



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTTLÁN

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ESCALDADO
DE ZANAHORIA (*Daucus Carota L.*) TIPO NANTES
UTILIZANDO β -CAROTENO ENCAPSULADO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MARIANA ALINE MORALES VIQUEZ

ASESOR:

I.A. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA

CUAUTTLÁN IZCALLI, EDO. DE MEXICO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

U.N.A.M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
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 a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Optimización del proceso de escaldado de zanahoria (*Daucus carota L.*) tipo Nantes utilizando β -caroteno encapsulado

Que presenta la pasante: Mariana Aline Morales Viquez

Con número de cuenta: 305054502 para obtener el Título de: Ingeniera 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 HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 10 de junio de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	IA. María Guadalupe López Franco	
VOCAL	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	IA. Ricardo Moisés González Reza	
1er. SUPLENTE	M. en C. Víctor Manuel Avalos Avila	
2do. SUPLENTE	M. en C. Juana Gutiérrez Bautista	

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

HHA/pm

El presente trabajo fue financiado por el proyecto
PAPIIT: IT231511: Nanopartículas en
recubrimientos comestibles para la conservación
de frutas frescas cortadas, de la Dirección
General de Asuntos del Personal Académico de la
UNAM.

AGRADECIMIENTOS

Mamá y papá, hoy quiero agradecerles por haberme dado las mejores armas para enfrentar la vida, por todo su esfuerzo, sacrificios, apoyo y paciencia para que yo pudiera llegar a este momento. Sé que no suelo ser muy expresiva pero hoy quiero que sepan que los amo con todo mi corazón, que los admiro, los respeto y que estoy infinitamente agradecida con ustedes. Espero que ustedes al verme concluir esta etapa de mi vida se puedan sentir tan orgullosos de mí como yo lo estoy de ustedes.

A mis hermanos, Ale y Pepé porque mi vida sin ustedes y mis sobrinos no sería igual, porque siempre fueron un ejemplo para mí, por sus consejos, apoyo incondicional y paciencia. Por siempre cuidarme y estar pendientes de mí, por todos los recuerdos que tengo de mi vida a su lado y por soportarme tanto tiempo lo cual se que no es nada fácil. Ustedes y mis papás son lo que más amo en la vida

A mis amigos, Carmen, Memo, Wicho, Lu, Ebri, Pambo... porque son los mejores amigos que alguien puede tener, por todos los buenos y malos momentos que pasamos juntos, por las muchas fiestas y también horas de estudio que pase junto a ustedes, porque sin ustedes mi paso por la FESC no hubiera sido la mejor etapa de mi vida, porque durante estos años de universidad ustedes fueron mi segunda familia. Hoy quiero que sepan que me encantó haberlos conocido y quiero que sean parte de mi vida siempre! Los amo mucho mucho!

A Edgar, porque llegaste a mi vida en el momento que menos lo esperaba, porque tu mejor que nadie sabes cuánto me costó llegar a este momento, porque siempre estuviste a mi lado apoyándome en los buenos momentos pero sobre todo en los peores, nunca me dejaste rendir aún cuando las cosas no salían como esperaba, porque además de mi novio, eres mi mejor amigo y confidente, porque siempre has confiado en mí y en lo que soy capaz de lograr. Siempre has sido un gran ejemplo para mí, te admiro y estoy muy orgullosa de ti. Hoy quiero que sepas que este es solo uno de los miles de logros, sueños y metas que quiero compartir contigo. Porque siempre logras sacar la mejor versión de mi y millones de cosas más... Te amo!

A Ricardo, por compartir todos tus conocimientos y experiencia, por todo el apoyo brindado para realizar este trabajo, por los buenos y divertidos momentos durante la experimentación y revisión, por tu paciencia y todas las ganas que pusiste en esta tesis. Me siento orgullosa de ser tu primer tesista, eres una gran persona y sé que vas a llegar muy lejos, hoy no me queda más que decirte...Gracias!

A la UNAM, ser parte de la máxima casa de estudios es un gran orgullo para mí, gracias a todos los maestros que son parte de ella por compartir todos sus conocimientos, experiencia, valores y el gran amor y orgullo que se siente al ser parte de esta institución. Por todas las personas que en ella conocí y por darme todo lo necesario y más para enfrentarme a la vida.

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	3
Capítulo I Marco Teórico	
1.1 Conservación de alimentos	5
1.1.2 Conservación por altas temperaturas	6
1.1.3 Escaldado	9
1.1.4 Efectos del escaldado	10
1.1.5 Enzimas responsables del deterioro de la calidad en hortalizas sin escaldar	12
1.1.6 Mecanismo de reacción	13
1.1.7 Características de las enzimas	13
1.1.8 Enzimas indicadoras	14
1.1.9 Peroxidasas	15
1.1.10 Tipos de escaldado	16
1.1.11 Equipo utilizado para el proceso de escaldado (marmita basculante)	18
1.2 Cinética de reacción en los alimentos	21
1.2.1 Velocidad de reacción	22
1.2.2 Energía de activación	24
1.3 Efecto del procesamiento térmico en alimentos	25
1.3.1 Tiempo de reducción decimal (D)	25
1.3.2 Factor de muerte térmica (Z)	26
1.3.3 Calor letal suministrado (F_0)	27
1.4 Factores de calidad	28
1.4.1 Color	28

1.4.2 Textura	30
1.5 Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	31
1.5.1 Variedad tipo Nantes	32
1.5.2 Cambios en color y propiedades mecánicas en zanahorias durante el proceso de escaldado	32
1.5.3 Carotenoides	33
1.6 Nanotecnología en la industria de alimentos	34
1.6.1 Nanotecnología en la ciencia de los alimentos	36
1.6.2 Nanoestructuras elaboradas en los alimentos	37
1.6.3 Sistemas de nanodistribución basados en la tecnología de encapsulación	37
1.6.4 Nanopartículas	38
1.6.5 Características de nanopartículas	39
1.7 Optimización	39
1.7.1 Metodología de Superficie de Respuesta	40

Capítulo II Metodología

2.1 Objetivo general	41
2.1.1 Objetivo particular 1	41
2.1.2 Objetivo particular 2	41
2.1.3 Objetivo particular 3	41
2.1.4 Objetivo particular 4	42
2.2 Materiales y Métodos	42
2.2.1 Actividades preliminares	42
2.2.1.1 Elaboración de diagrama de proceso	42
2.2.1.2 Acondicionamiento de la muestra	43
2.2.1.3 Rendimiento	43
2.2.1.4 Capacidad y relación producto / volumen	43
2.2.1.5 Elaboración de curvas de penetración de calor para determinar el centro térmico	43

2.2.2 Elaboración de nanocápsulas de β -Caroteno mediante el método de emulsificación-difusión	44
2.2.2.1 Tamaño de partícula e índice de Polidispersión	44
2.2.2.2 Potencial ζ	44
2.2.2.3 Elaboración de curva patrón de β -Caroteno	44
2.2.2.4 Estudios morfológicos	45
2.2.3 Escaldado de las muestra	45
2.2.4 Determinación del calor letal suministrado (f_0)	45
2.2.5 Colorimetría	45
2.2.6 Textura	46
2.3 Análisis estadístico	46

Capítulo III Resultados

3.1 Actividades preliminares	48
3.2. Caracterización de las nanocápsulas de β -caroteno	52
3.3 Calor letal sumistrado (F_0)	55
3.4 Colorimetria	58
3.5 Cambios en propiedades mecánicas y textura	64
3.6 Optimización	67
3.7 Estudio comparativo	71

Conclusiones y recomendaciones	73
---------------------------------------	----

Bibliografía	75
---------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transferencia de calor de los alimentos según su estado y la localización del punto frío	9
Figura 2 Efectos del escaldado en una célula vegetal	11
Figura 3 Diagrama de flujo de marmita basculante	20
Figura 4 Efecto de la temperatura sobre la cinética de degradación	24
Figura 5 Curva de factor de muerte térmica	26
Figura 6 Estructura y características del α -caroteno (1 anillo β y 1 anillo γ , color amarillo)	34
Figura 7 Estructura y características del β -caroteno (2 anillos β , color naranja)	34
Figura 8 Estructura de nanopartículas a) nanocápsula b) nanoesfera	38
Figura 9 Representación de la bicapa eléctrica	39
Figura 10 Historial térmico para la determinación del centro térmico	51
Figura 11 Acomodo de termopares en el cubo de zanahoria	51
Figura 12 Micrografía de nanocápsulas de β -caroteno	53
Figura 13 Curva patrón del sistema nanoparticulado vs absorbancia	54
Figura 14 Efecto letal durante el periodo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento en el proceso de escaldado de zanahoria.	55
Figura 15 Superficies de respuesta evaluadas para F_0 en función de: a) Temperatura y concentración de nanocápsulas y b) Tiempo y concentración de nanocápsulas	58
Figura 16 Interacción del tiempo y concentración de nanocápsulas sobre Chroma	60
Figura 17 Efecto de la temperatura y concentración de nanocápsulas en ΔE	64
Figura 18 Efecto del tiempo y temperatura sobre la dureza	65
Figura 19 Análisis de perfil de textura a diferentes condiciones de escaldado	67
Figura 20 Gráfico de contornos sobrepuestos (F_0) (ΔE) (dureza)	68
Figura 21 Gráfico de contornos sobrepuestos (F_0) (ΔE) (dureza)	69
Figura 22 Prueba de deseabilidad para la optimización de escaldado de zanahoria	70
Figura 23 Análisis de perfil de textura a las condiciones óptimas con medio de calentamiento agua y CMC con nanocápsulas de β -caroteno	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor nutricional de zanahoria en 100g de sustancia comestible	31
Tabla 2 Proceso de transformación de pigmentos	32
Tabla 3 Cuadro de variables y niveles de variación en el diseño central compuesto	47
Tabla 4 Velocidades de calentamiento obtenidas en los cubos de zanahoria	52
Tabla 5 Características del sistema de nanocápsulas de β -caroteno	52
Tabla 6 Calor letal suministrado obtenido a diferentes condiciones experimentales	56
Tabla 7 ANOVA y coeficientes de regresión codificados para F_0	57
Tabla 8 Valores de L, a^* y b^* obtenidos experimentalmente para la determinación de $^{\circ}$ Hue, Chroma y ΔE	59
Tabla 9 ANOVA y coeficientes de regresión en los factores de respuesta en función de los factores estudiados en colorimetría	61
Tabla 10 ANOVA y coeficientes de regresión en los factores de respuesta en función de los factores estudiados en textura	66
Tabla 11 Tabla comparativa de los parámetros L, a^* y b^* para las condiciones óptimas.	71

RESUMEN

Durante el procesamiento de frutas y hortalizas se pueden utilizar diferentes procesos térmicos basados en las diferentes técnicas de calentamiento. En este contexto es importante evaluar el impacto del escaldado en los parámetros relacionados con la calidad.

Con el fin de obtener una mejora en el proceso de escaldado de zanahoria tipo Nantes y obtener el mayor beneficio en los parámetros relacionados con la calidad se llevó a cabo una optimización, la cual por definición se refiere a determinar las condiciones a aplicar a un procedimiento que producen la mejor respuesta posible (Almeida B. y col., 2007).

La optimización del proceso se realizó mediante metodología de superficie de respuesta (MSR). Ésta técnica fue utilizada debido a que se puede aplicar cuando una respuesta o un conjunto de respuestas de interés están influenciadas por ciertas variables independientes (Almeida B. y col., 2007).

El proceso de escaldado de zanahoria (*Daucus carota l.*) tipo nantes se llevó a cabo utilizando como materia prima zanahoria en cubos de 1 cm³, como equipo una marmita basculante y como medio de calentamiento una dispersión de carboximetilcelulosa (CMC) a 0.3 % a la cual se le adicionó un sistema nanoparticulado de nanocápsulas de β – caroteno preparadas por el método de emulsificación-difusión (MED).

Se evaluaron los efectos de las variables temperatura del medio de escaldado (65, 75 y 85 °C), tiempo de escaldado (5, 7.5 y 10 minutos) de y la concentración de nanocápsulas contenidas en el sistema (20, 40 y 60 $\mu\text{g/mL}$) sobre el calor letal suministrado (F_0) así como cambios texturales y colorimétricos en las zanahorias.

Para el desarrollo de la técnica de MSR se aplicó un diseño factorial 3³ completado con un diseño central compuesto de 3 factores y 3 puntos centrales obteniendo así las mejores condiciones para el proceso de escaldado. La variable que mayor influencia tuvo sobre el proceso fue la temperatura en términos tanto lineales como cuadráticos ($p < 0.000$) y la que

menor efecto tuvo fue el tiempo en términos cuadráticos ($p > 0.633$). Las condiciones con las que se obtuvieron los resultados deseables para el proceso en el presente trabajo experimental fueron: un tiempo de 7.25 minutos, temperatura del medio de calentamiento de 83.96 °C y una concentración de nanocápsulas de β -Caroteno de 73.63 $\mu\text{g/mL}$ obteniéndose un compuesto conveniencia de 1. Finalmente, después de obtener las condiciones de operación deseadas, éstas fueron aplicadas a un lote control el cual utilizaba como medio de calentamiento únicamente agua. Los resultados fueron comparados y analizados con respecto al calor letal suministrado alcanzado, los cambios texturales y colorimétricos en ambas condiciones de proceso.

INTRODUCCIÓN

La zanahoria es una hortaliza de amplia producción principalmente en la parte central del país la cual es consumida a nivel nacional e internacional en una variedad de opciones. Es una de las hortalizas preferidas debido a su versatilidad en aplicaciones culinarias y su composición. Sin embargo las zanahorias son estacionales y altamente susceptibles a las pérdidas de humedad lo que lleva a la rigidez y la degradación de su apariencia fresca. Los consumidores de zanahorias frescas reconocen rápidamente la conveniencia de productos como zanahorias congeladas ya que tienen una mayor vida útil, propiedades físicas similares a las frescas y valor nutritivo (Gonçalves y col., 2010).

La descomposición de los productos alimenticios en estado natural está acompañada de una serie de transformaciones físico-químicas, bioquímicas y microbiológicas tales como: cambios de color, olor, y sabor; transformaciones de azúcares, fermentaciones, desarrollo de mohos y otras. La conservación de los alimentos es extraordinariamente importante, pues permite mediante una adecuada planificación de áreas de cultivo, mantener la existencia de productos y suplir su carencia en épocas en que no pueden ser cosechados (cambios de estaciones, alteraciones climáticas, etc.) (Piloña E., 1983).

En la industria de alimentos con el fin de minimizar las reacciones de deterioro de frutas y hortalizas, éstas se tratan previamente con calor o se escaldan para posteriormente utilizarlas como materia prima en otros productos como conservas, secado o congelación (Shivhare y col., 2009; Pérez C., 2010).

En el caso de la congelación ésta tiene un efecto mínimo en el contenido nutricional de los alimentos, sin embargo, las frutas y hortalizas se escaldan antes de congelarlas para inhibir la actividad enzimática y levaduras que podrían seguir causando daños incluso en el almacenamiento en congelación. Este método puede provocar la pérdida de vitaminas aunque a pesar de ésta pérdida, las frutas y hortalizas que se congelan después de ser escaldadas, presentan mejores cualidades que sus equivalentes “frescas” ya que en

ocasiones los productos cosechados tardan días en ser seleccionados, transportados y distribuidos a los comercios (Piloña, E., 1983).

El tratamiento térmico de escaldado tiene como objetivo principal la inhibición de enzimas presentes en el producto, sin embargo a pesar de sus efectos positivos este tratamiento conduce a cambios no deseados en las propiedades texturales así como a la pérdida de solutos que puede afectar la calidad de las hortalizas y la aceptación por parte de los consumidores (Rejano L. y col., 2007; Neri L. y col., 2011).

Las enzimas como las Peroxidasas (POD) y la Pectinmetilesterasas (PME) son de importancia ya que pueden estar involucradas en diferentes modificaciones degenerativas de las hortalizas, particularmente las POD que catalizan un gran número de reacciones de óxido-reducción y son consideradas unas de las más estables al tratamiento térmico es por esta razón que las POD se utilizan como un índice en el escaldado ya que si esta enzima se inactiva es muy poco probable que otras enzimas estén activas (Gamboa-Santos y col., 2012).

En cuanto a los cambios no deseados al someter un producto vegetal a tratamiento térmico, éste promueve la isomerización de los carotenoides que conducen a la degradación en sus funciones antioxidantes y una consecuente modificación en el color de los productos, mientras que las propiedades texturales de diferentes productos vegetales son predominantemente gobernadas por las características fisicoquímicas de la pared celular y cómo cambian durante el escaldado produciendo un ablandamiento (Gonçalves y col., 2010; Sanjuan y col., 2005).

El presente trabajo pretende optimizar un proceso ya existente dentro de la industria de los alimentos con una modificación importante que es la implementación del uso de la nanotecnología ya que actualmente ha abierto nuevas posibilidades en la conservación de alimentos y se espera que tenga un impacto en la producción, el procesamiento, almacenamiento, calidad y la seguridad de los alimentos (Quintanar-Guerrero y col., 1998; Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

En general los alimentos vegetales y animales son sistemas acuosos de carbohidratos, proteínas y grasas disueltos en agua con sales minerales, vitaminas y pigmentos, pero con diferente composición por ello la diversidad de los métodos de conservación que se pueden aplicar.

Los alimentos hortofrutícolas presentan una mayor dificultad para su conservación, en ese caso la logística y procedimientos de distribución deben ser eficientes y contar con políticas de calidad e higiene. La conservación de productos frescos es muy limitada según los productos y el embalaje lo que ocasiona que la vida útil dependa del producto fresco del que se trate.

La vida útil de un alimento es un concepto que permite al consumidor identificar el tiempo que éste permanece aceptable para el consumo, antes de convertirse en desagradable o nocivo para la salud. De acuerdo a este concepto, la vida útil varía en un amplio rango entre los diferentes alimentos, para el caso de los alimentos hortofrutícolas frescos es de 1 a 7 días (Desroisier, W., 1991).

El significado de conservar un alimento es un tema muy amplio de estudiar, el cual depende de muchos factores culturales, ambientales, entre otros. El término conservación, de manera breve se define como “modo de mantener algo sin que sufra merma o alteración”.

La conservación de alimentos utiliza mecanismos tradicionales así como nuevas tecnologías, el objetivo principal es preservar el sabor, los nutrientes, la textura entre otros aspectos. Si un producto no logra lo anterior entonces no cumple su propósito. Para aplicar

un proceso de conservación determinado es fundamental conocer las características de los alimentos. Así, se puede establecer la siguiente clasificación:

- a) Prevención o retraso de la descomposición bacteriana, con la finalidad de mantener los alimentos sin microorganismos y eliminar los existentes.
- b) Retrasar el proceso de descomposición de productos y alimentos, a través de la inhibición de sus enzimas y alentar las reacciones químicas naturales que tienen los alimentos (hidrólisis, oxidación, etc.).
- c) Prevención de las alteraciones por insectos, roedores, etc. (Desroisier, W., 1991).

1.1.2 CONSERVACIÓN POR ALTAS TEMPERATURAS

El proceso de conservación de los alimentos por calor se puede considerar una técnica muy antigua. Todas las técnicas de cocción como asados, frituras, hervidos, etc., son diversas formas encontradas por el hombre a lo largo del tiempo para mejorar las propiedades sensoriales de los alimentos produciendo también su conservación.

Debido al avance de la ciencia y tecnología, una de las técnicas que se han desarrollado ampliamente para conservar los alimentos es el uso de calor, pues elimina las bacterias permitiendo que el producto tenga mayor vida útil. La transferencia de calor se puede definir como “energía que es transferida de un cuerpo a otro por conducción, convección o radiación” (Desroisier, W., 1991). El propósito de utilizar altas temperaturas es la eliminación casi absoluta de microorganismos, toxinas y enzimas, las cuales pueden afectar drásticamente el producto.

El proceso térmico por altas temperaturas aplicado a los alimentos se puede efectuar de dos formas diferentes (Bosques, E. y col., 1999):

- 1) El alimento es colocado en el envase, sellado y posteriormente calentado por un tiempo y temperatura específicos, para lograr su esterilidad comercial: proceso conocido como envasado convencional.

- 2) El alimento se calienta por un tiempo y temperatura suficientes para alcanzar su esterilidad comercial y después se coloca en un envase estéril y se sella, conocido como envasado aséptico.

Determinar las condiciones de proceso para garantizar la conservación de los alimentos no es sencillo ya que depende de diversos factores:

- a) Origen del alimento
- b) Dimensiones y materiales del envase (si lo requiere)
- c) Conocer los procesos térmicos a utilizar
- d) Cualidades de desarrollo y nivel de resistencia de los microorganismos
- e) Penetración de calor
- f) Punto frío
- g) Transferencia de calor

Es fundamental calcular el tiempo y temperatura que se debe aplicar a un alimento determinado, para obtener una esterilidad efectiva sin dañar su calidad, y para ello se requiere conocer:

- a) Tiempo que requiere el alimento para alcanzar la temperatura deseada
- b) Tiempo que se requiere para bajar la temperatura de un producto

Esto permite establecer la penetración de calor, es decir, la velocidad de calentamiento del alimento o producto.

Los factores que determinan la velocidad de penetración de calor son (Bello, J., 2000):

- a) La naturaleza (composición) y consistencia del alimento. Ya que por sí mismo condiciona el mecanismo de propagación de calor. Por ejemplo, el aumento de azúcar retrasa la velocidad al igual que la presencia de grasa en el alimento. Asimismo, los alimentos viscosos o troceados, la penetración de calor es más lenta.

- b) El tamaño y la forma del envase (en el caso de alimentos envasados). Entre más grande sea, mayor tiempo se requiere para que el centro alcance la temperatura deseada.
- c) El material de envase. La penetración de calor es más lenta en vidrio que en metal.

Para destruir los microorganismos en un alimento, el calor suministrado debe penetrar en todos los puntos. Por lo general, las altas temperaturas afectan primero la parte exterior de los alimentos. El centro geométrico de un envase o de la masa del alimento es donde se localiza la región que normalmente tarda más en calentarse y se conoce como punto frío. Es una región crítica donde hay mucha posibilidad que los microorganismos sobrevivan. Un tratamiento térmico que alcance este punto, garantiza que todos los demás puntos del alimento o recipiente alcanzaron la misma temperatura (Bosques E y Col., 1999).

Otro factor determinante en la aplicación de un tratamiento térmico es conocer cómo se produce la transferencia de calor en el alimento y en el envase. En alimentos sólidos el calor se propaga por conducción, por ello el calentamiento es lento ya que pasa de una partícula a otra por contacto debido a choques moleculares, lo que provoca el sobrecalentamiento del producto en las partes pegadas al envase o más cercanas a la fuente de calor.

En alimentos líquidos, el calentamiento es por convección, que es la forma más rápida de transferencia de calor ya que se forman corrientes convectivas dentro de la masa líquida por la disminución de la densidad del producto en las zonas más calientes, por ejemplo, productos fluidos como sopas ligeras, jugos, néctares y partículas sólidas en líquidos como hortalizas en salmuera. En mezclas de “alimentos sólidos con líquido” dependerá de la proporción de cada uno, provocando la conducción convección, por ejemplo, partículas sólidas en líquidos muy viscosos como cremas (Bello, J., 2000).

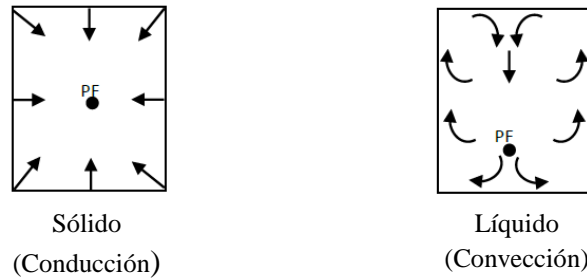


Figura 1 Transferencia de calor de los alimentos según su estado y la localización del punto frío (Fennema, 2000).

Lo que se busca al aplicar un tratamiento térmico por altas temperaturas a un alimento es su calentamiento y enfriamiento rápido, que permita evitar o reducir oscurecimientos, así como la pérdida de valor nutritivo y evitar el sabor a quemado o sobre procesado.

De acuerdo a la intensidad del tratamiento térmico, los métodos que se emplean en la industria alimentaria son los siguientes:

- Altas temperaturas {
- Escaldado
 - Pasteurización
 - Esterilización

1.1.3 ESCALDADO

El escaldado es un tratamiento térmico corto que involucra la exposición de los tejidos vegetales a alguna forma de calor. El propósito del escaldado es preparar a los productos vegetales para la siguiente etapa de los procesos de congelación, deshidratación y elaboración de conservas. Este proceso consiste en elevar la temperatura de la materia prima, exponiéndola a un medio calórico húmedo (generalmente entre 70°C - 100°C), mantener dicha temperatura por un tiempo determinado y luego enfriar el producto rápidamente a una temperatura cercana a la ambiental, para así evitar que el producto alcance la pre-cocción y en algunos casos la cocción (Fennema, 2000).

El escaldado consiste en someter el alimento (materia prima) a alguno de los siguientes procesos, dependiendo del alimento a tratar (Bosques, E., y col., 1999):

- a) *Escaldado con agua caliente.* Se somete al alimento a una inmersión en agua caliente. Esta forma es muy eficiente y uniforme, ya que el proceso se puede controlar adecuadamente. Las desventajas que presenta es el gran volumen de agua requerido y el riesgo de lixiviación (extracción) de algunas vitaminas y minerales importantes.
- b) *Escaldado por vapor.* Se expone el alimento al vapor vivo. Con este método los productos retienen su valor nutricional. Su mayor desventaja es que resulta menos eficiente, ya que requiere mayor tiempo para la inactivación de enzimas. Además es más complicado controlar el tiempo y temperatura, ocasionando daños al producto.
- c) *Escaldado químico.* Se utiliza cuando los dos métodos anteriores provocan daños graves al alimento, como en el caso del higo o la fresa ya que éstos son muy delicados. Se realiza mediante la adición de un químico, utilizando compuestos como dióxido de azufre, sulfitos que reaccionan con compuestos fenólicos, inactivando enzimas.

1.1.4 EFECTOS 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 las sustancias pécticas y además causa cambios irreversibles en la estructura celular y en las características físicas del tejido vegetal (Katsaboxakis, 1984). En la figura 1.2 se presentan los múltiples efectos del escaldado en una célula 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 otras

sustancias volátiles. Las proteínas se desnaturalizan y existe pérdida de nutrimentos hidrosolubles como vitaminas, azúcares, minerales, clorofila, carotenos, etc. (Katsaboxakis, 1984).

Dependiendo del uso final de conservación de los productos escaldados pueden observarse uno o varios efectos (Poulsen, 1986).

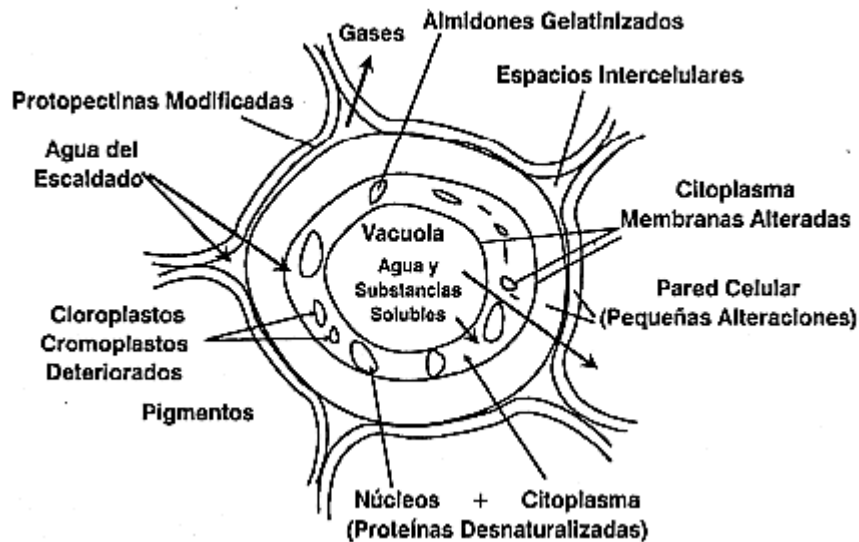


Figura 2 Efectos del escaldado en una célula vegetal (Katsaboxakis, 1984).

1. Inactivación de enzimas para prevenir el desarrollo de sabor desagradable y la decoloración causada por la presencia de clorofilas y carotenos.
2. Coagulación de las proteínas, son forzadas a encogimiento por la liberación de agua, aunque esta merma sucede durante la esterilización de productos enlatados.
3. Lixiviación de almidón, lo que evitará productos con aspecto turbio.
4. 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.
5. Mejoramiento de color en el producto, aunque algunos obtienen una disminución del mismo.

6. Mayor control de calidad, ya que las partes defectuosas se hacen más visibles y por lo tanto el producto puede ser separado más eficientemente.
7. Disminución de la contaminación microbiana, ya que las células vegetativas, mohos y levaduras son destruidos.
8. Reducción del tiempo de cocinado, al igual que la homogeneización para mezcla de productos, al ser tratados individualmente.
9. Con el tratamiento térmico en un producto se puede desarrollar un sabor amargo, el cual se encuentra incluido cuando llega al consumidor (esto sucede aunque no esté escaldado dicho producto).
10. En el escaldado cuando el agua o vapor es usado para el calentamiento, existen pérdidas de vitaminas, sabor, color, carbohidratos, por lixiviación así como otros compuestos solubles en agua (Poulsen, 1986).

1.1.5 ENZIMAS RESPONSABLES DEL DETERIORO DE LA CALIDAD EN HORTALIZAS SIN ESCALDAR

Las enzimas son biocatalizadores complejos de gran especificidad y eficiencia producidos por células de organismos vivos, que aumentan la velocidad de las reacciones biológicas a través de vías definidas y cuya actividad está sujeta a regulación. Están constituidas por proteínas globulares que, a temperaturas cercanas a los 37 °C, aceleran la velocidad de las reacciones químicas y biológicas por un factor de 10^{12} a 10^{20} en relación a las reacciones no catalizadas. La actividad de una enzima, se expresa en términos de la reacción que ella cataliza como la transformación de un micromol de sustrato en producto por unidad de tiempo. Mientras que las unidades son una medida de una cantidad de enzima activa (Fennema, 2000).

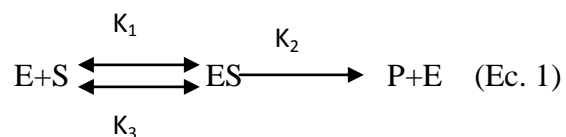
La importancia de las reacciones enzimáticas en la tecnología de alimentos constituye una parte fundamental y muy extensa. En general, en el procesamiento de frutas y hortalizas se pretende minimizar los cambios enzimáticos, de tal forma que se puedan conservar por largos periodos en almacenamiento.

Son varios grupos de enzimas responsables del deterioro de la calidad de hortalizas sin escaldar:

1. Las lipoxigenasas, lipasas y proteasas, que ocasionan pérdida de sabor.
2. Las pectinasas y celulasas que causan cambios en la textura.
3. La polifenoloxidasa, clorofilasa y peroxidasas que ocasionan cambios de color.

1.1.6 MECANISMO DE REACCIÓN

La actividad catalítica de las enzimas (E) actúa disminuyendo la energía de activación de ciertas reacciones, en las que el sustrato (S) se combina con la enzima formando un complejo enzima-sustrato (E-S) con mayor estabilidad que el sustrato puro. Como se observa en la siguiente reacción, una vez ocurrida la reacción y formando el producto (P), la enzima es liberada, lo que permite que pueda continuar actuando, siendo muy efectivas en pequeñas cantidades (Venegas, 1994). Se presentan las constantes k, donde k_1 y k_3 , son las constantes de velocidad de formación y disociación, respectivamente del complejo enzima-sustrato (E-S) y k_2 es la constante de disociación de la enzima y el producto (Venegas C., 1994):



1.1.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS ENZIMAS

Especificidad. Está determinada por la capacidad de una enzima para catalizar solamente una o un reducido número de reacciones entre las posibles para un sustrato.

Esta selectividad es la que diferencia a las enzimas de los catalizadores químicos y la que define la forma de clasificación de las enzimas (Jiménez, 1993).

Regeneración. El fenómeno de regeneración consiste en la recuperación de la actividad transcurrido un tiempo después del tratamiento térmico. Esto ha sido explicado asumiendo que la fracción proteica de la proteína sufre una desnaturalización parcial, con pérdida de

estructura terciaria, produciendo luego una reversión a su estado normal por la recombinación de grupos hidrógenos o sulfhidrúlicos (Schmidt-Hebbel, 1982).

Después de la inactivación de una enzima con calor, existe la posibilidad de la regeneración. La Peroxidasa parece ser la enzima más estable al calor y presenta esta característica. La Peroxidasa tiene fracciones con diferente resistencia térmica y además posee la capacidad de regenerarse, lo cual no influye en forma importante en el deterioro del producto, sino que afecta el proceso de control de escaldado (Jiménez, 1993).

Isoenzimas. Se trata de formas moleculares múltiples de una enzima que catalizan fundamentalmente la misma reacción pero que difieren en sus propiedades físicas, químicas, estructurales o inmunoquímicas. Poseen igual especificidad de acción y de sustrato, pero presentan diferencias de estructura primaria (secuencia de aminoácidos) y sus propiedades físicas difieren con frecuencia (Jiménez, 1993).

La presencia de isoenzimas de peroxidasa puede causar problemas en el escaldado de la mayoría de los vegetales. Las isoenzimas actúan sobre el mismo sustrato pero la composición química es diferente lo que se refleja en las variadas estabilidades al calor. La cantidad relativa de isoenzimas varía de vegetal en vegetal, y aún en la misma especie puede diferir con la variedad, edad y factores ambientales, la Peroxidasa en los vegetales existe en forma soluble, iónica y covalentemente enlazada (Williams y col., 1986).

1.1.8 ENZIMAS INDICADORAS

Para comprobar la eficiencia de un proceso de escaldado, se utilizan enzimas indicadoras, que al ser desactivadas durante el tratamiento térmico demuestran que éste se ha realizado de forma eficiente.

Durante muchos años se utilizó la catalasa y peroxidasa como indicadores del proceso de escaldado, ya que su inactivación reducía la pérdida de calidad durante el almacenamiento de los vegetales congelados, especialmente la peroxidasa ya que al ser altamente resistente al calor, una vez desactivada se asumía que todas las enzimas que alteran la calidad del alimento eran destruidas.

Sin embargo, la utilización de la peroxidasa como enzima indicadora universal, resulta en pérdida de color, sabor, textura y valor nutritivo, además de gasto excesivo de energía y agua, ya que debido a su resistencia térmica implica un sobre procesamiento del alimento. De lo anterior se desprende que es necesario establecer las condiciones de proceso así como la enzima indicadora a utilizar en cada vegetal con el fin de minimizar pérdidas de calidad y gasto energético por sobre procesamiento (López Monsalve, 2003).

1.1.9 PEROXIDASAS

Se encuentra ampliamente distribuida en frutas y hortalizas. La masa molecular de esta enzima en variedades de frutas y hortalizas oscila entre 30 000 y 54 000 Dalton. Tiene un grupo hemo como grupo prostético; el átomo de hierro forma complejos con varios compuestos; se ha descrito que cada molécula de la enzima une dos moléculas de Ca^{+2} . La actividad depende del vegetal, sustrato pH, temperatura, etc.

Es una oxidoreductasa que cataliza reacciones usando oxígeno o peróxido de Hidrógeno. Los mecanismos de acción de la peroxidasa están basados es la formación de un complejo enzima-donante de Hidrógeno, como se observa en la siguiente reacción:



Cataliza la reacción de ciertos compuestos dadores de Hidrógeno, como fenoles (Guaycol, pirogalol) y aminas aromáticas (o-fenilendiamina) por medio de peróxidos (H_2O_2).

Las peroxidosas de diversas fuentes presentan variadas estabilidades térmicas y son inactivadas a diferentes velocidades por calor, debido a la heterogeneidad de las enzimas. Las múltiples formas de peroxidasa no son igualmente susceptibles a tratamientos por calor por lo que se requiere determinar las condiciones óptimas de proceso para cada fruta u hortaliza (Fennema, 2000).

1.1.10 TIPOS DE ESCALDADO

Diversos métodos son los que se emplean para escaldar productos vegetales; la inmersión en agua a temperaturas entre 70 y 100°C seguido por inmersión en agua fría es el más común de los métodos de escaldado. Generalmente se utilizan dos tipos de equipos para este propósito el más importante es el escaldador giratorio de inmersión continua en el cual los productos son transportados a través de un tanque o tambor estático con agua caliente utilizando un transportador en espiral con lo que el producto es sumergido constantemente en el agua caliente. La temperatura del agua se mantiene mediante el calentamiento directo o indirecto con vapor. Este tipo de escaldador permite el procesamiento de la mayoría de los productos vegetales consiguiéndose una amplia variación en los tiempos de residencia para cada uno de ellos de acuerdo a sus necesidades individuales. El otro equipo es el escaldador hidráulico de tipo tubo en el que el producto se bombea con agua caliente a lo largo de una tubería, de cuyas paredes salen chorros de vapor que se utilizan para calentar el agua y facilitar el flujo del producto (Gallardo, 2004).

Los métodos de escaldado por inmersión en agua presentan la objeción de necesitar grandes volúmenes de agua. Dado que existe contacto directo del medio de escaldado con el producto se pierden algunos nutrientes por una doble lixiviación del producto al ser expuestos al agua de calentamiento y luego a la de enfriamiento.

La doble pérdida de nutrientes puede ser reducida mediante un escaldado serial, esto es reutilizando el medio de calentamiento de escaldado ya que la pérdida de compuestos hidrosolubles es estabilizada después de tener una acumulación de nutrientes lixiviados en el agua de escaldado la adición de ciertos minerales al agua de escaldado ayuda a estabilizar el proceso de lixiviación (Bezerra M. A. y col., 2009).

Otra objeción al uso del escaldado convencional es una elevada demanda biológica de oxígeno (DBO) en los efluentes debido a la lixiviación de nutrientes. El escaldado convencional constituye una gran fuente de contaminación sobre el 50% de la producción de DBO es debido al escaldado durante el proceso de enlatado de productos vegetales. Al

respecto diversos estudios han sido desarrollados por la National Cannery Association (ahora National Food Processors Association), con el objetivo de reducir esta fuente de contaminación y potencial fuente de nutrientes. Se ha estudiado el escaldado con agua, vapor, microondas y gas caliente con mejoramiento en la retención de nutrientes como uno de los objetivos centrales (Bezerra M. A. y col., 2009).

Otra forma es escaldar bajo un régimen de alta temperatura durante corto tiempo HTST; las diferencias de calidad en vegetales procesados pueden ser controladas con este método; además de requerir menos energía, la alta calidad exigida en vegetales congelados puede ser obtenida escaldando con vapor bajo régimen HTST.

Se ha propuesto un método de escaldado con gas en un lecho fluidizado especial, el "lecho giratorio", donde el gas fluidizante es una mezcla de aire y vapor saturado; este método de escaldado es aplicable para algunos alimentos en particular, como papas y zanahorias.

El método de escaldado rápido individual o IQB (Individual Quick Blanching) se basa en someter las partículas del alimento durante un tiempo relativamente corto a un ambiente de vapor de agua y después acumular en un lecho profundo sin aplicación posterior de calor hasta que tiene lugar el equilibrio de la temperatura. De esta manera, se puede considerar que el alimento es sometido a un escaldado de dos etapas: la primera de calentamiento y luego una etapa de retención. (Gallardo, 2004).

Otra alternativa al escaldado mediante agua caliente es el efectuado mediante microondas. Para su aplicación en alimentos, las frecuencias utilizadas comúnmente son las de 2450 y de 915 MHz. Entre sus ventajas están la rapidez y uniformidad en el tratamiento sin provocar pérdidas de los componentes nutricionales y la conservación de color original (Jiménez y col., 2004).

1.1.11 EQUIPO UTILIZADO PARA EL PROCESO DE ESCALDADO (MARMITA BASCULANTE)

Es un sistema de calentamiento indirecto muy utilizado en la industria alimentaria, en especial para el procesamiento de frutas y hortalizas. Consiste básicamente en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar.

El calentamiento de puede realizar de dos formas diferentes, una que consiste en hacer circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por una caldera. Esta es denominada marmita de vapor. Otra manera es calentar el agua que se encuentra en la cámara de calefacción por medio de resistencias eléctricas. Esta es la denominada marmita eléctrica.

Usualmente la marmita tiene forma semiesférica y puede estar provista de agitador mecánico y un sistema de volteo para facilitar la salida del producto. Se pueden encontrar dos tipos de marmitas según sea abierta o cerrada. En la abierta el producto es calentado a presión atmosférica, mientras que en la cerrada se emplea vacío. El uso de vacío facilita la extracción de aire del producto por procesar y permite hervirlo a temperaturas menores que las requeridas a presión atmosférica, lo que evita o reduce la degradación de aquellos componentes del alimento que son sensibles al calor, favoreciendo la conservación de las características organolépticas y el valor nutritivo de la materia prima, con lo que se obtienen productos de mejor calidad (FAO, 2006).






Los materiales con que se construye una marmita basculante deben ser de acero inoxidable por lo menos para la sección interna de la marmita, así como el tubo de descarga, el sistema de agitación y la tapadera. La base que sostiene la semiesfera, así como la tubería para vapor se puede construir en materiales metálicos más económicos (FAO, 2006).

Las dimensiones están determinadas por la capacidad del equipo, que por lo general se expresa en litros.

Para poder operar las marmitas de vapor, se necesita una caldera como fuente de vapor. El producto a calentar o mezclar se debe remover en forma manual o con un agitador incorporado para que el producto no se pegue (FAO, 2006).

Finalmente, como mantenimiento, se debe revisar constantemente la válvula de seguridad para cerciorarse que funciona bien, de lo contrario un aumento descontrolado de la presión puede hacer estallar la marmita (FAO, 2006).

En la figura 3 se muestra el esquema general de una marmita basculante así como la simbología correspondiente para el uso del equipo y de los servicios, tanto de vapor como de agua para su adecuada operación.

	Línea Principal de Vapor
	Sistema Bypass
	Línea de Purga
	Línea Secundaria de Vapor
	Salida de Vapor Condensado
VG	Válvula de Globo
M	Manómetro
LP	Línea de Purga
TV	Trampa de Vapor
FY	Filtro Y
LPV	Línea Principal de Vapor
LSV	Línea Secundaria de Vapor
VD	Válvula de Diafragma
SB	Sistema Bypass
EV	Entrada de Vapor
VS	Válvula de Seguridad
SVC	Salida de Vapor condensado

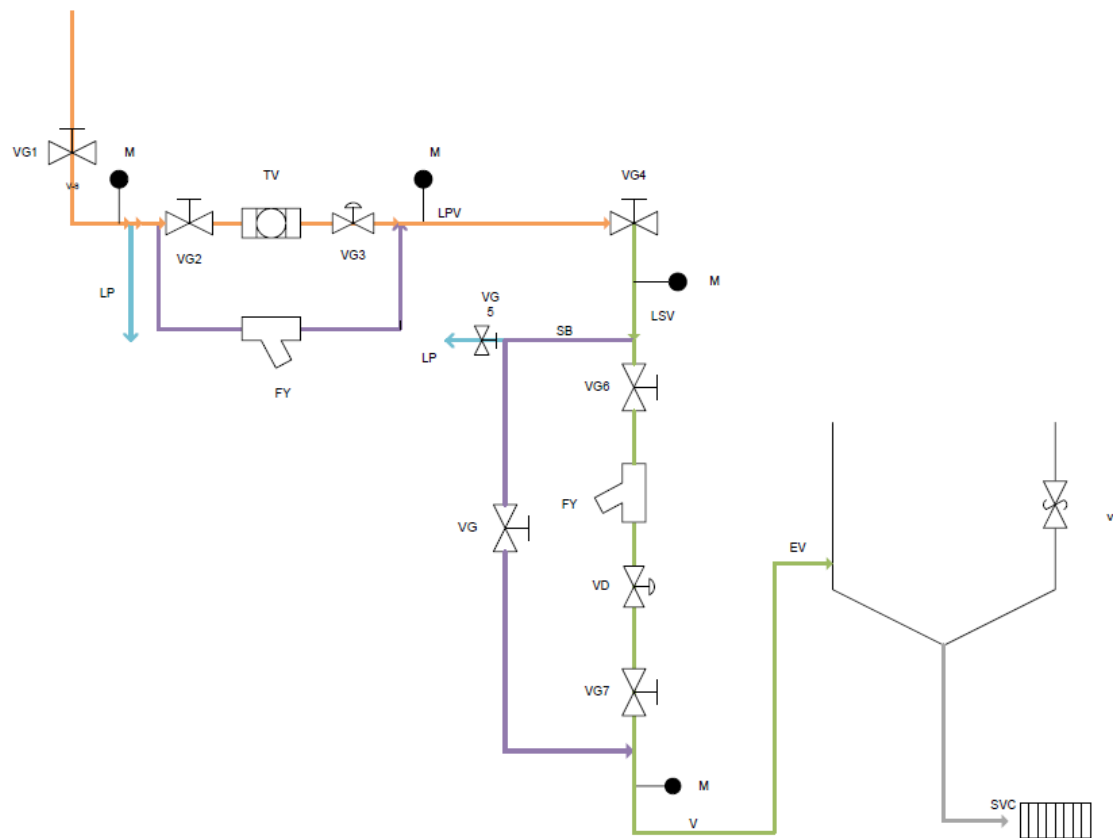


Figura 3 Diagrama de flujo de marmita basculante

1.2 CINÉTICA DE REACCIÓN EN LOS ALIMENTOS

Se entiende por reacción todo tipo de cambios que tienen lugar en los alimentos, ya sean químicos, enzimáticos, físicos o microbiológicos que pueden describirse mediante ecuaciones en un lenguaje matemático, el objetivo es analizar la cinética de reacciones en los alimentos en relación con su calidad (González-Reza, 2012).

Se requieren por tanto conocimientos de química, física y microbiología, así mismo de la composición y estructura de los alimentos, para establecer y construir relaciones de los modelos matemáticos se pueden utilizar para diseñar, optimizar y predecir la calidad de los alimentos. Los efectos que ocurren durante el procesamiento de alimentos contienen información sobre los mecanismos subyacentes que causan dichos cambios. Para extraer esta información, el uso de un modelo matemático que describe estos mecanismos y su cinética es esencial. La resolución de las ecuaciones resultantes muestra si los mecanismos de la hipótesis son consistentes con los datos (Van Boekel M., 2009).

El mecanismo de reacción, la frecuencia de los encuentros y la fracción de reactivo se encuentra en última instancia y determinan la dependencia de la velocidad de una reacción de la concentración. El efecto de la temperatura es uno de los efectos más importantes a considerar cuando se habla de la cinética en cualquier rama de la ciencia y la ciencia de los alimentos no es una excepción. Muchos alimentos son tratados con calor, por diversas razones, y el efecto del tratamiento térmico sobre la calidad de los alimentos es un tema muy importante (González-Reza, 2012).

La determinación del orden de reacción es de particular importancia en el área de la cinética. Comprender los mecanismos involucrados en la reacción es importante para obtener y reportar información cinética significativa para así seleccionar las condiciones adecuadas que conducen a un producto final deseado y/o minimizar la aparición de compuestos indeseables (Heldman D. R., 2007).

Los mecanismos implicados en la reacción de sistemas complejos como en el caso de alimentos y materiales biológicos se han simplificado tratando de adaptar las cinéticas simples como la cinética de reacción de cero o primer orden. En el caso de sistemas alimentarios, condiciones tales como la temperatura, la disponibilidad de oxígeno, presión, concentración inicial y composición global del sistema puede afectar el mecanismo de reacción (Heldman D. R., 2007). Por ejemplo, algunos procesos enzimáticos tienen lugar en los alimentos de origen vegetal al someterlos a tratamientos de bajas o altas temperaturas entre estos cambios algunos de los de mayor importancia son los de textura y cambios de color de origen enzimático así como por la degradación de compuestos como clorofilas, antocianinas, flavonoides, carotenoides, mioglobina y oximioglobina en el caso de producto cárnicos (Barreiro, 2002).

1.2.1 VELOCIDAD DE REACCIÓN

Cuando se trata con sistemas alimenticios un enfoque común para reportar las velocidades de reacción es el cambio en la concentración de un reactivo en función del tiempo. La velocidad de reacción (k) proporciona una medición de la reactividad y la estabilidad de un sistema dado. Se ha estudiado que hay una serie de factores que pueden influir en la velocidad de reacción. Los factores principales son: concentración, temperatura, presión, disponibilidad de oxígeno dependiendo del tipo de reacción y los componentes entre otros. Tradicionalmente se evalúa la cinética de reacción para controlar los cambios químicos que ocurren en un sistema, otros cambios físicos pueden ser descritos utilizando un enfoque de cinética. Por ejemplo, para cambios de color y textura que se producen en los sistemas alimenticios.

Los valores obtenidos representan el efecto lineal causado por otro mecanismo de reacción complejo que conduce a un resultado global. Los cambios de color en un producto que contiene carotenoides puede ser una indicación de estabilidad en el sistema y en particular la estabilidad de los carotenoides relacionada con las condiciones del medio. Otro ejemplo, son los cambios en la textura en función del tiempo que puede ser el resultado de los mecanismos de la retrogradación del almidón así como de lípidos en amilasa como

interacciones influenciadas por las condiciones ambientales en productos hortícolas (Heldman D. R., 2007).

Los cambios pueden ser evaluados mediante la degradación de un compuesto, la aparición de un producto por reacción o cambios en las propiedades fisicoquímicas del sistema. Para la inhibición de la reacción se puede disminuir la temperatura del sistema o por la adición de una mezcla de reacción a un sistema (Heldman D.R., 2007).

La expresión de velocidad para una reacción de orden “n” para inactivación o degradación de materiales biológicos está dada por:

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde C es la concentración a tiempo t, k es la constante de velocidad de reacción y n es el orden de reacción. El signo negativo indica que la concentración decrece con el tiempo ser generalizada de la siguiente manera para el orden de reacción n:

$$C^{1-n} - C_0^{1-n} = (n-1)kt, \quad n > 1 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde C₀ es la concentración del reactivo al tiempo 0. La velocidad de reacción se describe por la cinética de reacción de orden cero, primer y segundo orden:

$$\text{Orden cero: } C - C_0 = -kt \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\text{Primer orden: } \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -kt \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\text{Segundo orden: } \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = kt \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde C es la concentración de microorganismos, enzimas o atributos de calidad a un tiempo t, C₀ es la concentración inicial y k es la constante de velocidad de reacción (1/min) (Da-Wen Sun, 2006).

1.2.2 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Cuando se consideran las velocidades de reacción es evidente que estos valores pueden verse influenciados por un gran número de parámetros incluyendo la temperatura y la presión. Puesto que las reacciones se acompañan por efectos de la temperatura si éstos son demasiado grandes deben ser tomados en consideración para el diseño de procesos. El efecto de la temperatura para un proceso elemental puede seguir en su mayoría de los casos la relación de Arrhenius (Heldman D.R., 2007):

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde k_0 es la constante cinética, R es la constante de los gases (1.987 cal/mol*K) y T es la temperatura absoluta (K). La cinética de velocidad de muerte térmica ha sido estudiada para optimizar las combinaciones de tiempo-temperatura. Los microorganismos siguen la cinética de reacción de primer orden representado de la siguiente forma:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = kt \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde N_0 y N representa el número viable de microorganismos a un tiempo 0 y un tiempo 1, respectivamente (Da-Wen Sun, 2006):

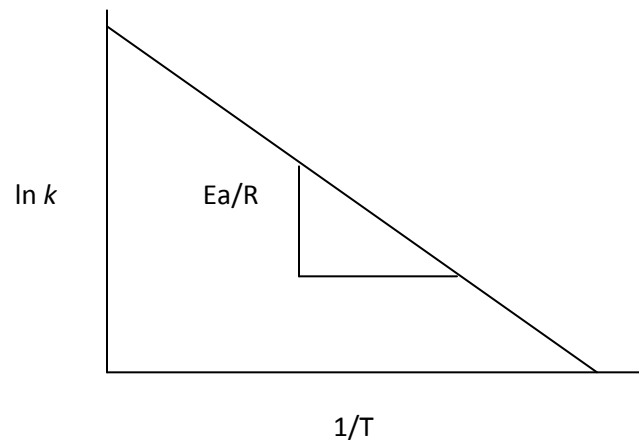


Figura 4 Efecto de la temperatura sobre la cinética de degradación (Da-Wen Sun, 2006).

Aplicando la ecuación para la cinética de inactivación térmica de esporas microbianas a la temperatura de referencia T_{ref} y la constante de velocidad de reacción correspondiente k_{ref} , se encuentra la siguiente ecuación:

$$\ln k = \ln k_{ref} - \left[\left(\frac{E_a}{R} \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad \text{Ec. (10)}$$

1.3 EFECTO DEL PROCESAMIENTO TÉRMICO EN ALIMENTOS

Los parámetros utilizados en la evaluación del proceso térmico son diversos y cumplen una función específica dentro de un análisis. Los parámetros evaluados en una cinética de reacción son en realidad todo lo que se necesita, sin embargo, se ha convertido en un hábito usar varios parámetros cinéticos en la ciencia de los alimentos (González-Reza, 2012).

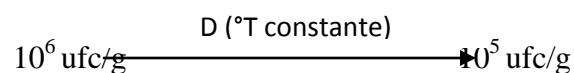
Todos estos parámetros pueden estar relacionados con los parámetros más fundamentales que se han discutido anteriormente. A continuación se muestra una breve descripción de cada uno con el fin de entender la relación que guardan con los parámetros fundamentales.

1.3.1 TIEMPO DE REDUCCIÓN DECIMAL (D)

Es el valor de reducción decimal es el tiempo necesario para reducir la concentración por un factor de 10. D que es una constante de velocidad inversa. Para una reacción de primer orden:

$$D = 2.303/k \quad \text{Ec. (11)}$$

De una manera más simple, D es el tiempo que debe calentarse un producto a una temperatura determinada para que su población inicial se reduzca una unidad logarítmica (una reducción decimal)



tiempo-temperatura que son específicas para cada proceso, matemáticamente el valor de Z se representa como:

$$Z = (T_2 - T_1) / [\log(D_1) - \log(D_2)] \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde D_1 y D_2 representan los tiempos de reducción decimal a las temperaturas T_1 y T_2 , respectivamente (Da-Wen Sun, 2006). De una manera más simple, Z es el número de °C que debe elevarse o reducirse la temperatura de un determinado valor de D para disminuir o aumentar su tiempo a la décima parte.

1.3.3 CALOR LETAL SUMINISTRADO (F_0)

Es el tiempo equivalente de proceso a una temperatura de referencia basado en un valor de Z, el valor de temperatura y de Z es la información sobre la resistencia a la destrucción de un microorganismo en específico. Por otro lado, la letalidad L, es el tiempo equivalente de calentamiento a la temperatura de referencia para un minuto a la temperatura de proceso:

$$L = 10^{(T-T_0)/z} \quad \text{Ec. (14)}$$

Para un proceso a T constante, si se multiplica L por el tiempo de calentamiento a T, se obtiene F_0 .

$$F_0 = L \times t \quad \text{Ec. (15)}$$

Si hay cambio de temperatura por ejemplo, durante el calentamiento y el enfriamiento en un proceso de enlatado, se puede considerar la letalidad integrada, es decir, tomando pequeños incrementos de tiempo Δt y tomando la T promedio en ese lapso y con esto calcular L.

$$F_0 = \Sigma (L_t \times \Delta t) \quad \text{Ec. (16)}$$

1.4 FACTORES DE CALIDAD

Se definen como “los compuestos de aquellas características que diferencian las unidades individuales de un producto y tiene importancia para determinar el grado de aceptabilidad por el comprador”. La calidad de los alimentos abarca tanto los atributos sensoriales que son fácilmente percibidos por el sentido humano y los atributos ocultos tales como la seguridad y la nutrición que requieren instrumentos sofisticados para su medición. La calidad de los vegetales se basa en algunos parámetros de calidad predefinidos (Da-Wen Sun, 2006).

Estos parámetros han sido establecidos para la seguridad del producto y su reproducibilidad. Por un lado, regula la fabricación del alimento de acuerdo con la importancia para la salud pública y por otro lado se hace un producto consistente para adquirir una buena cuota de mercado. Los vegetales procesados pierden algo de calidad durante el procesamiento térmico y otra cierta pérdida de calidad durante el almacenamiento. La mejor calidad en los atributos de vegetales procesados térmicamente son el color, aroma, sabor y textura, mientras que los atributos ocultos de calidad como valores nutricionales y de seguridad (química y microbiológica) siguen siendo la preocupación más desafiante en los vegetales procesados (Da-Wen Sun, 2006).

1.4.1 COLOR

Debido a que la industria de procesamiento de alimentos es un negocio que se basa en la lealtad del cliente y sus compras repetidas, detectar un problema relacionado con el color puede costar una gran cantidad de dinero.

El color se define como la calidad de un objeto con respecto a la cantidad de luz transmitida o reflejada a través de ella. Para que alguien pueda percibir los colores, se necesitan tres cosas: 1) una fuente de luz, 2) un observador (es decir, el consumidor) y 3) el objeto en cuestión.

El espectro visible de la luz es muy estrecho. El rango de colores visibles va de rojo a violeta con todos los diferentes matices que hay entre ellos. Para medir el color, hay diferentes herramientas que se pueden utilizar; hay evaluaciones subjetivas, en las que la gente hace una evaluación visual y mediciones objetivas con instrumentos.

En la evaluación de colores, existen limitaciones por ejemplo, hombres y mujeres pueden percibir los colores de manera diferente o la edad, la fatiga y otros factores pueden afectar la percepción del color. Se utilizan instrumentos para la medición de color ya que se encuentran calibrados, son consistentes y siempre medirán los colores de la misma manera y pueden detectar pequeñas diferencias entre las muestras de prueba.

En la industria de procesamiento de alimentos, la medición adecuada del color puede mejorar la calidad y la productividad, reducir costos operativos, asegurar la consistencia de lote a lote y mejorar la satisfacción del cliente. Los dos instrumentos utilizados para la medición de color son los colorímetros y los espectrofotómetros. Los colorímetros se utilizan para actividades de control de calidad, se utilizan para medir las diferencias de color y determinar si una muestra es aceptable o no. Los espectrofotómetros son más versátiles y de mayor sensibilidad que los colorímetros, miden tanto la luz reflejada como la luz transmitida a través de un líquido o una película.

El colorímetro permite a los investigadores determinar el color en lo que se conoce como las tres dimensiones del color: luminosidad “L” (escala de 0 a 100), de rojo a verde (+a / –a) y de amarillo a azul (+b / –b). Esto permite a los usuarios definir con precisión el color y las tolerancias aceptables.

El color y la percepción del color son partes integrales en la industria alimentaria. Parte del proceso de desarrollo de productos es determinar qué colores o gamas de colores son aceptables para los consumidores y a continuación formular los productos para satisfacer esos criterios. Ser capaz de medir adecuadamente el color durante el desarrollo y en el marco de operaciones de calidad es esencial para asegurar la satisfacción del cliente (Baltutat F., 2013).

1.4.2 TEXTURA

Es importante conocer la textura de las frutas y hortalizas no solo con el objetivo de establecer un sistema de control de calidad para su recepción y durante su procesamiento, sino para satisfacer las preferencias de los consumidores.

Las frutas y hortalizas sufren modificaciones en su textura durante el proceso de maduración, así como durante la recolección transporte y almacenamiento de las mismas y posteriormente en el procesamiento, en operaciones tales como limpieza, clasificación, escaldado y finalmente deshidratación, enlatado, fritura o congelación.

Los cambios de textura producidos durante el proceso de maduración se deben a cambios bioquímicos, al igual que los ocurridos durante el almacenamiento, mientras que los producidos durante la recolección, transporte y procesamiento se deben principalmente a alteraciones en la estructura celular del producto. Los mayores daños provocados durante el procesamiento, se deben a los tratamientos térmicos.

Estos cambios en la textura de frutas y hortalizas ocasionan la pérdida de firmeza de los tejidos, lo cual se contrapone a la tendencia actual de los consumidores, quienes prefieren cada vez texturas más firmes en estos productos procesados.

Para satisfacer esta preferencia observada en los consumidores, se han establecido algunos métodos para conservar la firmeza del producto durante su procesamiento, entre los cuales se encuentran el uso de gomas, iones metálicos, y monóxido de carbono, métodos de escaldado que ocasionan menor pérdida de firmeza en los tejidos, como el escaldado a temperaturas altas por tiempos cortos, escaldado con microondas, microondas-vapor y otros métodos de escaldado no ordinarios.

Se considera que un escaldado a temperaturas bajas por tiempos largos conserva la firmeza del vegetal debido a la activación de la enzima pectinesterasa (PE), lo cual ocasiona una serie de cambios bioquímicos cuyo resultado es la formación de estructuras moleculares insolubles que permiten obtener un producto firme (Aguilar C., 1999).

1.5 ZANAHORIA (*Daucus carota* L.)

La zanahoria es una especie originaria del centro asiático y del mediterráneo. Ha sido cultivada y consumida desde antiguo por griegos y romanos. Durante los primeros años de su cultivo, las raíces de la zanahoria eran de color violáceo. El cambio de éstas a su actual color naranja se debe a las selecciones ocurridas a mediados de 1700 en Holanda, que aportó una gran cantidad de caroteno, el pigmento causante del color y que han sido base del material vegetal actual (INFOAGRO, 2012).

Morfología y Taxonomía

Familia: *Umbelliferae*

Nombre científico: *Daucus carota* L.

Flores: de color blanco, con largas brácteas en su base, agrupadas en inflorescencias en umbela compuesta.

Fruto: diaquenio soldado por su cara plana (INFOAGRO, 2012).

Valor nutricional

Tabla 1 Valor nutricional de zanahoria en 100g de sustancia comestible (INFOAGRO, 2012)

Agua (g)	88.6
Carbohidratos (g)	10.1
Lípidos (g)	0.2
Calorías (cal)	40
Vitamina A (U.I)	2.000-12.000 según variedad
Vitamina B1 (mg)	0.13
Vitamina B2 (mg)	0.06
Vitamina B6 (mg)	0.19
Vitamina E (mg)	0.45
Ácido nicotínico (mg)	0.64
Potasio (mg)	0.1

1.5.1 VARIEDAD TIPO NANTES

Zanahorias de tamaño medio, con un largo variable de 12 - 18 cm y diámetro de 3.0 - 4.0 cm, de forma cilíndrica, textura suave y color naranja intenso. Son las zanahorias que dominan el mercado en México (INFOAGRO, 2012).

1.5.2 CAMBIOS EN COLOR Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN ZANAHORIAS DURANTE EL PROCESO DE ESCALDADO

El color de los alimentos se debe a diferentes compuestos, principalmente orgánicos, pigmentos naturales o pigmentos sintéticos añadidos, cuando son sometidos a tratamientos térmicos, los alimentos generan tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un intenso café, mediante las reacciones de Maillard o de caramelización.

En las zanahorias, el tratamiento térmico promueve la isomerización de los carotenoides lo que conduce a la degradación en sus funciones fisiológicas y una consecuente modificación en el color de los productos. (Gonçalves y col., 2010).

Tabla 2 Proceso de transformación de pigmentos (Aguado, 2003)

Pigmento (color)	Proceso de transformación	Pigmento final (color)	alimento
Clorofila (verde)	Descomposición térmica	Feofitina (decoloración)	Frutas y verduras
Carotenos (amarillo, naranja, rojo)	Oxidación y/o epoxi o cis-trans isomerización	(decoloración)	Frutas y verduras

Los cambios en la textura por el escaldado y cocción son principalmente relacionados con la gelificación de las pectinas situados en las paredes de las células, así como su solubilización y degradación. En zanahorias, uno de los vegetales más investigados en

estudios de procesamiento de alimentos, la despolimerización de la pectina de la pared celular se ha observado que se producen por la simultánea acción de pectinasas diferentes tales como Pectinmetilesterasa (PME) y Poligalactonurasa (PG) así como por reacciones de eliminación.

Tanto las reacciones enzimáticas y químicas determinan una disminución del tamaño de polímero péctico junto con un aumento de la capacidad de retención de agua por lo que al llegar a la temperatura de transición de fase se produce la gelificación de pectina. Los cambios macroscópicos en las propiedades mecánicas y de textura de vegetales tratados térmicamente pueden reflejar las modificaciones teniendo lugar en el tejido a nivel microscópico.

1.5.3 CAROTENOIDES

Los carotenoides son pigmentos naturales ampliamente distribuidos, responsables del color amarillo, naranja y rojo de las frutas, raíces, flores, pescados, invertebrados y pájaros. También se encuentran en algas, bacterias, hongos y levaduras. La estructura básica de los carotenoides es un tetraterpeno de 40 carbonos, simétrico y lineado formado a partir de ocho unidades isoprenoides de 5 carbonos unidas de tal manera que el orden se invierte al centro. Este esqueleto básico puede modificarse de varias maneras como por ejemplo por hidrogenación, dehidrogenación, ciclación, migración del doble enlace, acortamiento o extensión de la cadena, reordenamiento, isomerización, introducción de funciones oxigenadas o por combinaciones de estos procesos dando como resultado una gran diversidad de estructuras (Rodríguez-Amaya D., 1999).

Los carotenoides hidrocarbonados se denominan colectivamente como carotenos; aquellos que contienen oxígeno se denominan xantofilas. Los carotenoides, ya sean carotenos o xantofilas pueden ser acíclicos, monocíclicos o bicíclicos. La ciclación ocurre en uno o ambos extremos de la molécula formando uno o dos anillos β de seis miembros.

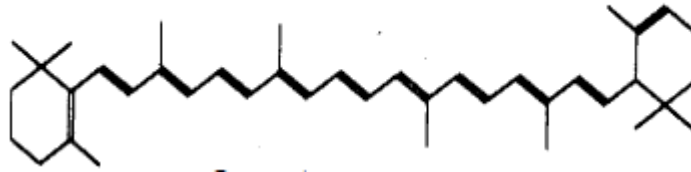


Figura 6 Estructura y características del α -caroteno (1 anillo β y 1 anillo γ , color amarillo)

En los carotenoides, la parte de la molécula conocida como cromóforo, es responsable de la capacidad de los carotenoides de absorber luz en la región visible y en consecuencia su gran capacidad de coloración. Se requieren al menos siete enlaces dobles conjugados para que un carotenoide produzca color como el ζ -caroteno que es amarillo suave. El color se acentúa a medida que se extiende el sistema conjugado, así el licopeno es rojo. La ciclación causa algún impedimento por tanto el β -caroteno es naranja. La intensidad y el matiz de los colores en los alimentos dependen de cuales carotenoides están presentes, sus concentraciones y estados físicos. En las zanahorias el contenido total de caroteno consiste principalmente en α -caroteno y β -caroteno. La concentración de α -caroteno es aproximadamente de 30 $\mu\text{g/g}$ y de β -caroteno entre 60 y 70 $\mu\text{g/g}$ (Rodríguez-Amaya D., 1999).

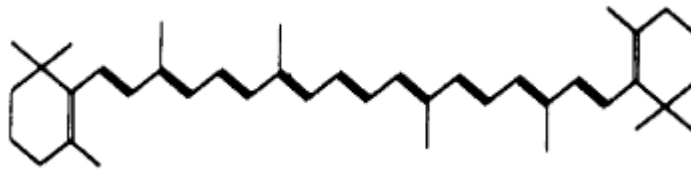


Figura 7 Estructura y características del β -caroteno (2 anillos β , color naranja)

1.6 NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

La nanotecnología es un área multidisciplinaria que consiste en la creación y utilización de materiales, dispositivos o sistemas de escala submicrónica. Los principales componentes de

los alimentos son las proteínas, carbohidratos y lípidos, además todos son considerados como nanosustancias.

La nanotecnología en la ciencia de los alimentos tiene su aplicación en áreas como la calidad y la seguridad alimentaria, el desarrollo de nuevos productos y el envasado. Ésta aporta propiedades funcionales mejoradas, por ejemplo, que alimentos con bajo contenido de sodio den un sabor salado. También puede contribuir a la mejora en el control de calidad de espumas y emulsiones. La formación de nanopartículas, nanoemulsiones y nanocápsulas, permitirá mejorar el valor nutricional de los productos, beneficiando su absorción en el cuerpo, de forma que la biodisponibilidad y dispersión de los nutrientes de interés aumente (Rocha Villalpando, 2011).

Esta ciencia tiene la capacidad de medir, modelar y controlar materiales pequeños a niveles atómicos y moleculares. Otra área de la nanotecnología en la industria alimentaria es la nanoencapsulación de aditivos, este tipo de aplicación va dirigido a productos “sanos”, preservando color, sabores, conservadores y suplementos. La ventaja es una mejor dispersión de los insolubles en agua de sus aditivos sin el uso de un lípido o surfactante, mejorando el sabor y percepción (Rocha Villalpando, 2011).

Las nanopartículas pueden ser utilizadas como componentes bioactivos en alimentos funcionales, los componentes bioactivos que pueden ser encontrados de manera natural en alimentos poseen beneficios fisiológicos y ayudan a reducir el riesgo de diversas enfermedades. Reduciendo el tamaño de partícula, la nanotecnología contribuye a mejorar las propiedades de los componentes bioactivos como liberación de los componentes. Algunos ejemplos del uso de la nanotecnología en productos alimenticios se encuentra en los aceites de cocina que contienen nutraceuticos en nanocápsulas, nanoencapsulando sabores y nanopartículas que poseen la habilidad de seleccionar y remover ciertos químicos del alimento (Rocha Villalpando, 2011).

La nanotecnología permite revolucionar toda la cadena de producción de alimentos, desde la producción a la elaboración, el almacenamiento, así como la obtención de materiales,

productos y aplicaciones innovadores. La nanotecnología tiene muchas aplicaciones posibles, las que se utilizan actualmente en los sectores alimentarios y agropecuario son relativamente pocas, dado que la ciencia sigue siendo muy reciente. Un panorama general de los más de 800 productos de consumo basados en la nanotecnología que están actualmente en circulación indica que solo el 10%, aproximadamente, de estos son alimentos, bebidas y productos para embalar alimentos. Sin embargo, los productos y las aplicaciones derivados de la nanotecnología en estos sectores han aumentado de manera constante en los últimos años y cabe prever que crecerán rápidamente en el futuro. Ello se debe a que la nueva nanotecnología ofrece un gran potencial para abordar muchas de las necesidades actuales de la industria.

Al igual que otros sectores, la industria alimentaria está determinada por las innovaciones, la competitividad y la rentabilidad. Por lo tanto, la industria está siempre buscando nuevas tecnologías para ofrecer productos con sabores, aromas y texturas mejoradas que se mantengan durante un periodo más largo y con una inocuidad y una rastreabilidad mejores. Otros factores influyentes, como la mayor concienciación entre los consumidores con lo que respecta a la salud y controles reglamentarios más rigurosos, determinan también que la industria busque nuevos modos de reducir la cantidad de sal, azúcar, grasas, colorantes y conservadores artificiales en sus productos y de abordar determinadas enfermedades relacionadas con los alimentos como la obesidad, la presión alta, diabetes, enfermedades cardiovasculares, trastornos digestivos, algunos tipos de cáncer y alergias alimentarias.

Las principales ventajas que presenta la nanotecnología en comparación con otras tecnologías existentes derivan de las mejoras o novedosas funcionalidades de los nanomateriales y las nanosustancias que tienen además una superficie mucho más elevada en proporción a la masa.

1.6.1 NANOTECNOLOGÍA EN LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

Una visión general superficial de las aplicaciones actuales y previstas de la nanotecnología apunta que muchas de ellas han surgido de tecnologías similares, desarrolladas en sectores

relacionados, en concreto, el farmacéutico, el de la medicina y la cosmética. Se han descrito las aplicaciones actuales y previstas a corto plazo de la nanotecnología en el sector alimentario. Los principales ámbitos de aplicación comprenden el envasado de alimentos y los productos alimenticios que contienen ingredientes y aditivos de nanotamaño y nanoencapsulados. El principio fundamental en que se basa el desarrollo de ingredientes y aditivos de nanotamaño es el de mejorar la ingestión y la biodisponibilidad de las sustancias en el organismo así como también atribuir otros beneficios como la mejora del sabor, consistencia, estabilidad, textura, etc. (FAO-OMS, 2011).

1.6.2 NANOESTRUCTURAS ELABORADAS EN LOS ALIMENTOS

Una aplicación consiste en la utilización de aditivos alimentarios de nanotamaño o nanoencapsulados. Dicho tipo de aplicación está previsto para explotar un segmento mucho más amplio del sector de los alimentos dietéticos, y comprende colores, conservadores, aromatizantes y complementos. Las principales ventajas que se le atribuye son una mejor dispersión de los aditivos insolubles en agua en los alimentos sin la utilización de grasa adicional o surfactantes y un sabor y aromas mejorados debido a la superficie ampliada de los aditivos de nanotamaño, frente a las formas de los homólogos ordinarios. En algunos sectores alimentarios ya se dispone de varios productos de consumo que contienen aditivos de nanotamaño, entre ellos, alimentos dietéticos, complementos y nutracéuticos. Entre estos figuran minerales, antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, etc. (FAO-OMS, 2011).

1.6.3 SISTEMAS DE NANODISTRIBUCIÓN BASADOS EN LA TECNOLOGÍA DE ENCAPSULACIÓN

La nanoencapsulación en forma de sistemas de transporte basados en micelas, liposomas o biopolímeros se ha utilizado para desarrollar sistemas de distribución para aditivos y suplementos utilizados en alimentos y bebidas. La nanoencapsulación es la ampliación tecnológica de la microencapsulación, que se ha utilizado en la industria de ingredientes y aditivos alimentarios durante muchos años.

La nanoencapsulación presenta más ventajas, aunque similares, a las de la microencapsulación por lo que se refiere a la conservación de los ingredientes y los aditivos durante la elaboración y el almacenamiento, ocultando sabores y olores desagradables, controlando la eliminación de aditivos, mejorando la dispersión de los ingredientes y aditivos alimentarios insolubles en agua y mejorando la ingestión de los nutrientes y suplementos encapsulados. Después del envasado, la nanoencapsulación es la es actualmente la esfera más amplia de la aplicación de la nanotecnología al sector alimentario (FAO-OMS, 2011).

1.6.4 NANOPARTÍCULAS

El término nanopartículas es comúnmente utilizado para definir partículas coloidales sólidas que tienen un tamaño de entre 10 a 1000 nm; las cuales dependiendo del método de preparación pueden ser nanocápsulas (NC's) o nanoesferas (N_{est}). Las NC's son sistemas vesiculares en los cuales el material a encapsular es confinado en la cavidad rodeada por una membrana polimérica, son atractivas por su cavidad central, basada en aceite, la cual permite un alto nivel de encapsulación para sustancias lipofílicas, por otra parte las N_{est} están formadas por una matriz polimérica densa en la cual el material atrapado se encuentra disperso (Quintanar-Guerrero y col., 1998).



Figura 8 Estructura de nanopartículas a) nanocápsula b) nanoesfera (Quintanar-Guerrero y col., 1998)

1.6.5 CARACTERÍSTICAS DE NANOPARTÍCULAS

El tamaño y su distribución son características importantes de los sistemas nanoparticulados, debido a que determinan sus características y su interacción con los sistemas biológicos, incluyendo su capacidad de transporte y toxicidad; además de influenciar en la carga del agente activo y la estabilidad de las nanopartículas formadas.

La liberación del agente activo es afectada por el tamaño ya que las partículas pequeñas tienen gran área superficial, lo que facilita una rápida liberación a diferencia de partículas grandes que poseen un mayor núcleo por lo que la difusión del activo será lenta.

Las cargas superficiales influyen en la distribución de las cargas (iones) alrededor de la partícula, desarrollando un campo eléctrico conformado por una carga circundante formado por una región interior, donde los iones se encuentran fuertemente enlazados y una región donde los iones están menos enlazados.

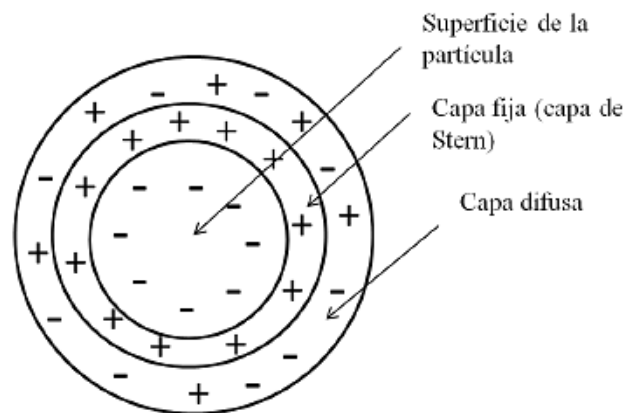


Figura 9 Representación de la bicapa eléctrica (Quintanar-Guerrero y col., 1998)

1.7 OPTIMIZACIÓN

Se entiende por optimización a la mejora del rendimiento de un sistema, un proceso o un producto con el fin de obtener el máximo beneficio de éste. La optimización ha sido

utilizada como un medio para descubrir las condiciones en que se debe aplicar un procedimiento que produce la mejor respuesta posible (Almeida B. y col., 2007).

1.7.1 METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

La optimización de los procesos se ha realizado mediante el uso de técnicas estadísticas multivariantes. Entre las técnicas multivariantes más relevantes utilizadas en la optimización está la metodología de superficie de respuesta (MSR).

Metodología de superficie de respuesta es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas basadas en el ajuste de una ecuación polinómica a los datos experimentales, que debe describir el comportamiento de un conjunto de datos con el objetivo de hacer previsiones estadísticas. Puede ser muy útil cuando una respuesta o un conjunto de respuestas de interés están influenciados por diversas variables. El objetivo es optimizar al mismo tiempo los niveles de estas variables para alcanzar el mejor rendimiento del sistema (Almeida B. y col., 2007).

La metodología de superficie de respuesta es una herramienta dinámica importante y sobre todo para el diseño de experimentos (DOE) en la que la relación entre la respuesta de un proceso con sus variables de entrada se asigna a la decisión de lograr el objetivo, maximizar o minimizar las propiedades de respuesta. Se trata de un conjunto de técnicas estadísticas de DOE, un modelo de regresión intrínseco, y los métodos de optimización de utilidad para cualquier campo de la ingeniería.

Antes de aplicar la metodología de superficie de respuesta, primero es necesario elegir un diseño experimental que definen los experimentos que se deben llevar a cabo en la región de estudio. Hay algunas matrices experimentales para este propósito. Los diseños experimentales de modelos de primer orden (por ejemplo diseños factoriales) se pueden utilizar cuando el conjunto de datos no presentan curvatura (Almeida B. y col., 2007).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de escaldado de Zanahoria (*Daucus carota L.*) tipo Nantes utilizando β -Caroteno nanoencapsulado mediante cambios de color y propiedades texturales aplicando la metodología de superficie de respuesta.

2.1.1 OBJETIVO PARTICULAR 1

Elaboración de nanocápsulas de β -Caroteno mediante el método de emulsificación-difusión (MED) para su aplicación en el proceso de escaldado de zanahoria.

Variables

Factor independiente: Método de elaboración de nanocápsulas de β -Caroteno.

Factor explicativo: potencial zeta, tamaño de partícula, índice de polidispersión.

2.1.2 OBJETIVO PARTICULAR 2

Evaluar el calor letal suministrado (F_0) como indicador de la eficiencia del proceso de escaldado y punto de referencia para la optimización.

Variables

Factores independientes: Temperatura y tiempo de proceso

Factor explicativo: Calor letal suministrado (F_0)

2.1.3 OBJETIVO PARTICULAR 3

Evaluar los cambios de color en zanahoria (*Daucus carota L.*) tipo Nantes en el proceso de escaldado mediante pruebas colorimétricas para establecer su comportamiento por efecto del procesamiento térmico.

Variables

Factor independiente: Concentración de nanocápsulas de β -Caroteno

Factores explicativos: °Hue, Chroma, ΔE

2.1.4 OBJETIVO PARTICULAR 4

Evaluar los cambios en propiedades texturales en zanahoria (*Daucus carota L.*) tipo Nantes en el proceso de escaldado mediante pruebas de compresión y un análisis de perfil de textura (APT) para establecer su comportamiento por efecto del procesamiento térmico.

Variables

Factores independientes: Temperatura del medio de calentamiento y tiempo de proceso

Factor explicativo: Análisis de Perfil de Textura

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se presentan las actividades que se realizaron y la metodología empleada durante la experimentación para la resolución de los objetivos anteriormente mencionados.

2.2.1 ACTIVIDADES PRELIMINARES

2.2.1.1 ELABORACIÓN DE DIAGRAMA DE PROCESO

La ejemplificación de la metodología a seguir durante la experimentación se realizó en un diagrama de proceso en donde se describe de manera breve y precisa paso a paso desde la selección de la materia prima hasta la obtención de las condiciones óptimas de operación de manera simplificada.

2.2.1.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Con la finalidad de tener un control de las condiciones iniciales del producto se seleccionaron las zanahorias de acuerdo a parámetros de calidad marcados en la norma CODEX STAN 140-1983 en la cual se especifica una clasificación de acuerdo a su tamaño y a su forma de presentación para posteriormente determinar si cumplen con requisitos generales o factores de calidad de acuerdo a su color, olor y sabor el cual debe ser característico de la variedad, deben encontrarse limpias, sanas y exentas de partes duras inconvenientes así como con respecto a defectos visibles como deformaciones, exentas de daños mecánicos y macas (unidades con zonas de color negro, pardo oscuro, intensamente descoloridas, daños producidos por insectos).

2.2.1.3 RENDIMIENTO

El rendimiento de la materia prima se determinó en función de los cubos de zanahoria de 1cm³ obtenidos por cada zanahoria pelada y cortada:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso Cubos de Zanahoria}}{\text{Peso inicial de Zanahoria}} \times 100 \quad \text{Ec. (17)}$$

2.2.1.4 CAPACIDAD Y RELACIÓN PRODUCTO / VOLUMEN

Se determinó en función al área y volumen del equipo utilizado para el proceso de escaldado (Marmita Basculante).

2.2.1.5 ELABORACIÓN DE CURVAS DE PENETRACIÓN DE CALOR PARA DETERMINAR EL CENTRO TÉRMICO

Para la determinación del centro térmico se hizo un acomodo de termopares dentro del cubo de zanahoria donde se monitoreó el incremento de la temperatura en cada termopar con respecto al tiempo para obtener el historial térmico de cada uno y poder obtener la velocidad de calentamiento. El punto donde se obtuvo la menor velocidad fue considerado el centro térmico.

2.2.2 ELABORACIÓN DE NANOCÁPSULAS DE β -CAROTENO MEDIANTE EL MÉTODO DE EMULSIFICACIÓN-DIFUSIÓN

Las nanocápsulas fueron preparadas por el método de emulsificación difusión propuesto por Quintanar-Guerrero y col., 1998 y optimizado para activos alimenticios por Zambrano-Zaragoza y col., 2011.

2.2.2.1 TAMAÑO DE PARTÍCULA E ÍNDICE DE POLIDISPERSIÓN

Se determinó la distribución de tamaño de partícula e índice de polidispersión por la técnica de dispersión de luz láser a 273° y ángulo fijo a 25° C, utilizando un Z-Sizer 4 (Malvern Zetasizer Nano Serie Ltd, Francia). La dispersión se diluyó en agua Milli-Q®, de acuerdo con el histograma de frecuencias a volumen. Las mediciones se realizaron a 25° C por triplicado.

2.2.2.2 POTENCIAL ζ

ζ se evaluó para el sistema preparado utilizando un Z-Sizer 4 (Zetasizer Nano Series, Malvern Ltd, Francia) después de la dilución apropiada un en destilador de agua Milli-Q®. Los valores ζ se normalizaron con la dispersión de poliestireno estándar ($\zeta = -55$ mV). Las mediciones se realizaron a 25° C por triplicado.

2.2.2.3 ELABORACIÓN DE CURVA PATRÓN DE β -CAROTENO

Con la finalidad de conocer la concentración de nanocápsulas de β -Caroteno que se obtiene al finalizar el escaldado de las muestras se realizó una curva patrón en base a las absorbancias del β -Caroteno utilizando un espectrofotómetro Cintra 10 UV-Visible (GBC Scientific Equipment, Australia) a una longitud de onda de 460 nm. Las mediciones se realizaron por triplicado.

2.2.2.4 ESTUDIOS MORFOLÓGICOS

Las nanocápsulas se purificaron por tres ultracentrifugaciones (30 000 rpm durante 30 min a 5 ° C) a fin de eliminar el exceso de estabilizante. Una gota de suspensión concentrada fue esparcida en la superficie de un recipiente de vidrio y secada. Finalmente, las muestras secas fueron montadas en portaobjetos y adheridas con cinta al carbón electroconductiva en un evaporador catódico con una capa de oro (~20 nm) utilizando un JFC-1100 Sputter Coater (JEOL, Japón) y después observadas a vacío en un microscopio electrónico de barrido (LV-SEM, JSM 5600 LV) con una resolución de 5 nm.

2.2.3 ESCALDADO DE LAS MUESTRA

Los cubos de zanahoria fueron sumergidos a las diferentes condiciones experimentales en el medio de calentamiento (CMC-Nanocápsulas) tomando registro de temperaturas en intervalos de 30 segundos, posteriormente fueron sumergidas en medio de enfriamiento (CMC-Nanocápsulas) a temperatura de 4 °C a la mismas condiciones de concentración de β -caroteno dejando escurrir durante 2 minutos para posteriormente determinar las propiedades colorimétricas, mecánicas y espectrofotométricas de los componentes del sistema.

2.2.4 DETERMINACIÓN DEL CALOR LETAL SUMINISTRADO (F_0)

Utilizando el método de Bigelow se determinó el calor letal suministrado (F_0) para garantizar la inhibición térmica de la enzima Peroxidasa (POD) a las distintas condiciones de operación en el proceso de escaldado obteniendo para cada caso el área bajo la curva de las curvas de penetración de calor utilizando el software estadístico SigmaPlot 10.0.

2.2.5 COLORIMETRÍA

El color en la zanahoria fue evaluado mediante un colorímetro Minolta (Modelo CR-300, N.Y., EUA). Coordenadas L^* , a^* y b^* fueron tomadas usando iluminante C y un observador estándar a 2° como sistema de referencia. Cada medición fue tomada en 3

localizaciones en la zona expuesta en las muestras de zanahoria con y sin tratamiento para cada condición del diseño experimental realizándose por triplicado.

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) \quad \text{Ec. (18)}$$

$$\text{Chroma} = ((a)^2 + (b)^2)^{1/2} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$\Delta E^* = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{1/2} \quad \text{Ec. (20)}$$

2.2.6 TEXTURA

La evaluación de textura se realizó en un Texturómetro Brookfield (Modelo CT3, EUA). Se utilizó un punzón TA42 (3 mm), una mesa estándar TA-BT-KIT, con una fuerza de compresión de 15000 g. a una velocidad de 1.5 mm/s y una muestra con un tamaño de 1 cm³. Para la medición se realizó una única punción en cada muestra a 5 mm de profundidad de penetración. La prueba de ATP se realizó 2 ciclos de compresión con un cilindro de 38.1 mm de diámetro y 20 mm de longitud obteniéndose un porcentaje de deformación de 20% a una velocidad de 1.5 mm/s, realizándose por triplicado.

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño base considerado es un factorial completo 3³ que se hizo superficie de respuesta mediante un diseño central compuesto con un $\alpha = 1.68719$. En la tabla 2.1 se muestran las variables y los niveles de variación considerados en el diseño central compuesto.

Una ecuación polinómica de segundo orden se utilizó para expresar las variables de respuesta en función de las variables independientes (Myres & Montgomery, 2002):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde Y_i representa las variables de respuesta, β_0 es una constante, β_{ii} , β_i y β_{ij} son los coeficientes lineales de segundo grado e interactivo, respectivamente. Los coeficientes de la ecuación de la superficie de respuesta se determinaron y un análisis de varianza (ANOVA) se realizó para evaluar las diferencias significativas entre las variables independientes usando Minitab versión 16 (Minitab Inc., PA, E.U.A).

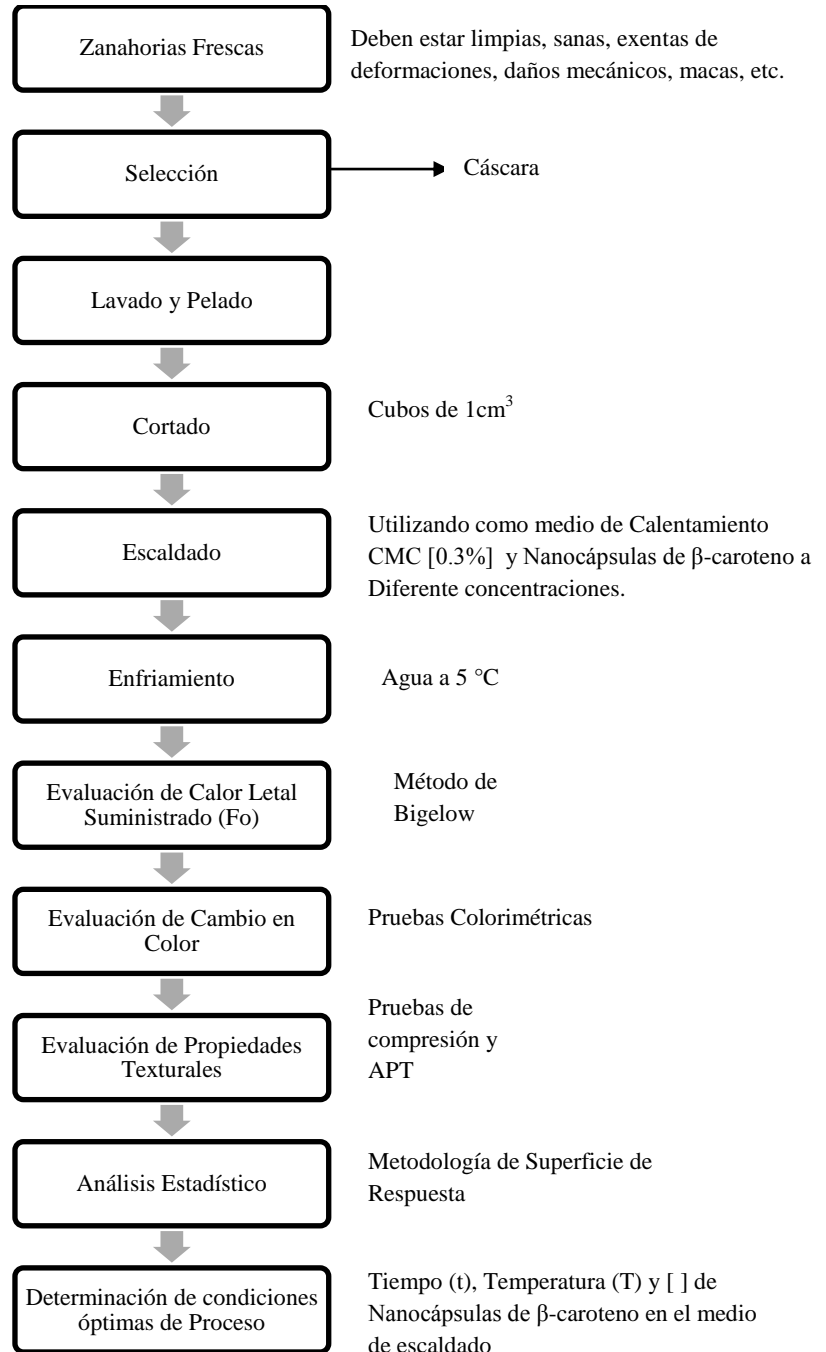
Tabla 3 Cuadro de variables y niveles de variación en el diseño central compuesto

Puntos de Diseño	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	[] NC's (µg/mL)
Axial	3.29	58.18	6.36
Factorial	5	65	20
Central	7.5	75	40
Factorial	10	85	60
Axial	11.7	91.81	73.63

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1 ACTIVIDADES PRELIMINARES

a) DIAGRAMA DE PROCESO



b) ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Para tener un control de las condiciones iniciales del producto se seleccionaron las zanahorias de acuerdo a los parámetros de calidad marcados en la norma CODEX STAN 140-1983. Las zanahorias (*Daucus carota L*) fueron lavadas y peladas, se seleccionaron con valores promedio de 25 mm de diámetro y finalmente fueron cortadas en cubos de 1 cm³ obteniéndose un rendimiento promedio de 52.15 %.

- **Capacidad y relación producto/volumen.**

- ✓ **Capacidad**

Se determinó la capacidad de la marmita basculante por medio del cálculo de los volúmenes y áreas de diseño que presenta obteniéndose los siguientes resultados.

Área del cilindro

$$D= 32.5\text{cm}$$

$$h= 22.5\text{cm}$$

$$r=16.25\text{cm}$$

$$A= 2\pi r (h+r)$$

$$A= 2\pi \times 16.25\text{cm} (22.5\text{cm}+16.25\text{cm})$$

$$A=3956.44 \text{ cm}^2$$

Volumen del cilindro

$$V= \pi r^2 * h$$

$$V= \pi (16.25\text{cm})^2 * 22.5\text{cm}$$

$$V=18665.30 \text{ cm}^3$$

Área de la esfera

$$A = 4\pi r^2$$

$$A = 4\pi (13.25\text{cm})^2$$

$$A = 2206.18 \text{ cm}^2$$

Volumen de la esfera

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$V = \frac{4}{3} \pi (13.25 \text{ cm})^3$$

$$V = 9743.97\text{cm}^3$$

$$A_{\text{Total}} = 3956.44\text{cm}^2 + 1103.09\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Total}} = 5059.53 \text{ cm}^2$$

Para determinar el volumen total, el volumen de la esfera se dividió en 3 ya que la esfera no está completa únicamente es el fondo lo que represen 1/3 parte de la esfera.

$$V_{\text{Total}} = 18665.30\text{cm}^3 + (9743.97 \text{ cm}^3/3)$$

$$V_{\text{Total}} = 21,913.29\text{cm}^3$$

$$V_{\text{Total}} = 0.021913\text{m}^3 = 21.91 \text{ litros}$$

$$V_{\text{máximo}} = 21.91 \text{ L} * (0.8)$$

$$V_{\text{máximo}} = 17.52 \text{ L}$$

$$V_{\text{mínimo}} = 21.91 \text{ L} * (0.2)$$

$$V_{\text{mínimo}} = 4.382 \text{ L}$$

✓ **Relación Producto/Volumen**

De acuerdo con Gonçalves E.M. y col. la relación Producto/Volumen es de 10 g/L por lo que para este estudio se utilizó dicha relación en función del volumen del medio de calentamiento se fue adicionando el sistema nanoparticulado que contenía las nanocápsulas de β -caroteno.

c) ELABORACIÓN DE CURVAS DE PENETRACIÓN DE CALOR PARA DETERMINAR EL CENTRO TÉRMICO.

Se utilizó un acomodo de termopares en diagonal como se muestra en la figura 11 en el cual se monitoreo la temperatura por medio de un registrador de temperatura con termopares tipo t en intervalos de 1 minuto entre cada medición obteniéndose el historial térmico de cada uno para posteriormente la obtención de la velocidad de calentamiento para cada uno como se muestra en la figura 10.

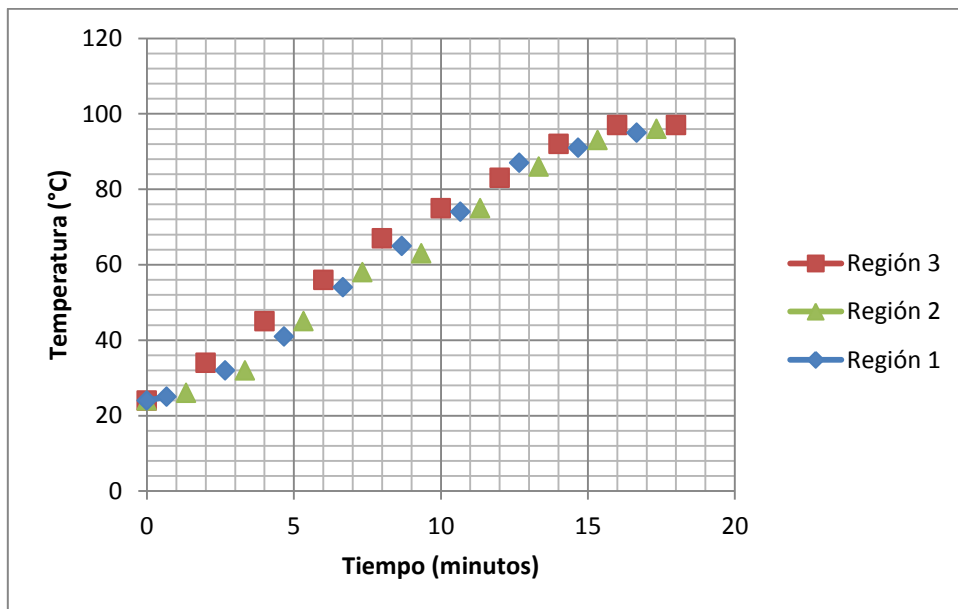


Figura 10 Historial térmico para la determinación del centro térmico

Las velocidades de calentamiento obtenidas en la tabla 4 muestran que la región que tiene la menor velocidad es la 2 que corresponde al centro geométrico del cubo de zanahoria.

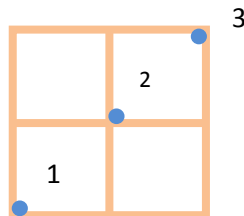


Figura 11 Acomodo de termopares en el cubo de zanahoria

Tabla 4 Velocidades de calentamiento obtenidas en los cubos de zanahoria

Región	Velocidad (°C/s)
1	0.071
2	0.069
3	0.073

En la tabla anterior se observa que en la región 2 es en donde existe una menor velocidad de calentamiento, lo cual concuerda con lo citado por Bosques, E. y Colina, M., 1999, en donde menciona que el centro térmico es el centro geométrico del alimento y que es ahí donde tarda más en calentarse. Sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas con una desviación estándar de 0.002 esto debido a que existe una mayor superficie de contacto entre el cubo de zanahoria y el medio de calentamiento produciéndose así un calentamiento más homogéneo.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOCÁPSULAS DE β -CAROTENO

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta del sistema nanoparticulado de β -caroteno preparado por MED.

Tabla 5 Características del sistema de nanocápsulas de β -caroteno

Sistema	Tamaño de partícula (nm)	Índice de Polidispersión	Potencial ξ (mV)
Nanocápsulas de β -Caroteno	312	0.16	- 31.50

Las nanocápsulas se caracterizaron por tener un tamaño de partícula inferior a $1\mu\text{m}$ con un promedio de 312 nm lo que resulta adecuado cuando se utiliza en el campo de la ciencia de

los alimentos ya que se evita la alteración de propiedades organolépticas (Agüeros M. y col., 2012; Quintanar-Guerrero y col., 2012). Con respecto al índice de polidispersión los valores indican una distribución de tamaño de partícula homogénea.

El potencial zeta estima la estabilidad del sistema nanoparticulado, la carga superficial al estar próxima a cero significa que las partículas presentan una mayor tendencia a la aglomeración sin embargo en la muestra analizada de nanocápsulas de β -Caroteno la carga superficial es lo suficientemente elevada para evitar este fenómeno (Zambrano-Zaragoza y col., 2011).

- **Análisis Morfológico del sistema nanoparticulado**

La figura 12 muestra las micrografías correspondientes al sistema nanoparticulado empleado en el desarrollo experimental. Esta es la mejor evidencia de la estructura de las nanocápsulas de β -caroteno y confirma la presencia de estructuras nanocapsulares con centro oleoso en el medio de escaldado.

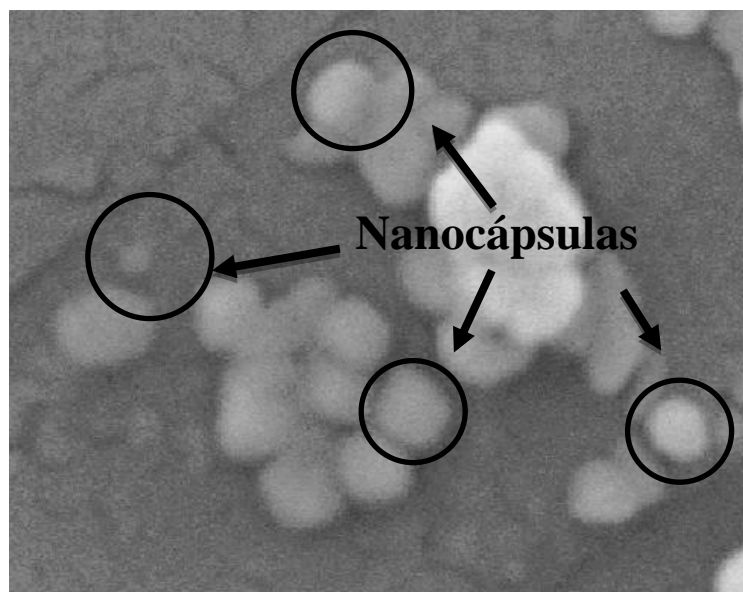


Figura 12 Micrografía de nanocápsulas de β -caroteno

La presencia de partículas con tamaño promedio de 300 nm aproximadamente asevera la existencia de estructuras de talla submicrónica (Quintanar-Guerrero y col, 1998) además de ser muy útiles como vehículos de antioxidantes y nutraceuticos (Zambrano-Zaragoza y col., 2013a) y tener la capacidad de formar película como recubrimiento comestible en frutos enteros y cortados (Zambrano-Zaragoza y col., 2013b).

- **Curva patrón del sistema nanoparticulado**

Con el fin de conocer la concentración de β -caroteno nanoencapsulado en la zanahoria y en el medio de calentamiento se elaboró una curva patrón de nanocápsulas en función de su absorbancia la cual se presenta en la figura 13.

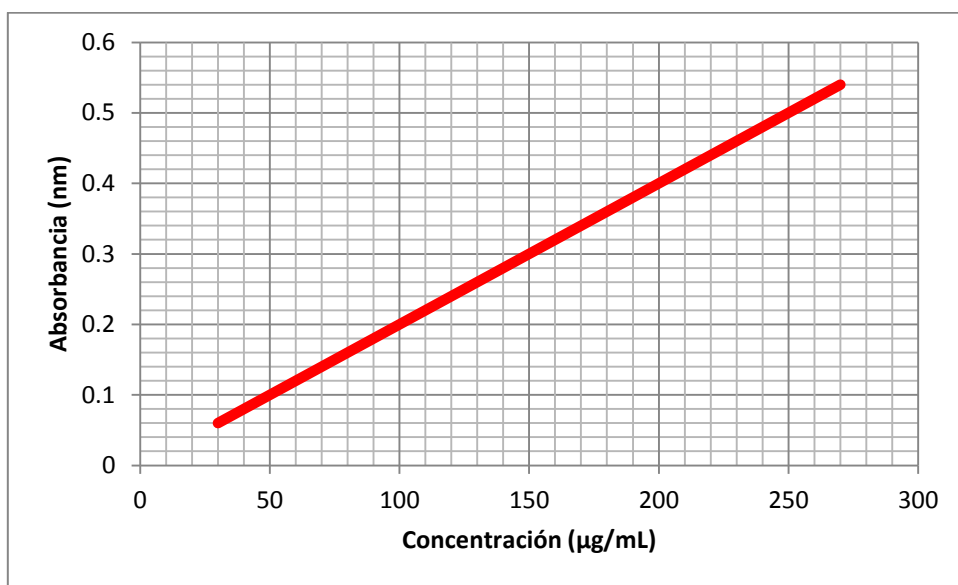


Figura 13 Curva patrón del sistema nanoparticulado vs absorbancia

La relación de la concentración en función de la absorbancia se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Concentración de nanocápsulas de } \beta - \text{Caroteno} = \frac{0.002}{\text{Absorbancia}} \quad \text{Ec. (22)}$$

3.3 CALOR LETAL SUMISTRADO (F_0)

El tiempo de escaldado se establece de acuerdo con la estabilidad térmica de la enzima que se desea inhibir en este caso la Peroxidasa ya que es la enzima más estable a la temperatura en los vegetales y por tanto se utiliza como indicador del proceso de escaldado. La FDA recomienda su inactivación para reducir la pérdida de calidad durante el almacenamiento de alimentos procesados (Da-Wen Sun, 2006) como lo es la zanahoria.

En la figura 14 se muestra un ejemplo de la obtención del área bajo la curva para la determinación de F_0 utilizando el software estadístico SigmaPlot 10.0 con el cual, mediante el método de Bigelow se obtuvieron las letalidades alcanzadas con respecto al tiempo en el proceso de escaldado el cual fue realizado a condiciones de $t = 7.5$ min, $T = 91.5$ °C y [] $NC's = 40$ µg/mL.

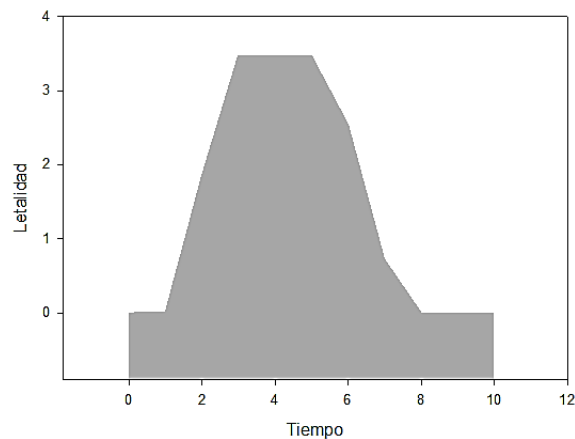


Figura 14 Efecto letal durante el periodo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento en el proceso de escaldado de zanahoria.

Aunque durante el proceso de escaldado las zanahorias fueron sumergidas en el medio de calentamiento hasta que éste se encontraba a temperatura constante, la temperatura de proceso no se alcanzó inmediatamente ya que el calor se transmite de la superficie hasta el punto de calentamiento más lento (punto frío o centro térmico) y por lo tanto la temperatura de calentamiento no se puede despreciar, de igual manera sucede durante el enfriamiento

por lo tanto se evaluó el efecto letal alcanzado durante los tres periodos (calentamiento, mantenimiento y enfriamiento) dando como resultado los valores de F_0 de todo el proceso.

Posteriormente, en la tabla 6 se muestran los valores de F_0 obtenidos a partir de las curvas de tiempo vs. Letalidad para cada una de las condiciones de proceso.

Tabla 6 Calor letal suministrado obtenido a diferentes condiciones experimentales

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	[NC] (µg/mL)	F_0
7.5	75	6.36	1.1558
5	65	20	0.0081
10	65	20	0.0161
5	85	20	14.5407
10	85	20	5.8114
3.29	75	40	0.1784
11.7	75	40	0.6306
7.5	58.18	40	0.0012
7.5	75	40	0.2599
7.5	91.5	40	16.448
5	65	60	0.0103
10	65	60	0.016
5	85	60	4.4102
10	85	60	7.4853
7.5	75	73.63	0.1758

De acuerdo al análisis de varianza mostrado en la tabla 7 para el calor letal suministrado, los factores que tuvieron una mayor influencia sobre la variable de respuesta (F_0) fueron la temperatura ($p < 0.000$) en términos lineales así como el cuadrático de la temperatura ($p < 0.000$) y la interacción del tiempo con la concentración de nanocápsulas de β -Caroteno ($p < 0.001$) con un ajuste del modelo de $R^2 = 96\%$.

La figura 15 a-b muestra las superficies de respuesta evaluadas para el calor letal suministrado en función de los factores independientes. En la figura 15a se observa la variabilidad de F_0 con respecto a la temperatura y la concentración de nanocápsulas teniendo un efecto directo desde los puntos centrales a los axiales por efecto de la temperatura. La figura 15b indica que la concentración de nanocápsulas tuvo un efecto significativo a partir de 40 $\mu\text{g/mL}$.

Tabla 7 ANOVA y coeficientes de regresión codificados para F_0

Término	F_0	
	Coefficiente	P
β_0	0.24	0.539
β_1	-0.19	0.461
β_2	4.11	0.000
β_3	-0.47	0.072
β_{11}	0.12	0.633
β_{22}	2.88	0.000
β_{33}	0.21	0.401
β_{12}	-0.42	0.213
β_{13}	1.19	0.001
β_{23}	-0.60	0.078

Los valores obtenidos de F_0 demuestran que la temperatura tiene un efecto directo desde los valores centrales (70 °C) hasta los axiales (91.82 °C) y un efecto sinérgico entre la temperatura y concentración de nanocápsulas en los puntos axiales del sistema.

Analizando los valores obtenidos de F_0 y de acuerdo con la figura 15a concuerdan con lo descrito por Gonçalves y col. (2010) donde se menciona que la inactivación de la enzima Peroxidasa se lleva a cabo a temperaturas mayores de 75 °C y que el F_0 para zanahorias oscila entre 3 y 4, por lo que valores mayores como los que se alcanzaron en algunas condiciones de proceso como $t = 5\text{min.}$, $T = 85\text{ °C}$ y [] de NC's = 20 $\mu\text{g/mL}$ y $t = 7.5\text{min.}$,

$T = 91.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y [] de NC's= $40 \text{ }\mu\text{g/mL}$ indican un sobreprocesamiento siendo esto el resultado de alguna de las variables independientes o la interacción de unas con otras por lo cual fue necesario analizar los otros dos factores de calidad (color y textura) que son de interés en este trabajo para poder determinar las mejores condiciones para llevar a cabo el procesamiento térmico.

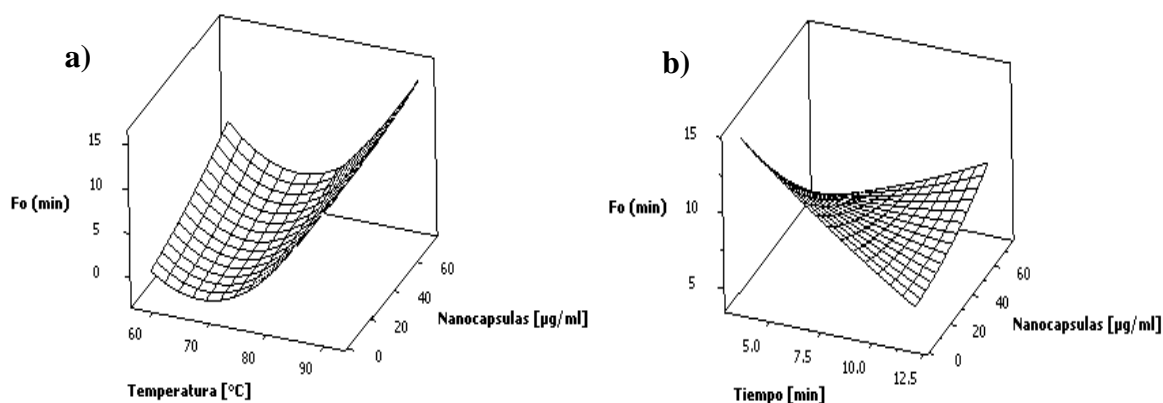


Figura 15 Superficies de respuesta evaluadas para F_0 en función de: a) Temperatura y concentración de nanocápsulas y b) Tiempo y concentración de nanocápsulas

La variación de F_0 en función de los términos significativos ($P < 0.05$) está dada por la siguiente ecuación:

$$F_0 = -3.66y + 0.03y^2 + 0.03xz \quad (23)$$

















Donde “x” representa el tiempo, “y” la temperatura y “z”, la concentración de nanocápsulas expresados como eigenvalores. Los resultados obtenidos en cuanto a color y textura con respecto a las distintas condiciones de proceso se muestran a continuación.

3.4 COLORIMETRIA

El cambio de color medido se expresó mediante $^{\circ}\text{Hue}$, Chroma y cambio total de color (ΔE). Un ángulo Hue de 0° representa un rojo puro, mientras que un ángulo Hue de 180° representa un verde puro, el valor Chroma representa la intensidad de color y ΔE se calcula

al principio y al final de un proceso en particular (Uquiche C. E., y col., 2002). En la tabla 8 se muestran los valores obtenidos durante la experimentación de L, a* y b* los cuales fueron utilizados para determinar los valores de °Hue, Cromaticidad y cambio total de color (ΔE).

Tabla 8 Valores de L, a* y b* obtenidos experimentalmente para la determinación de °Hue, Chroma y ΔE

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	[NC] ($\mu\text{g/mL}$)	L*	a*	b*	°Hue	Chroma	ΔE	Color
Sin tratamiento			52.58	21.71	37.49	59.92	43.33	****	
7.5	75	6.36	46.28	20.79	37.84	62.00	44.69	5.59	
5	65	20	49.86	19.69	36.66	59.30	44.70	4.28	
10	65	20	48.16	16.24	30.60	62.85	35.84	8.56	
5	85	20	48.37	23.13	35.78	59.45	39.32	5.87	
10	85	20	48.12	20.26	35.76	59.03	39.65	5.20	
3.29	75	40	50.02	26.60	41.51	55.93	47.27	6.59	
11.7	75	40	48.67	25.49	35.68	55.89	47.91	6.68	
7.5	58.18	40	49.79	30.14	43.07	55.68	50.59	8.62	
7.5	75	40	47.37	27.85	41.16	56.43	48.01	6.73	
7.5	91.5	40	48.96	27.66	42.21	55.98	46.85	7.67	
5	65	60	48.87	22.61	30.65	55.54	41.51	5.46	
10	65	60	48.08	24.96	36.85	54.87	43.05	5.71	
5	85	60	48.17	21.75	35.06	56.59	39.95	6.08	
10	85	60	48.83	23.48	35.95	56.25	40.22	6.73	
7.5	75	73.63	49.95	25.32	34.22	55.94	44.06	4.77	

En la columna denominada “color” se realizó una simulación de las coordenadas L, a* y b* mediante el software Easy RGB color calculator en el espacio colorido, se observa que a simple vista, el cambio de color no es significativo entre las muestras sin tratamiento y las muestras sometidas a distintas condiciones de proceso. Sin embargo para comprender mejor la interacción de las variables tiempo, temperatura y concentración de nanocápsulas se realizó un análisis específico sobre su efecto en el color de las muestras sometidas a distintas condiciones durante el tratamiento térmico. De acuerdo con la ecuación 19, los valores de a* y b* dentro del espacio colorido o CIELAB son las coordenadas cromatológicas, conforme los valores de a* y b* se incrementan, la saturación del color de incrementan.

La cromaticidad siendo un atributo de un color es proporcional a la cantidad de colorido que se tiene, para una mejor comprensión se tiene como ejemplo: suponiendo que se tienen dos pinturas, una blanca y otra roja, se verá que cuanto mayor sea la proporción de pintura roja, más colorido será el resultado. Esto está en relación con el aumento del chroma del color. De acuerdo con lo reportado por Uquiche C. E., y col., 2002, después de someter las zanahorias al tratamiento térmico, éstas presentan un cambio de color de naranja intenso a naranja pálido que coincidieron con una reducción en los valores de chroma al final del tratamiento térmico.

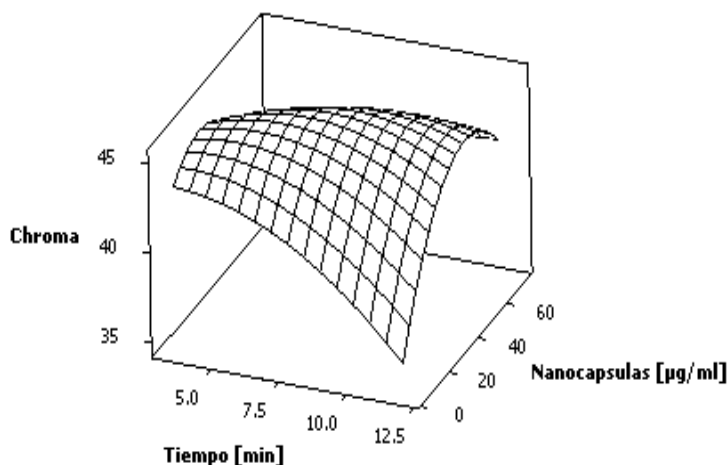


Figura 16 Interacción del tiempo y concentración de nanocápsulas sobre Chroma

En la figura 16 se muestra la interacción del tiempo y la concentración de nanocápsulas de β -Caroteno sobre la cromaticidad de las zanahorias escaldadas teniéndose como resultado un efecto sinérgico de la concentración de antioxidante con respecto del tiempo con un punto de inflexión axial a concentraciones altas del sistema nanoparticulado. De acuerdo con García de Souza M. y col., 2002 la fijación de color en zanahoria está determinado por la cantidad y distribución de carotenoides siendo los principales β -carotenos y α -carotenos. El uso de nanocápsulas de β -caroteno tiene un gran potencial de aplicación por la distribución de tamaños en la superficie de la zanahoria aumentando con esto la cromaticidad por efecto del polímero resistente a altas temperaturas lo que impidió la degradación del antioxidante durante el proceso. La variación de la cromaticidad en función de los términos significativos ($P < 0.05$) se puede observar en la tabla 9 y está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Chroma} = 39.18 - 0.04z^2 + 0.03xz \quad \text{Ec. (24)}$$

Donde “ z^2 ” representa el cuadrático de la concentración de nanocápsulas y “ xz ” la interacción tiempo/concentración de nanocápsulas expresados como eigenvalores.

Tabla 9 ANOVA y coeficientes de regresión en los factores de respuesta en función de los factores estudiados en colorimetría

Término	°Hue		Chroma		ΔE	
	Coefficiente	P	Coefficiente	P	Coefficiente	P
β_0	56.56	0.000	46.10	0.000	6.06	0.000
β_1	0.15	0.539	-0.85	0.132	0.29	0.303
β_2	-0.24	0.329	-0.67	0.232	-0.20	0.465
β_3	-1.91	0.000	0.43	0.443	-0.03	0.919
β_{11}	0.02	0.928	-0.62	0.257	-0.03	0.915
β_{22}	0.01	0.979	-0.27	0.620	0.43	0.111
β_{33}	1.02	0.000	-1.64	0.004	-0.44	0.106

β_{12}	-0.35	0.272	0.77	0.292	-0.48	0.188
β_{13}	-0.55	0.086	1.28	0.085	-0.34	0.349
β_{23}	0.72	0.027	-0.76	0.299	0.66	0.071

Lo anteriormente mencionado con respecto a cromaticidad también se observa en lo que respecta al ángulo Hue, las zanahorias sin tratamiento térmico tienen valores de 59.92, al aumentar los valores se puede decir que el contenido de β -caroteno disminuye ya que valores cercanos a 90 indican un tono amarillo, es decir de un naranja intenso a un naranja pálido pues valores más bajos o más cercanos a 45 indican un tono naranja.

En la tabla 8 se puede observar que el mayor ángulo Hue obtenido fue de 62.85 a las condiciones de $t = 10\text{min}$. $T = 65\text{ }^\circ\text{C}$ y $\text{NC's} = 20\mu\text{g/mL}$. Al observar la columna “color” en la misma tabla se puede observar que el tono entre las zanahorias sin escaldar y las que están escaldadas a las condiciones anteriormente mencionadas no es muy distinto.

La figura 17 muestra el efecto del tiempo y la concentración de nanocápsulas sobre el ángulo Hue en las zanahorias sometidas a escaldado teniéndose la mayor curvatura y menor respuesta en los puntos centrales del modelo debido a que a esta concentraciones no se tuvo buena fijación del sistema nanoparticulado en la zanahoria.

La variación del ángulo Hue en función de los términos significativos ($P < 0.05$) está dada por la siguiente ecuación:

$$^{\circ}\text{Hue} = 65.86 - 0.48z + 0.003z^2 + 0.004yz \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde “z” es la concentración de nanocápsulas, “z²” es el cuadrático de la concentración de nanocápsulas y “yz” la interacción de la temperatura con la concentración de nanocápsulas.

La pérdida de pigmentos carotenoides para el consumo se ve reflejado en el cambio de color en el producto después de someter las zanahorias a un proceso térmico, por lo que al implementar la aplicación de nanocápsulas de β -Caroteno durante el escaldado se pretende

reducir tanto la pérdida de color como la pérdida en sus propiedades nutricionales o incluso adicionar una cantidad mayor de carotenos.

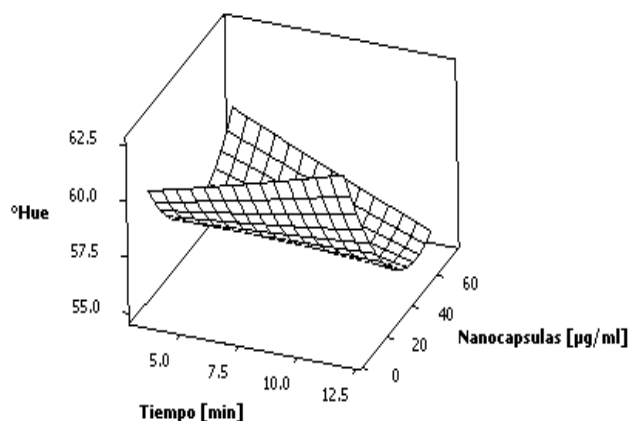


Figura 17 Efecto del tiempo y concentración de nanocápsulas sobre °Hue

Finalmente, en la tabla 9 se muestra el análisis de varianza realizado para el cambio total de color (ΔE). Los valores de probabilidad mostraron que el factor con mayor influencia estadística en el proceso de escaldado es la interacción de temperatura con la concentración de nanocápsulas de β -caroteno ($P > 0.071$) y el menor el cuadrático del tiempo ($p > 0.919$) quedando así la siguiente ecuación de predicción en función a los términos significativos para el cambio total de color:

$$\Delta E = 26.29 + 0.003yz \quad (\text{Ec.26})$$

Donde “yz” representan la interacción de la temperatura con la concentración de nanocápsulas.

De acuerdo con la tabla 8 los valores de ΔE oscilaron entre 4.77 y 8.62 siendo este último valor evaluado a las condiciones más bajas de temperatura (58.18 °C) después del tratamiento térmico, estos cambios están directamente relacionados a la concentración de nanocápsulas contenidas en el medio como se muestra en la figura 18 y por tanto se demuestra que las muestras tratadas a más altas temperaturas tuvieron una mayor fijación

de color que a temperaturas bajas por efecto de la difusión del antioxidante en las paredes del producto.

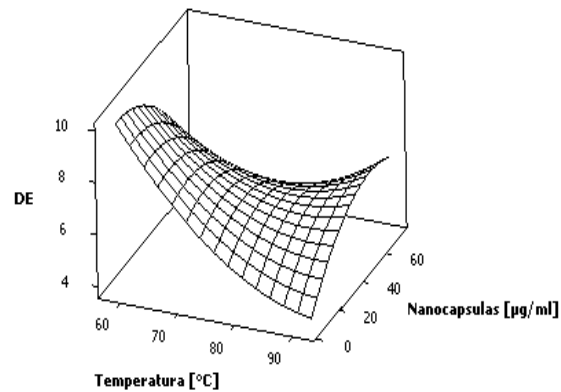


Figura 18 Efecto de la temperatura y concentración de nanocápsulas en ΔE

3.5 CAMBIOS EN PROPIEDADES MECÁNICAS Y TEXTURA

De acuerdo con De Roeck y col., 2010, la textura es un indicador importante de la calidad de las frutas y vegetales ya que cambia significativamente durante el procesamiento térmico, debido principalmente a la β -eliminación despolimerización de la pared celular de polisacáridos pécticos.

La dureza es la medida de textura instrumental y es definida por Rastogi y col., 2008 como la fuerza pico correspondiente a la primera compresión de la muestra. La R^2 obtenida para la dureza fue de 94%. Los valores de p que representan el área de una distribución t que mostraron que los factores con menor influencia estadísticamente significativa de acuerdo con la tabla 10 fueron todos los coeficientes lineales ($p < 0.05$), el cuadrático de la temperatura ($p > 0.032$) y el mayor la interacción temperatura-nanocápsulas ($p < 0.004$).

En la figura 19 se puede observar que en los valores axiales tanto de tiempo como de temperatura, los valores de dureza disminuyeron siendo estos dos factores los de mayor importancia durante el procesamiento térmico lo cual puso en evidencia la importancia del control de cada una de las variables independientes y posteriormente evaluar la importancia del efecto del tercer factor en estudio (concentración de nanocápsulas) y su efecto sobre la dureza del producto.

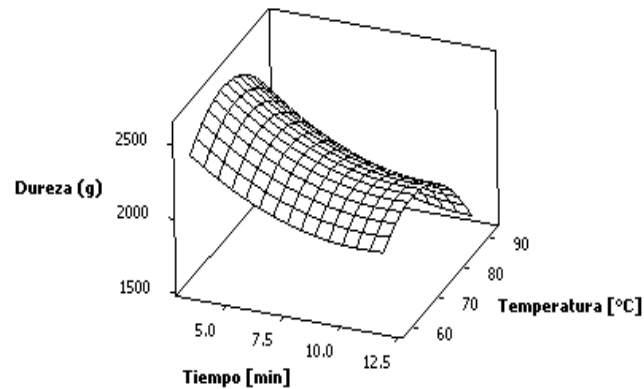


Figura 19 Efecto del tiempo y temperatura sobre la dureza

A continuación se presentan las expresiones obtenidas para los parámetros texturales de escaldado de zanahoria:

$$\text{Dureza} = 301.27x + 124.61y - 75.29z - 1.17y^2 + 1.07yz \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde “x” es el tiempo, “y” la temperatura y “z” la concentración de nanocápsulas expresados como eigen-valores en un sistema de coordenadas.

La figura 20 muestra el análisis de perfil de textura a diferentes condiciones de escaldado para los cubos de zanahoria obteniendo que en el primer ciclo de compresión la carga máxima alcanzada para todas las muestras fue a un mismo tiempo (1.6 s) obteniéndose una carga en un intervalo de 3000 a 8000 g.

El segundo ciclo de compresión establece que las muestras escaldadas con la menor concentración de nanocápsulas presentan una mayor deformación por efecto de la pérdida de propiedades viscoelásticas asociadas a la penetración de las nanopartículas en la superficie del producto, de igual manera a mayor concentración de nanocápsulas, la firmeza de los cubos de zanahoria aumenta por efecto del recubrimiento formado por la interacción de polímero de alta densidad como medio de soporte (CMC) y el polímero encapsulante del antioxidante (Poli- ϵ -caprolactona), obteniéndose una carga promedio de 6000 g.

Tabla 10 ANOVA y coeficientes de regresión en los factores de respuesta en función de los factores estudiados en textura

Término	Dureza	
	Coefficiente	P
β_0	2210.26	0.000
β_1	-142.20	0.011
β_2	-109.37	0.049
β_3	137.50	0.014
β_{11}	47.85	0.368
β_{22}	-166.55	0.032
β_{33}	-53.15	0.318
β_{12}	-11.04	0.877
β_{13}	86.21	0.229
β_{23}	212.96	0.004

De acuerdo con Zambrano-Zaragoza y col., 2010, al crear medios con soporte a base de polímeros de alta densidad y que a su vez contengan nanopartículas aportan una gran ventaja en la textura de productos vegetales así como de frutas ya que aumentan la firmeza durante su almacenamiento y/o procesamiento lo cual se ve claramente reflejado en los resultados obtenidos al realizar el análisis de perfil de textura.

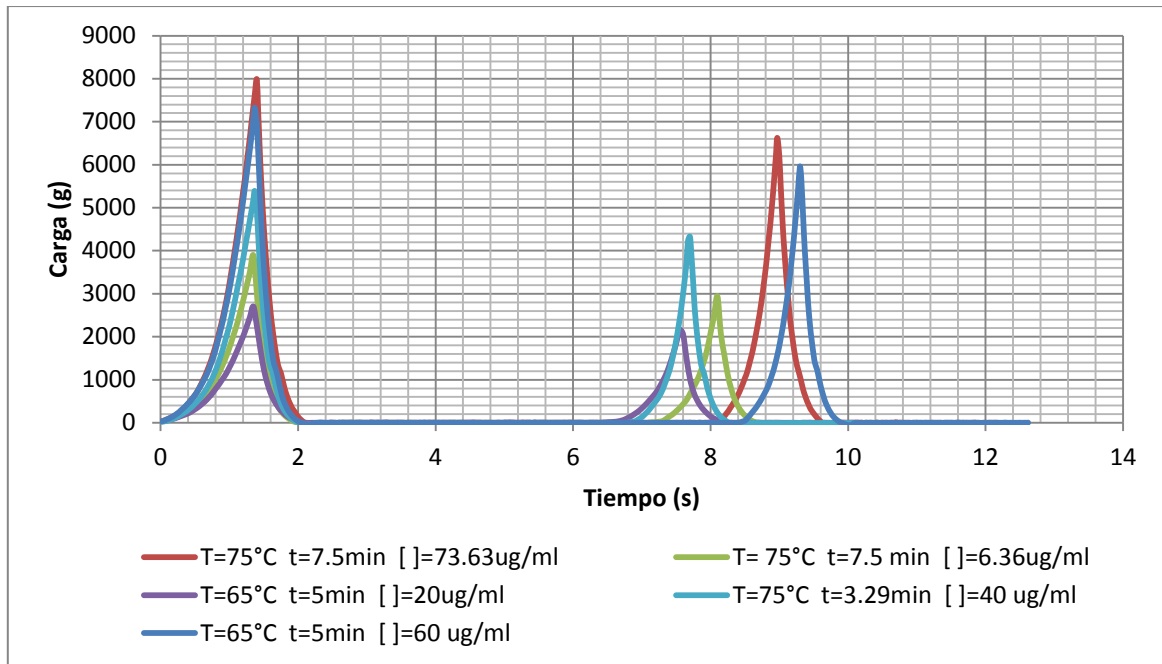


Figura 20 Análisis de perfil de textura a diferentes condiciones de escaldado

3.6 OPTIMIZACIÓN

Para contrastar los resultados obtenidos se empleó el diseño experimental de Superficie de Respuesta. Esta metodología pretende explorar y modelar estadísticamente la relación que existe entre las variables independientes y las de respuesta para posteriormente encontrar los niveles o valores de las variables independientes que logren los valores de respuesta deseados. Para ello, es necesario que las variables de respuesta que se desean analizar se encuentren adecuadamente establecidas (Zambrano M. L. y col., 2007).

Las gráficas de contornos sobrepuestos que se muestran a continuación son una técnica que ayuda a visualizar la forma que puede tener una superficie tridimensional calculada con base en un modelo matemático y casi siempre probabilístico, aquellos puntos sobre los cuales la variable de respuesta toma el mismo valor, cada punto se representa acorde con el modelo de regresión que se obtiene al analizar la información experimental. Los valores encontrados para la optimización del proceso se muestran en las figura 21 y 22

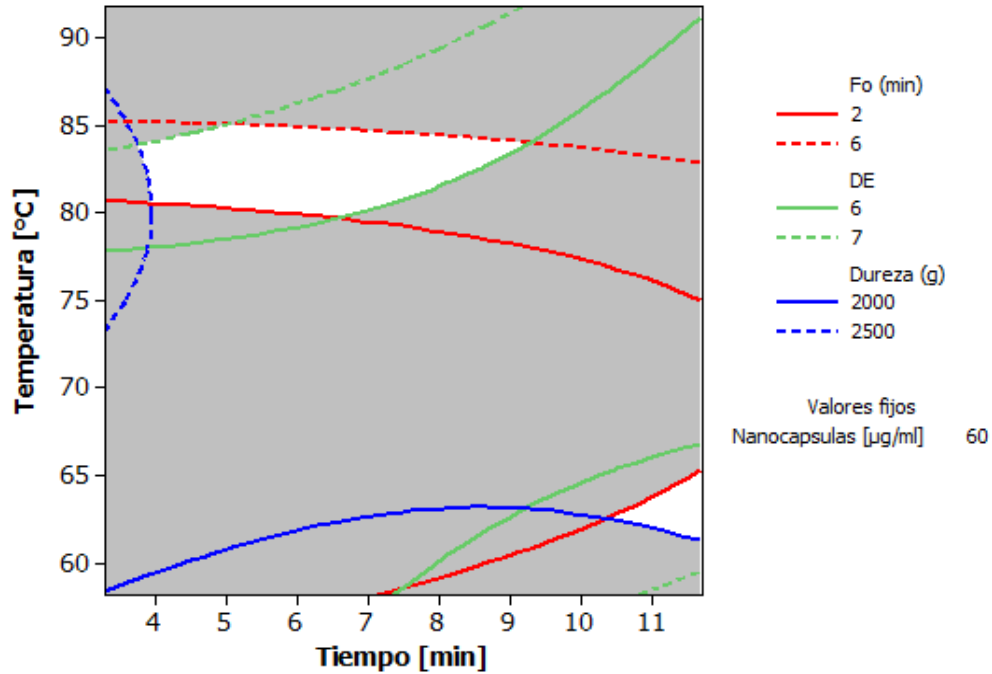


Figura 21 Gráfico de contornos superpuestos (Fo) (ΔE) (dureza)

El diseño de Superficie de Respuesta consideró el uso de nanocápsulas de β -Caroteno y un medio de CMC como parte fundamental para el estudio del proceso térmico de escaldado de zanahoria, ésta es la principal aportación del presente trabajo comparado con otros trabajos realizados anteriormente. Las variables que se consideraron para encontrar las condiciones óptimas fueron los valores de Fo que garantizaron una inactivación de la enzima Peroxidasa, cambio total de color (ΔE) y dureza. En las figuras 21 y 22 se muestran las regiones donde se encuentran las líneas de contorno, se puede observar la región de operabilidad del proceso, la cual está delimitada por el conjunto de puntos donde el proceso puede ser operado.

Para la optimización del proceso se tomaron en cuenta los 3 factores (temperatura, tiempo y concentración de nanocápsulas de β -Caroteno) ya que los 3 afectan significativamente las características que se desean optimizar.

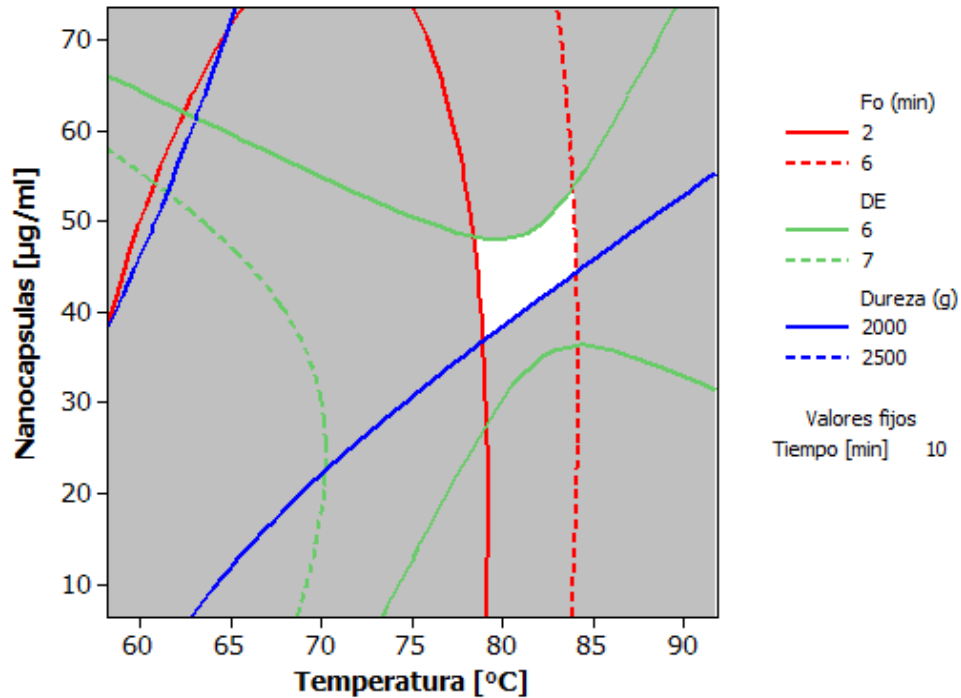


Figura 22 Gráfico de contornos superpuestos (Fo) (ΔE) (dureza)

Analizando de manera individual las figuras, la figura 21 denota que existen 2 regiones donde el proceso puede ser óptimo, como factores se tiene el tiempo y temperatura.

Claramente se muestra el efecto en un proceso térmico donde se pueden alcanzar las condiciones deseadas ya sea con temperaturas altas y tiempos cortos o por el contrario, temperaturas bajas y tiempos largos, sin embargo al observar la figura 22 donde se encuentra la interacción del tercer factor fundamental, es decir la concentración de nanocápsulas de β -Caroteno se observa que para conseguir las características deseadas únicamente existe una región en donde se muestran temperaturas altas, la región que se muestra en esta figura se encuentra también en la anterior (21) por lo que a estas condiciones se puede lograr la combinación de los 3 factores que afectan significativamente en la variables de respuesta deseadas.

Condiciones Óptimas de Proceso

Una vez resueltas las ecuaciones canónicas del diseño central compuesto mediante una prueba de deseabilidad se encontró un compuesto conveniencia de 1 el cual se muestra en la figura 23 lo cual muestra que los valores óptimos obtenidos estarán en esos niveles a las condiciones frontera e iniciales del sistema de escaldado

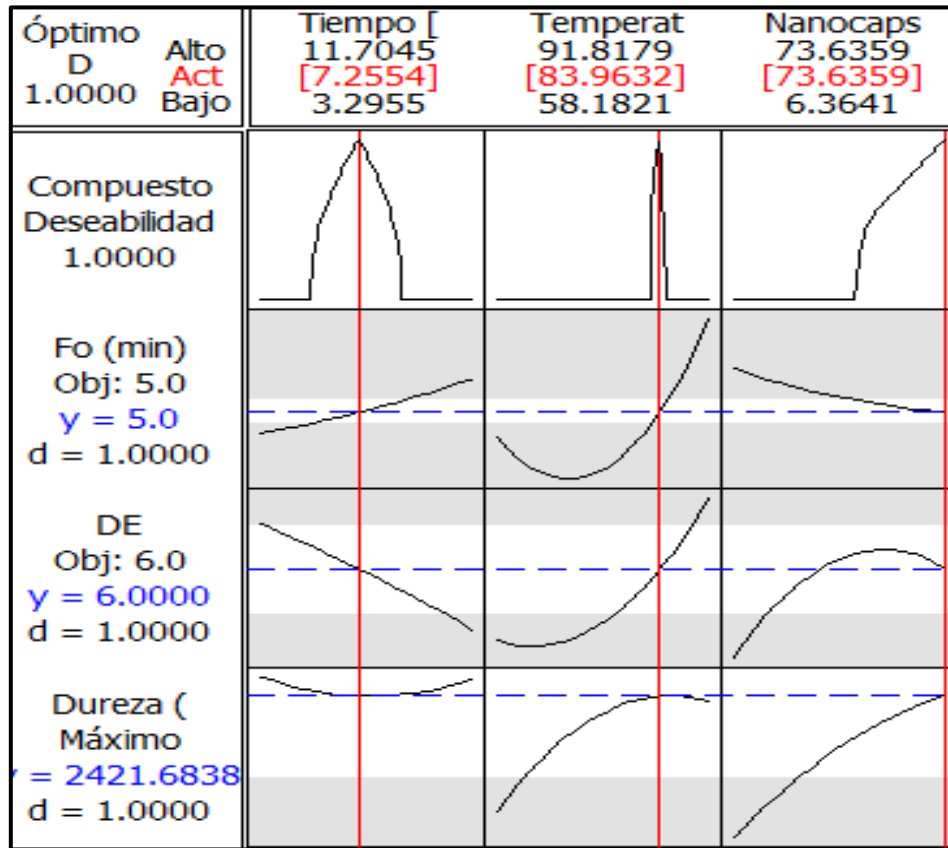


Figura 23 Prueba de deseabilidad para la optimización de escaldado de zanahoria

Condiciones óptimas obtenidas para el proceso de escaldado con nanopartículas

Tiempo de escaldado: 7.26 min

Temperatura del medio de escaldado: 83.96 °C

Concentración de nanocápsulas: 73.66 µg/mL

3.7 ESTUDIO COMPARATIVO

Para el contraste de resultados se realizaron pruebas a las condiciones óptimas obtenidas mediante el diseño central compuesto para comprobar que el uso de un medio con un polímero de alto peso molecular y conteniendo nanocápsulas de antioxidante efectivamente tenía un efecto significativo sobre los parámetros texturales y colorimétricos.

Colorimetría de la zanahoria con y sin tratamiento

Los parámetros obtenidos de a^* y b^* en zanahorias se sitúan en un espacio naranja dentro del diagrama de cromaticidad sin embargo, en zanahorias escaldadas únicamente con agua se aprecia una diferencia mayor con respecto a las que no tienen tratamiento y a las que fueron escaldadas con nanocápsulas de β -Caroteno. En cuanto a la luminosidad se observa una variación mayor con respecto a las zanahorias sin tratamiento y a las zanahorias procesadas térmicamente, el valor de luminosidad disminuyó debido a que al utilizar nanocápsulas de β -Caroteno se intensificó el color naranja y al penetrar de la superficie hacia el centro térmico el color se homogenizó.

Tabla 11 Tabla comparativa de los parámetros L, a^* y b^* para las condiciones óptimas.

Coordenadas	Sin tratamiento	Condiciones óptimas con agua	Condiciones óptimas con nanocápsulas
L	59.75	50.58	49.65
a^*	26.41	21.63	23.48
b^*	36.39	33.82	37.20

Textura en zanahoria con y sin tratamiento.

En la figura 24 se muestra el análisis de perfil de textura en el cual se compara tanto el perfil que muestra una zanahoria sin tratamiento previo (control) como a las condiciones de operación óptimas determinadas durante el presente estudio. A estas condiciones se

realizaron pruebas utilizando nanocápsulas de β -Caroteno en un medio de CMC y utilizando únicamente agua. Se puede observar que las zanahorias escaldadas en un medio donde se utilizó únicamente agua, la carga necesaria para comprimirla es mucho menor que en los otros dos casos debido a un mayor reblandecimiento del tejido de la zanahoria después del tratamiento térmico, esto comprobó que el uso de nanocápsulas de β -Caroteno realmente ofrece un beneficio y un cambio significativo en la textura de la zanahoria.

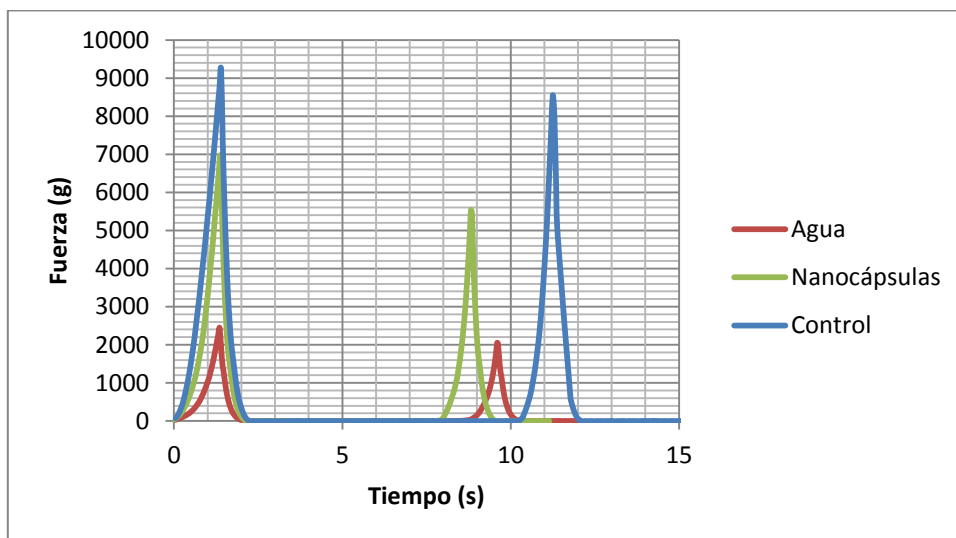


Figura 24 Análisis de perfil de textura a las condiciones óptimas con medio de calentamiento agua y CMC con nanocápsulas de β -caroteno

Cuantificación de β -caroteno nanoencapsulado en el medio de escaldado

La cuantificación de nanocápsulas de β -caroteno en el medio de escaldado se realizó mediante mediciones espectrofotométricas las cuales indicaron que la mayor pérdida de antioxidante fue de 6 % lo cual permite la reutilización de la dispersión de CMC. En cuanto a las muestras escaldadas con medio viscoso no se obtuvo liberación de β -caroteno debido a que el antioxidante migraba de la superficie del recubrimiento realizado durante el procesamiento hacia el centro del cubo de zanahoria, lo cual para estudios posteriores es benéfico ya que se asegura la mayor biodisponibilidad de este agente ante el consumo o posteriores tratamientos como la congelación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación estadística de la Metodología de Superficie de Respuesta permitió establecer las mejores condiciones de operación del proceso de escaldado de zanahoria, generalmente éste proceso se lleva a cabo en la industria con agua, la diferencia de este estudio fue la implementación del uso de la nanotecnología ya que el proceso de escaldado se llevó a cabo en un medio de CMC con nanocápsulas de β -Caroteno, se demostraron los beneficios que éstas dieron a las zanahorias después del tratamiento térmico disminuyendo la pérdida de color y textura de la zanahoria pero sin dejar de tomar en cuenta el objetivo del escaldado que es la inactivación enzimática, en este caso de la enzima Peroxidasa.

En la primera etapa de la elaboración de las nanocápsulas de β -Caroteno mediante el método de emulsificación-difusión se demostró que las nanopartículas cumplen con las características de tamaño, índice de polidispersión y potencial ξ indicadas por Quintanar-Guerrero y col. en 1998 y optimizado para activos alimenticios por Zambrano-Zaragoza y col. en 2011 mediante un análisis morfológico del sistema.

Como se esperaba, el factor que tuvo una mayor influencia en el Calor letal Suministrado (F_0) fue la temperatura y con un menor efecto la concentración de nanocápsulas de β -Caroteno en concentraciones elevadas por la influencia de éstas en la transferencia de calor del medio a la zanahoria.

Los resultados en cuanto a los cambios en color después del tratamiento térmico mostraron que las nanocápsulas de β -Caroteno tuvieron un efecto positivo debido a que impidieron la degradación del antioxidante presente en la zanahoria durante el proceso y adicionaron el antioxidante contenido en las nanocápsulas por difusión de la superficie hacia el interior de la zanahoria logrando así un color homogéneo desde la superficie hasta el centro geométrico.

Respecto a los cambios en la textura de la zanahoria, los resultados mostraron en el estudio comparativo del proceso que utilizando nanocápsulas de β -Caroteno a las condiciones óptimas establecidas mediante Metodología de Superficie de Respuesta se logró obtener un reblandecimiento del tejido de la zanahoria mucho menor que cuando se escaldaba a las

mismas condiciones de tiempo y temperatura pero utilizando como medio únicamente agua, esto se vio reflejado en el análisis de perfil de textura.

El presente estudio tuvo como objetivo reducir los cambios no deseados que ocurren después de un tratamiento térmico como el escaldado en cuanto a valor nutricional por la degradación de antioxidante, pérdida de color y firmeza del producto. Se realizó un análisis cualitativo para determinar si después del tratamiento térmico el β -Caroteno contenido en la zanahoria migraba de la zanahoria al medio, en éste caso se utilizó ciclohexano como disolvente, como resultado se obtuvo que las zanahorias escaldadas en un medio únicamente de agua, el β -Caroteno si se difundía hacia el medio mientras que las zanahorias escaldadas con nanocápsulas de β -Caroteno no mostraron ningún cambio por lo que se concluyó que éstas formaron una capa protectora en la superficie de la zanahoria y por lo tanto se recomienda realizar un estudio cuantitativo para determinar la cantidad de β -Caroteno contenido en la zanahoria después del procesamiento térmico.

El estudio de esta nueva alternativa en el procesamiento térmico de alimentos es decir, el uso de nanotecnología es un campo muy amplio y hasta el día de hoy poco explorado por lo que este trabajo puede ser utilizado para impulsar nuevas investigaciones sobre el tema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado, A.J. (2003) "Ingeniería de la Industria Alimentaria" Volumen III Operaciones de conservación de Alimentos, Editorial Sontesis.
2. Agüeros, B. M., Esparza, C. I., González, F. C., González, N. C., Irache, G. J., Romo, H. A., (2012). Patente no. WO 2012/007628 A1. Instituto científico y tecnológico de Navarra, S.A.
3. Almeida, B. P., Zambrano, V. M. (2007). Elaboración de jugo, pasta y polvo de zanahoria. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
4. Badui S. (1999). Química de los Alimentos. Editorail Alambra. México.
5. Barreiro J.A., Sandoval A.J. (2002). Operación de Conservación de alimentos por Bajas Temperaturas. Editorial Equinoccio. Venezuela.
6. Bejo Zaden B. V., 2012. URL.
http://www.bejogt.com/web/pages/bejo_gt/products/groep.aspx?GroepID=624&GewasID=164 (14/09/2012, 20hrs, México).
7. Bello J. (2000). Ciencia Bromatológica (Principios Generales de los Alimentos). Editorial Diaz de Santos S.A.
8. Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-977.
9. Bosques E., Colina M.L. (1999). Fundamentos y aplicaciones del Procesamiento térmico de frutas y hortalizas. Editorial Acervo General.
10. Da-Wen Sun (2006). Thermal Food Processing. Editorial. New York. CRC Press,
11. De Roeck, A., Mols, J., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). Carrot texture degradation kinetics and pectin changes during thermal versus high-pressure/high-temperature processing: A comparative study. *Food Chemistry*, 120(4), 1104-1112.
12. Desroisier N., (1991). Conservación de Alimentos. Editorial Continental
13. Easy RGB Color calculator. <http://www.easyrgb.com/index.php?X=CALC>
14. FAO, 2006. URL
http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/equipos/EQP15.htm

15. FAO/OMS [Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación /Organización Mundial de la Salud] 2011. Reunión Conjunta FAO/OMS de Expertos acerca de la Aplicación de la Nanotecnología en los Sectores Alimentario y Agropecuario: Posibles Consecuencias para la Inocuidad de los Alimentos: Informe de la Reunión. Roma. 144 páginas.
16. Fennema, O. R. (2000). *Química de los Alimentos*. (2ed.) España. Editorial Acribia.
17. Fritz Baltutat. "Measuring the Color of Food". Konica Minolta, <http://konicaminolta.us>
18. Gallardo, M. A. (2004). Validación experimental de un software asistido por internet para describir el proceso combinado Escaldado-Hidrogenfriado en floretes de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var itálica). Tesis de licenciatura. Universidad Austral de Chile.
19. Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Soria, A. C., & Villamiel, M. (2012). Effects of conventional and ultrasound blanching on enzyme inactivation and carbohydrate content of carrots. *European Food Research and Technology*, 234(6), 1071-1079.
20. García de Souza, M., Rocha, B., Gallo, A., Galván, G., Borges, A., Zaccari, F. (2012). Comportamiento agronómico y calidad de poblaciones locales de zanahoria en el sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, vol. 16 1:86-96.
21. Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581.
22. González-Reza R. M. (2012). Optimización energética y cinética del proceso de pasteurización de un fluido modelo en un intercambiador de superficie raspada. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
23. Heldman, D.R. (2007). Handbook of food engineering, 2° ed. Editorial CRC Press, New York.
24. INFOAGRO, 2012. URL. <http://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm> (14/09/2012, 20hrs, México)
25. Jimenez E. (1993). Utilización de la Enzima Lipoxigenaza y Peroxidasa como Indice en el Blanqueado de Espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L). Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

26. Jiménez, M. E., Zambrano, M. L., Aguilar, M.R. (2004). Estabilidad de Pigmentos en Frutas Sometidas a Tratamiento con Energía de Microondas. *Información Tecnológica*, vol. 15 No. 3.
27. Katsaboxakis K.S (1984). "The Consequences of Varying Degrees of Blanching on the Quality of Frozen Green Beans" Thermal Processing and quality of Foods. Inglaterra.
28. López N.M. (2003). Influencia de la Concentración Enzimática Inicial en la Cinética de Desactivación Térmica de Peroxidasa comercial. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile.
29. Mora-Huertas, C. E., Fessi, H., & Elaissari, A. (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 385(1-2), 113-142.
30. Myers, R. H., Montgomery, D. C. (2002). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Design Experiments* (2nd ed.) New York.
31. Neri, L., Hernando, I. H., Pérez-Munuera, I., Sacchetti, G., & Pittia, P. (2011). Effect of blanching in water and sugar solutions on texture and microstructure of sliced carrots. *Journal of Food Science*, 76(1), E23-E30.
32. Pérez C. (2010) Estudio comparativo de la deshidratación de cubos de zanahoria en lecho por fuente de una y dos etapas. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de ciencias Biológicas IPN.
33. Piloña, E. (1983). Tecnología de las Conservas de Frutas y Vegetales. Primera Parte. Editorial Pueblo y Educación.
34. Poulsen K.P. (1986). Optimization of Vegetables Blanching *Food Technology* 40 (6).
35. Quintanar-Guerrero, D., Allémann, E., Doelker, E., & Fessi, H. (1998). Preparation and characterization of nanocapsules from preformed polymers by a new process based on emulsification - diffusion technique. *Pharmaceutical Research*.
36. Quintanar-Guerrero, D., Zambrano-Zaragoza, M. L., Gutiérrez-Cortez, E., & Mendoza-Muñoz, N. (2012). Impact of the emulsification-diffusion method on the development of pharmaceutical nanoparticles. *Recent Patents on Drug Delivery and Formulation*, 6(3), 184-194.
37. Rastogi, N. K., Nguyen, L. T., & Balasubramaniam, V. M. (2008). Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 541-547.

38. Rejano, L., Sánchez, A. H., Montaña, A., Casado, F. J., & de Castro, A. (2007). Kinetics of heat penetration and textural changes in garlic during blanching. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 465-471.
39. Rocha-Villalpando, M. A. (2011). Liberación de β -Caroteno Nanoencapsulado en melón *cantaloupe* fresco cortado en refrigeración. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
40. Rodriguez-Amaya D. (1999). Carotenoides y Preparación de Alimentos: La Retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos Preparados, Procesados y Almacenados. *Universidad Estatal de Campinas. Campinas, SP., Brasil*.
41. Sanjuán, N., Hernando, I., Lluch, M. A., & Mulet, A. (2005). Effects of low temperature blanching on texture, microstructure and rehydration capacity of carrots. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12), 2071-2076.
42. Schmidt-Hebbel H., Pennacchiotti I. (1982). Las enzimas en los alimentos. Editado por Fundación Chile. Santiago, Chile.
43. Shivhare, U. S., Gupta, M., Basu, S., & Raghavan, G. S. V. (2009). Optimization of blanching process for carrots. *Journal of Food Process Engineering*, 32(4), 587-605.
44. Uquiche, C. E., Cisneros-Zevallos, L. Efecto del escaldado y recubrimiento higroscópico sobre la calidad de zanahorias (*Daucus carota* var. Chantenay) precortadas durante el almacenamiento. *ALAN [online]*. 2002, vol.52, n.2 [citado 2013-02-22], pp. 187-192.
45. URL.http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Equipos/EQP15.htm (14/09/2012, 20hrs, México)
46. Van Boekel, M. A. J. S. (2009). Kinetic modeling of reactions in foods. USA: CRC
47. Venegas, C. (1994). Evaluación del comportamiento de dos cultivares de arvejas chinas (*Pisum sativum* L.) al proceso de escaldado y congelado. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile.
48. Williams D.C., Lim M.H., Chen A.O., Pangborn R.M., Whitaker J.R., (1986). Blanching of Vegetables for Freezing Which Indicator Enzyme to Choose. *Food Technology*. 40 (69: 130-139p.).

49. Zambrano, M. L., Rodríguez, D. B., Álvarez, A. (2007). Estudio cinético y de Superficie de Respuesta para la Rehidratación de Zanahorias (*Daucus carota*) Liofilizadas. *Información Tecnológica*, vol. 18(4), 47-56.
50. Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado-Silva, E., Del Real L., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M.A., Quintanar-Guerrero, D., (2013a). The effect of nano-coatings with α -Tocopherol and Xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “Red Delicious” apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
51. Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado-Silva, E., Gutiérrez-Cortez, E., Castaño-Tostado, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT - Food Science and Technology*, 44(6), 1362-1368.
52. Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado-Silva, E., Ramírez-Zamorano, P., Cornejo-Villegas, M.A., Gutiérrez-Cortez, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2013b). Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. *Food Research International* 51, 946–953.