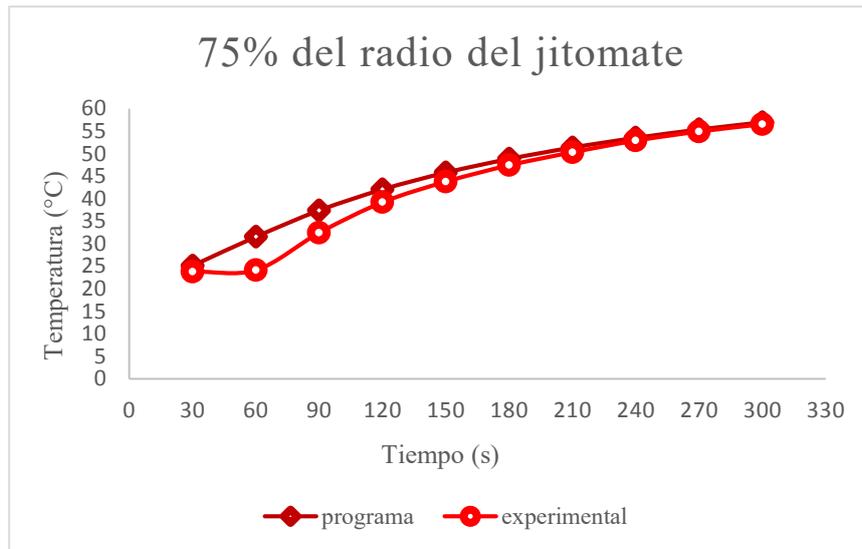


Figura 17. Perfil de temperatura a 75% del radio del jitomate.

Como podemos observar en las figuras anteriores los datos que se obtienen al reproducir una corrida en el programa tienen la misma tendencia que los que se obtuvieron durante la experimentación. Existen variaciones entre los datos del programa y los experimentales, aunque de acuerdo con el porcentaje de variación calculado que es inferior al 10% se considera que dichas variaciones no son significativas.

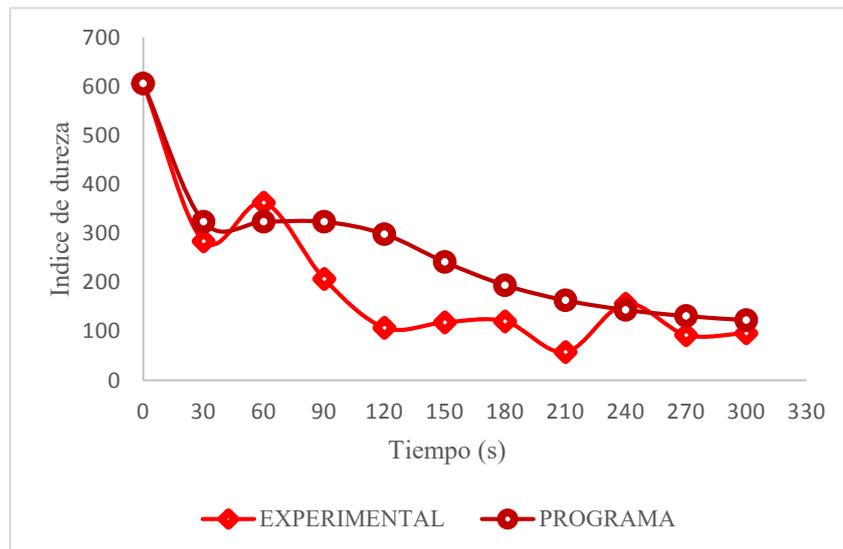


Figura 18. Comportamiento del índice de dureza durante el proceso de escaldado.

En la figura 18 podemos observar que el comportamiento del índice de dureza coincide en una disminución conforme transcurre el tiempo de escaldado, tanto en el programa como en la experimentación. Existen variaciones entre los datos ya que para el caso del programa no se considera que se utilizó un jitomate diferente para cada tiempo de escaldado, además de las características de los jitomates como el grado de madurez, el contenido de humedad, etc., lo que provoca dichas variaciones.

7.CONCLUSIONES

Los perfiles de las curvas de penetración de calor muestran un perfil similar lo que sugiere el mismo comportamiento de aumento; al inicio del proceso de escaldado y hasta transcurridos 60s la temperatura se mantiene constante a partir de este tiempo el aumento de la temperatura es gradual del centro hacia la superficie.

Para que el licopeno se vea realmente afectado en un tratamiento térmico, debe someterse al jitomate al proceso durante más de 15 minutos, por lo tanto, es razonable que en este proyecto el color del jitomate no haya variado al someterse a escaldado pues el tiempo de 5 minutos no fue suficiente para degradar al licopeno.

El escaldado produce cambios en la textura del jitomate, fundamentalmente se observa ablandamiento de los tejidos, así como cambios en la dureza, es por ello que como resultado de la experimentación obtuvimos una disminución en la dureza, conforme avanzaba el proceso de escaldado.

Las propiedades físicas del jitomate muestran un cambio notorio después de los 120s de proceso, lo que sugiere que los cambios se deben a la variación elevada de temperatura y humedad. Para el caso del peso estas variables no afectaron, pues prácticamente se mantuvo constante.

Los resultados obtenidos con el programa representan adecuadamente las variaciones ocurridas en las propiedades físicas del jitomate cuando es sometido al proceso de escaldado, pues el porcentaje de variación entre los datos no supera el 10% refiriendo un buen ajuste de los datos experimentales y demostrando la factibilidad del programa para calcular la temperatura o tiempo del proceso de escaldado.

8. REFERENCIAS

- Bello, J. (2004) “Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos”, España. Ediciones Díaz de Santos.
- Bosquez, M.E. (2010) “Procesamiento térmico de Frutas y Hortalizas”, México. Trillas.
- Brennan, J. G. (2008) “Las operaciones de la ingeniería de los alimentos” (2ª ed.), España. Acribia, S.A.
- Boatella, R.J, Codony, S. R, López, A.P (2004) “Química y Bioquímica de los Alimentos II” Barcelona. Publicaciones y ediciones de la Universidad de Barcelona. Fecha de consulta 12 de abril 2016. Disponible en : https://books.google.com.mx/books?id=swXN8dUFew0C&pg=PA16&dq=Clasificaci%C3%B3n+de+propiedades+relacionadas+con+la+textura+de+los+alimentos.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiG47TO2onMAhXpk4MKHb_EBJwQ6AEIGzAA#v=onepage&q=Clasificaci%C3%B3n%20de%20propiedades%20relacionadas%20con%20la%20textura%20de%20los%20alimentos.&f=false.
- Clementz, A. Delmoro, J. Muñoz, D. Nadal, V. Pranzetti, V. (2010) “El color de los alimentos: Determinación de color en mieles”. Invenio. Vol.13. pp. 145.152.
- Coss, B. R. (2003) “Simulación un enfoque práctico” México. Limusa, S.A de C.V.
- Fellows, P. J. (2007) “Tecnología del procesado de los alimentos” (2ª Ed.), España. Acribia, S.A.
- Fontana. D, Díaz.C (1980) “Análisis estadístico en simulaciones de sistemas de espera” Qüestfó. Vol.4, No 4, pp. 191-201.
- Galicia, R.M (2008) “Stability of lycopene in cv. saladette tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) stored under different conditions”. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Vol.7, No.3, pp. 253-262.
- Gil, A. Tratado de Nutrición (2010) [en línea] Fecha de consulta [02 de septiembre 2015]. Disponible en <https://books.google.com.mx/books?id=hcwBJ0FNvqYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Gimferrer, M.N (2012) “Escaldado de alimentos para mayor inocuidad”. Recuperado el 02 de septiembre 2015 de: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/05/25/185488.php>

- Himmeblau, M.D & Kennet, B.B (2004) Análisis y simulación de Procesos [en línea] Fecha de consulta [03 de Septiembre 2015] Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=sRxHz38uKIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Laín, B.S (2014) “La simulación numérica en problemas de ingeniería”. El hombre y la máquina. Núm 44, enero-junio, pp. 5-6.
- Melendez, A. Vicario, I. Heredia, F. (2004) “Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos”. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol.54 No.2.
- Ordoñez, A. et.al. (2009) “Estabilidad del carotenoide Licopeno en Tomates en conserva”. Información Tecnológica. Vol.20 No.4 pp.31-37.
- Paltrinieri, G. Figuerola, F. (1993) “Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala”. Chile. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/x5062s/x5062S08.htm#Capitulo 5: Procesos](http://www.fao.org/docrep/x5062s/x5062S08.htm#Capitulo%205%3A%20Procesos)
- Sagarpa (2010) “Monografía de cultivos: Jitomate”. Subsecretaría de fomento a los agronegocios.
- Santos, M.V (2013) “Diseño y optimización del proceso industrial de congelación de crustáceos marinos mediante simulación numérica” Facultad de Ingeniería- UNLP, pp. 600-605.
- Schwartz, S.T. (1994). Pigment analysis. In: Nielsen, S. Introduction to the chemical analysis of food. Pp. 261–271. Jones and Bartlett Publishers International. New York.
- Velez, J.F (2003) “Evaluación de Propiedades Físicas de Alimentos utilizando un programa computacional”. Información Tecnológica. Vol.14 No.4 pp. 23-28.