



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

“Deshidratado convencional por aire forzado de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y zanahoria (*Daucus carota*), evaluación del efecto en las propiedades físicas y nutraceuticas”.

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

**Ingeniero Agroindustrial**

Presenta:

María Dolores Sánchez Castañón

Dirigida por:

Dra. Margarita Contreras Padilla

---

C.U. Santiago de Querétaro, Qro., Marzo de 2015.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERIA

“Deshidratado convencional por aire forzado de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y zanahoria (*Daucus carota*), evaluación del efecto en las propiedades físicas y nutracéuticas”.

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el obtener el título de:

**Ingeniero Agroindustrial**

Presenta:

María Dolores Sánchez Castañón

Dirigida por:

Dra. Margarita Contreras Padilla

**SINODALES**

Dra. Margarita Contreras Padilla

Presidente



Firma

Dra. Elsa Gutiérrez Cortez

Secretario



Firma

MC. Adán Mercado Luna

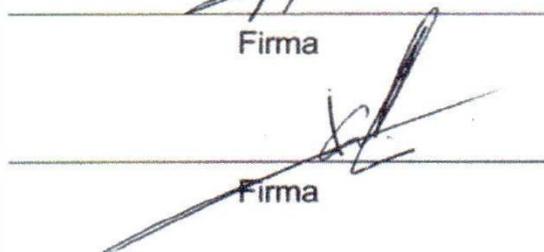
Vocal



Firma

MC. Arturo Arana Juaristi

Suplente



Firma

C.U. Santiago de Querétaro, Qro., Marzo de 2015.

## RESUMEN

México ocupa el 10° lugar en la producción mundial de zanahoria y jitomate, ambos son ricos en antioxidantes y carotenoides,  $\beta$ -caroteno y licopeno respectivamente, por lo que su consumo ha ido en aumento desde los últimos 10 años. Sin embargo, estas hortalizas sufren bastantes pérdidas en los centros de producción durante su cosecha, almacenamiento y procesamiento debido a la falta de tecnología para su adecuado manejo. Ambas hortalizas son ampliamente utilizadas en la industria de alimentos, principalmente deshidratadas por ser fácilmente manipulables y por sus amplios usos. Por lo anterior, se han realizado algunos trabajos de deshidratado de hortalizas, con la finalidad de encontrar las mejores condiciones de proceso para su adecuada conservación. Este trabajo se desarrolló con el propósito de evaluar las propiedades físicas y nutraceuticas de zanahoria y jitomate deshidratados a 50 °C y 60 °C en un secador convencional a una velocidad de aire de 2 m/s y poder establecer las condiciones óptimas de la operación con el mejor color y el mayor aporte nutricional. Las muestras de ambos productos fueron rebanadas de 4 mm de espesor, cosechados en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde la zanahoria fue sometida a un pre-tratamiento de escaldado a 95 °C durante 3 minutos. Las variables analizadas fueron humedad, color,  $\beta$ -caroteno para zanahoria y licopeno para jitomate, además se construyeron las curvas de deshidratado. Los resultados indican que las mejores condiciones para deshidratar zanahorias son la temperatura de 50 °C, con pre-tratamiento de escaldado, ya que con éstas se conserva el mayor contenido de  $\beta$ -caroteno, perdiendo solo un 17% en comparación con el resto de los tratamientos. Por su parte, la mejor condición para deshidratar jitomate fue la temperatura de 60 °C, ya que se tuvo un ahorro del 39% de tiempo en el proceso, lo cual se traduce en un considerable ahorro de energía.

**Palabras Clave:** Deshidratado convencional, Propiedades físicas y nutraceuticas, *Solanum lycopersicum* L. y *Daucus carota*

## SUMMARY

Mexico ranks 10th in world production of carrot and tomato, both are rich in antioxidants and carotenoids,  $\beta$ - carotene and lycopene respectively, so their consumption has increased since the last 10 years (SAGARPA, 2012). However, these vegetables suffer many losses in production centers along the harvest, storage and processing due to their nature, the lack of technology for their proper handling. Both vegetables are widely used in the food industry, mainly dehydrated by their easy manipulation and wide applications. Therefore, there have been works about dehydrated vegetables, in order to find the best dehydrated conditions for their proper conservation. This work was developed with the purpose of evaluating the physical and nutraceutical properties of carrot and tomato dried at 50 °C and 60 °C in a conventional dryer at 2m / s in order to determine the best operational conditions with the best color and greater nutritional value. Samples of both products were harvest at Campus Amazcala of the Universidad Autónoma de Querétaro, then the products were slices of 4 mm thick. The carrot was subjected to blanching at 95 °C. The variables analyzed were moisture, color,  $\beta$ -carotene for carrot and tomato from lycopene, also dehydrated curves were done. The results indicate that the best condition to be dehydrated carrots is 50 ° C, with blanching treatment, due in these conditions that best protects the content of  $\beta$ -carotene, losing only 17% compared with the rest of treatments. On the other hand, the best condition for dehydrating tomato temperature was 60 ° C, with a 39% of reduction of dry time, this fact will save time in dry operation, which translates to significant energy saving.

**Keywords:** Conventional dehydrated, physical and nutraceutical properties, *Solanum lycopersicum* L. y *Daucus carota*

## DEDICATORIAS

A Dios

A mi querido Cris

A mi madre, Adriana

A todos mis hermanos, sobre todo a Vicente que ya no está con nosotros

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, sobre todo a mi mamita, que me dio la libertad para hacer y deshacer cada que quise, depositando en mí su confianza y esperanza. A mi querido Cris por su confianza, amor y apoyo. A mis hermanos, sobre todo a mis hermanas, Ana y Adriana que siempre tuvieron confianza en mí, y que me apoyaron en todo lo que estuvo en sus manos.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, a la Facultad de Ingeniería y al cuerpo docente que me acogió y dirigió con honestidad. Por haberme dado la oportunidad de dirigir mi primer proyecto de desarrollo comunitario con FOPER 2012. A mis maestros que siempre se comprometieron con mi aprendizaje, así fuera más complicado su traslado hasta el Campus o no contaran con las herramientas suficientes para enseñarnos las clases, enseñándome más que una clase, la confianza para nunca rendirme y buscar siempre opciones y soluciones ante las adversidades; recordando más que nada a la Dra. Elsa, al maestro Adán y a la maestra Elvia.

A mis amigos y compañeros que hicieron más amenos los días de angustias y desvelos, sobre todo a Alma, por compartir muchas cosas de esas conmigo.

A mis sinodales la Dra. Elsa, el Maestro Arturo, Adán y a mi directora Margarita, por guiarme y apoyarme en este proceso.

Agradezco el apoyo económico otorgado por Cadena de Ayuda, quien hizo posible este éxito en mi vida, al apoyo de CONACYT a través del proyecto FOMIX "Proceso analítico del mejoramiento de la cadena de valor del tomate deshidratado" durante el desarrollo de mi tesis. También por el apoyo dado a través del proyecto Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación UAQ-2012 (FOFI-UAQ 2012) "Desarrollo de la tecnología para la extracción de aceite de higuierilla para la producción de biocombustible de segunda generación".

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Zanahoria.....	3
2.1.1 Descripción de la hortaliza.....	3
2.1.2 Importancia nutrimental.....	4
a) $\beta$ -caroteno.....	6
b) Niveles de ingesta y recomendaciones.....	7
2.1.3 Producción nacional e internacional de zanahoria.....	8
2.1.4 Problemática de conservación de la zanahoria.....	9
2.2 Jitomate.....	10
2.2.1 Descripción de la hortaliza.....	10
2.2.2 Importancia nutrimental.....	11
a) Niveles de ingesta y recomendaciones.....	13
b) Licopeno.....	13
2.2.3 Producción nacional e internacional.....	15
2.2.4 Problemática de conservación del jitomate.....	15
a) Carotenoides.....	17
b) Estructura de los carotenoides.....	21

c) Presencia y distribución .....	21
d) Propiedades físicas, extracción y análisis .....	22
e) Actividad antioxidante .....	23
f) Estabilidad durante el procesado .....	24
2.3 Secado .....	25
2.3.1 Definición de secado .....	25
2.3.2 Tipos de secadores .....	26
a) Secador de bandejas .....	26
b) Secadores indirectos al vacío con anaqueles .....	27
c) Secadores continuos de túnel.....	28
d) Secadores rotatorios.....	29
e) Secadores por aspersion .....	30
f) Secadores solares .....	31
2.3.3 Teoría del secado.....	32
a) El secado como operación unitaria .....	32
b) Cinética de secado .....	33
c) El estado de agua en los alimentos .....	33
d) Periodos del proceso de secado .....	34
e) Curvas de secado.....	36
f) Mecanismos de movimiento de la humedad .....	38
2.3.4 Factores que intervienen en el proceso de secado.....	39
a) Temperatura del aire.....	39
b) Humedad relativa del aire .....	40
c) Propiedades termodinámicas del aire atmosférico .....	41

d) Velocidad del aire .....	42
2.4 Deshidratado de hortalizas .....	42
2.4.1 Deshidratado de zanahoria y jitomate.....	43
2.4.2 Deshidratado de pimiento para pimentón .....	46
2.5 Efecto del deshidratado en la calidad del jitomate y zanahoria .....	46
2.5.1 Efecto del deshidratado en jitomate.....	47
a) El color en el jitomate.....	47
b) Licopeno.....	48
2.5.2 Efecto del deshidratado en zanahoria .....	49
a) Textura .....	50
b) Color.....	51
c) Valor nutritivo.....	51
2.6 Descripción del problema.....	52
2.7 Justificación .....	55
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	58
3.1 Objetivo general.....	58
3.2 Objetivos particulares .....	58
3.3 Hipótesis.....	59
IV. METODOLOGÍA .....	60
4.1 Procedimiento general .....	60
4.2 Materiales, equipos y reactivos .....	60
4.3 Características del deshidratador convencional .....	61
3.4 Obtención del jitomate y la zanahoria .....	62
4.5 Selección y preparación del material biológico.....	63

4.5.1 Jitomate.....	63
4.5.2 Zanahoria .....	64
a) Pre-tratamiento de escaldado .....	65
4.6 Deshidratado de jitomate y zanahoria .....	66
4.7 Curvas de secado .....	66
4.8 Determinación de humedades, método por secado de estufa.....	67
4.9 Extracción y cuantificación de licopeno, método espectrofotométrico .....	67
4.10 Extracción y cuantificación de $\beta$ -caroteno, método espectrofotométrico.....	69
4.11 Estimación de color .....	71
4.12 Análisis estadístico .....	74
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
5.1 Cinética de deshidratado de las diferentes condiciones .....	75
5.1.1 Curvas de humedad en el deshidratado de zanahoria y jitomate.....	75
a) Zanahoria.....	75
b) Jitomate.....	77
5.1.2 Curvas de velocidad de deshidratado en función de la humedad de la zanahoria y jitomate .....	79
a) Zanahoria.....	79
b) Jitomate.....	81
5.2 Contenido de humedad.....	82
5.2.1 Humedad en jitomate .....	82
5.2.2 Humedad en zanahoria .....	83
5.3 Contenido de licopeno .....	84
5.4 Contenido de $\beta$ - caroteno .....	85
5.5 Color.....	87

5.5.1 Color en jitomate .....	87
a) Valor de Luminosidad (L) .....	87
b) Valor de Cromaticidad (C).....	89
c) Valor de Matiz (h°) .....	89
5.5.2 Color en zanahoria .....	91
a) Valor de Luminosidad (L) .....	91
b) Valor de Cromaticidad (C).....	92
c) Valor de matiz (h°) .....	93
VI. CONCLUSIONES .....	95
6.1 Zanahoria .....	95
6.2 Jitomate.....	96
VII. LITERATURA CITADA .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diversas variedades de zanahoria .....	3
Figura 2. Estructura del $\beta$ -caroteno (amarillo) de las zanahorias. ....	7
Figura 3. Jitomate Saladette .....	11
Figura 4. Estructura del licopeno.....	14
Figura 5. Estructura del retinol. ....	19
Figura 6. Estructuras químicas de $\alpha$ -, $\beta$ - y $\gamma$ -caroteno, $\beta$ -criptoxantina, licopeno, luteína y zeaxantina .....	20
Figura 7. Degradación del todo-trans- $\beta$ -caroteno .....	25
Figura 8. Secador de bandejas o anaqueles .....	27
Figura 9. Secadores continuos de túnel: a) secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente, b) secador de banda transportadora con circulación forzada.....	29
Figura 10. Diagrama esquemático de un secador rotatorio con calentamiento directo .....	30
Figura 11. Diagrama de flujo para una unidad de secado por aspersion.....	31
Figura 12. Periodos presentes en el proceso de secado.....	35
Figura 13. Curva de velocidad de secado .....	37
Figura 14. Etapas del movimiento de la humedad en un poro.....	39
Figura 15. Cinética de secado de tomate con diferentes porcentajes de humedad relativa .....	41
Figura 16. Efecto del calentamiento sobre la degradación del licopeno .....	49
Figura 17. Parte de la producción inicial que se pierde o desperdicia en las diferentes etapas de la Cadena de Suministro de Alimentos de frutas y hortalizas en diferentes regiones.....	54

Figura 18. Diagrama a bloques de la metodología experimental .....	60
Figura 19. Deshidratador convencional empleado para el desarrollo del experimento en Campus Amazcala UAQ .....	62
Figura 20. Jitomate cosechado en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.....	63
Figura 21. Cosecha de Zanahorias en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.....	65
Figura 22. Jitomate y zanahoria rebanados a 4mm de espesor .....	65
Figura 23. Extracción de licopeno .....	68
Figura 24. Estimación de absorbancias.....	69
Figura 25. Preparación y extracción de b-caroteno .....	71
Figura 26. Molido de muestras deshidratadas de jitomate y zanahoria .....	72
Figura 27. Representación del espacio cromático cilíndrico CIE-L*C*h° (a veces identificado esférico) .....	73
Figura 28. Humedad en función del tiempo en el deshidratado de zanahoria, (a) sin escaldar a 50 ° C, (b) con escaldado a 50 °C .....	75
Figura 29. Humedad en función del tiempo en el deshidratado de zanahoria, (a) sin escaldar y (b) escaldada a 60 °C .....	76
Figura 30. Humedad en función del tiempo en el deshidratado (a) Jitomate deshidratado a 50 °C (b) jitomate deshidratado a 60 °C.....	78
Figura 31. Velocidad de deshidratado en función de la humedad de la zanahoria (a) sin escaldado a 60 °C y (b) con escaldado a 60 °C .....	79
Figura 32. Humedad contra velocidad de deshidratado en zanahoria (a) sin escaldar a 50 °C. (b) escaldado a 50 °C .....	80
Figura 33. Velocidad de deshidratado en función a la humedad (a) jitomate deshidratado a 50 °C (b) jitomate deshidratado a 60 °C.....	81

Figura 34. Porcentaje de humedad para cada tratamiento en jitomate.....	82
Figura 35. Porcentaje de humedad en zanahoria para cada tratamiento en zanahoria.....	83
Figura 36. Valores de contenido de Licopeno por cada tratamiento (mg/100g de materia seca) .....	85
Figura 37. Valores de contenido de $\beta$ -caroteno por cada tratamiento (mg/100g de materia seca) .....	86
Figura 38. Valores de luminosidad (L) en jitomate sometido a diferentes tratamientos .....	88
Figura 39. Valor de croma (C) en jitomate sometido a diferentes tratamientos .....	89
Figura 40. Valor del matiz ( $h^\circ$ ) en jitomate sometido a diferentes tratamientos .....	90
Figura 41. Valor de Luminosidad en zanahoria a diferentes tratamientos .....	91
Figura 42. Valor de Croma en zanahoria sometido a diferentes tratamientos .....	92
Figura 43. Valor del matiz en zanahoria sometido a diferentes tratamientos .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional de la zanahoria en 100 g de sustancia comestible5 .....	5
Tabla 2. Valor nutricional de jitomate en 100 g de sustancia comestible .....	12
Tabla 3. Carta de color de la USDA.....	64

## I. INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas juegan un papel muy importante en la alimentación del hombre, ya que contienen vitaminas, minerales, fibra, antioxidantes y carbohidratos esenciales para su alimentación. Su cultivo a gran escala constituye un sector importante de la economía de muchos países. Sin embargo, no se encuentran disponibles durante todo el año ni en todas las regiones, además algunos son altamente perecederos, por lo que se han buscado métodos que permitan conservar sus nutrientes y propiedades por un periodo mayor de tiempo. La zanahoria y el jitomate, en particular, juegan un papel muy importante en la nutrición debido a que son fuentes ricas en carotenoides ( $\beta$ - caroteno y licopeno respectivamente). Los carotenoides son antioxidantes que protegen al ser humano de enfermedades crónicas como algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades degenerativas de la vista como las cataratas, también contribuyen al fortalecimiento de piel y huesos y son protectoras del sistema inmunológico.

La producción mundial de zanahoria ha aumentado un 50 % en los últimos 10 años, lo cual demuestra que cada día este tipo de alimentos son más demandados por los consumidores al preferir alimentos naturales ricos en carotenoides. Por su parte, el jitomate ocupa el segundo lugar de importancia respecto a las hortalizas que más se consumen en el mundo, a nivel internacional, México es el principal exportador de jitomate con un volumen de 1.3 millones de toneladas.

Actualmente, existen muchas pérdidas de hortalizas en los centros de producción de alimentos debido al corto periodo de vida útil durante su almacenamiento. La conservación de ambas hortalizas ha representado un problema debido a su sensibilidad a ciertos rangos de temperatura, intensa actividad respiratoria y sensibilidad a la deshidratación. El jitomate sufre daños por las características de sus tejidos, por la alta humedad que contiene, la acción del etileno, podredumbres, daños mecánicos y fisiológicos e incluso por su elevado

punto de congelación ( $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). La zanahoria presenta problemas cuando se conserva directamente en campo para lo cual necesita inviernos fríos, de lo contrario la pérdida de calidad es importante a causa del aumento de calibre y fibrosidad. Por lo anterior, en la actualidad se ha incrementado el uso de cámaras de enfriado que son altamente eficientes para la conservación de un gran número de hortalizas, pero que representan una gran inversión económica. Otra opción para conservar las hortalizas es darles un valor agregado sometiéndolas al deshidratado, método que no siempre requiere de una gran inversión, por ejemplo el deshidratado solar. El jitomate y la zanahoria deshidratados se pueden utilizar en bastantes productos alimenticios, como polvos, salsas, aderezos, botanas, dips, sazonadores, semielaborados y complementos nutritivos.

Actualmente se han realizado algunos trabajos de deshidratado de jitomate y zanahoria, sometiéndolas a distintas temperaturas, diferentes pre-tratamientos, diferentes condiciones de velocidad de aire, entre otras. Los parámetros que más se han evaluado son color, olor, textura, pH, humedad y propiedades nutraceuticas, principalmente contenido de carotenoides antes y después del deshidratado.

En el presente trabajo se realizó el deshidratado de jitomate y zanahoria cosechados en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, a dos temperaturas,  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la zanahoria se evaluó deshidratada a ambas temperaturas pero, además, con y sin el pre-tratamiento de escaldado. Posteriormente, se elaboraron y analizaron las curvas de deshidratado del proceso y se evaluó el efecto de ambas temperaturas en el contenido de humedad, licopeno en jitomate y  $\beta$ - caroteno en zanahoria y color antes y después del deshidratado; adicionalmente, en las zanahorias se evaluó el efecto protector del pre-tratamiento de escaldado. Esto con la finalidad de determinar las condiciones más adecuadas para el proceso de deshidratado teniendo como criterio que el producto conserve la mayor parte de sus propiedades nutrimentales y fisicoquímicas al final del proceso. Cabe destacar que este estudio es el primero que se realiza con hortalizas cultivadas en el Campus Amazcala de la UAQ y que servirá de base para el procesamiento y conservación de dichos productos.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Zanahoria

#### 2.1.1 Descripción de la hortaliza

La zanahoria (*Daucus carota* L. ssp.) pertenece a la familia de las Umbelliferae y es originaria del centro asiático y del Mediterráneo. El término castellano “Zanahoria”, tiene su origen en la palabra árabe "Isfannariya" debido a que se cree que fueron ellos quienes la introdujeron primero en España. La denominación *Daucus* deriva del griego “dukos” que significa “yo irrito, enciendo”, alusivo al color preferente de su raíz (Sánchez-Robles, 2000). Actualmente son cultivadas numerosas variedades con distintos propósitos: unas aptas para el procesamiento industrial y otras recomendadas para el consumo fresco.

Las primeras zanahorias eran blancas, violetas y amarillas. La zanahoria que se conoce hoy fue desarrollada por los holandeses en el siglo XVII, es a partir de esta época cuando comienzan las primeras plantaciones en América. En la Figura 1 se presentan diversas variedades de zanahoria usadas en el mundo.



Figura 1. Diversas variedades de zanahoria.

En el siglo XIX el descubrimiento de las vitaminas (fundamentalmente el de la vitamina A) en las zanahorias y otros vegetales, hicieron que adquiriera una gran importancia en la alimentación; siendo estos útiles para la prevención de la ceguera nocturna. La vitamina A también es buena para las uñas, el pelo y la piel (Sánchez-Robles, 2000).

El cultivo de zanahoria requiere de climas templados y húmedos con iluminación no muy intensa, es una planta que se puede adaptar a condiciones desfavorables, se cultiva en suelos ligeros profundos, frescos y ricos en materia orgánica. El óptimo de temperaturas para su desarrollo fluctúa entre 16 a 20 °C; con temperaturas promedio inferiores a 10 °C o superiores a 28 °C, se afecta de manera significativa el color, produciéndose raíces muy descoloridas con corazón leñoso de color amarillento, dándoles una presentación muy pobre, además de alteraciones en su forma. Su maduración se completa aproximadamente entre los 105 y los 145 días después de su siembra (Seminis, 2003).

### **2.1.2 Importancia nutrimental**

La zanahoria tiene un pH que varía ente 4.90 a 5.20, posee un elevado poder energético (40cal/100g). Contiene una buena cantidad de ácidos orgánicos, en especial málico, sales minerales, y vitaminas entre las que se destaca el caroteno.

Es apreciada en la alimentación por sus propiedades organolépticas textura, sabor, color, olor, y por su valor nutritivo, especialmente por su alto contenido de  $\beta$ -caroteno que se convierte en vitamina A en el cuerpo humano (González-Díaz, 2007). Cada molécula de caroteno que se consume es convertida en dos moléculas de vitamina A (Ladrón de Guevara, 2004). En general se caracteriza por un elevado contenido en agua y bajo contenido en lípidos y proteínas. Debido a lo anterior, es uno de los vegetales que producen más efectos benéficos en el organismo humano, además de contener otros nutrientes

que le confieren un gran valor nutricional. En la tabla 1 se presenta el valor nutricional de 100 gramos de sustancia comestible de zanahoria.

Tabla 1. Valor nutricional de la zanahoria en 100 g de sustancia comestible.

Composición nutricional	Fresca	cocinada	deshidratada	enlatada
<b>Proximales</b>				
Agua (g)	88.29	0.17	4	92.99
Energía (kcal)	41	5	341	23
Proteínas (g)	0.93	.76	8.1	0.59
Grasas totales (g)	0.24	.18	1.49	0.14
Carbohidratos por diferencia (g)	9.58	.22	79.5 7	5.36
Fibra dietética total (g)	2.8	3	23.6	1.8
Azúcares totales (g)	4.74	.45	38.8 2	2.46
<b>Minerales</b>				
Calcio, Ca (mg)	33	0	212	31
Fierro, Fe (mg)	0.3	.34	3.93	0.52
Manganesio, Mg (mg)	12	0	118	9
Fósforo, P (mg)	35	0	346	20
Potasio, K (mg)	320	35	254 0	158
Sodio, Na (mg)	69	8	275	34
Zinc, Zn (mg)	0.24	.2	1.57	0.29
<b>Vitaminas</b>				
Vitamina C, ácido ascórbico total (mg)	5.9	.6	14.6	2
Tiamina (mg)	0.066	.066	0.534	0.019
Riboflavina (mg)	0.058	.044	0.417	0.027
Niacina (mg)	0.983	.645	6.567	0.421
Vitamina B-6 (mg)	0.138	.153	1.04	0.112
Vitamina B-12 (µg)	19	14	55	8
Vitamina A, RAE (µg)	0	0	0	0
Vitamina A (IU)	835	852	3423	558
Vitamina E (alfa-tocoferol) (mg)	16706	17033	68466	11170
Vitamina D (D2 + D3) (µg)	0.66	1.03	5.45	0.73
Vitamina D (IU)	0	0	0	0
Vitamina K (filoquinona) (µg)	0	0	0	0

Lipidos	13.2	13.7	108	9.8
Ácidos grasos saturados totales (g)				
Ácidos grasos monoinsaturados totales (g)	0.037	0.03	0.256	0.024
Ácidos grasos, poliinsaturados totales (g)	0.014	0.006	0.076	0.007
Colesterol (mg)	0.117	0.089	0.73	0.068

Fuente: USDA, s.f.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, el contenido de vitamina A (IU) es mayor en la zanahoria procesada que en la cruda, lo cual es muestra de que los carotenoides también aumentan con el contenido de esta vitamina.

Las IU significan Unidades Internacionales y se debe conocer la fuente de vitamina A para convertirla correctamente a unidades internacionales. Una unidad internacional de vitamina A equivale a 0.05 microgramos de  $\beta$ -caroteno de alimentos (Slayton, s.f.). Por lo tanto, la conversión indica que la zanahoria fresca contiene 0.12525 mg/100 g de sustancia comestible, mientras que la deshidratada supone un aumento a 0.51345 mg/100 g de sustancia comestible.

#### a) $\beta$ -caroteno

Los  $\alpha$  y  $\beta$  carotenos, son carotenoides que actúan como nutrientes antioxidantes eliminando los radicales libres y protegiendo al ADN de su acción mutagénica, contribuyendo, por tanto, a frenar el envejecimiento celular. Son los únicos carotenos que se transforman en cantidades apreciables de vitamina A en el cuerpo humano. Se almacena en el hígado y también en el tejido graso de la piel (palmas de las manos y pies principalmente).

Sin embargo, el organismo solo va convirtiendo estos carotenos en vitamina A conforme los va necesitando. Los  $\alpha$  y  $\beta$  carotenos (vitamina A) son importantes para el sistema inmune y proporcionan resistencia a la infección.

También son necesarios para el desarrollo y mantenimiento de un tejido epitelial saludable y de las membranas mucosas, como revestimiento de los pulmones, los bronquios y otros tejidos respiratorios. El tejido epitelial forma una barrera frente a las bacterias y sustancias extrañas y ayuda directamente a la

prevención de infecciones y enfermedades (González-Díaz, 2007). En la Figura 2 se presenta la estructura del  $\beta$ -caroteno.

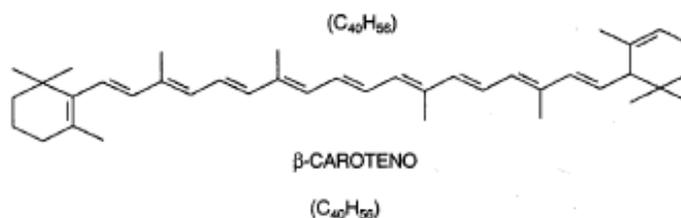


Figura 2. Estructura del  $\beta$ -caroteno (amarillo) de las zanahorias. Fuente: Von-Elbe y Schwartz, 1993.

Hernández et al. (2010) indica que el  $\beta$ -caroteno en zanahoria fresca varía de los 4.6 a 10.3 mg/100 g, siendo valores más altos que los propuestos por la USDA. Por otro lado, Vidal-Montero (2013), afirma que el contenido únicamente de  $\beta$ -caroteno en zanahoria fresca va de 1.161 hasta los 64.350 mg/100g.

### **b) Niveles de ingesta y recomendaciones**

La actividad provitamínica A de algunos carotenoides, como  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina, está ampliamente demostrada, como ya se ha comentado con anterioridad, por lo que las ingestas recomendadas de vitamina A se consideran estos carotenoides provitamínicos. Estas ingestas recomendadas están expresadas como equivalentes de retinol (ER) (1 equivalente de retinol = 1  $\mu$ g de retinol = 12  $\mu$ g de  $\beta$ -caroteno = 24  $\mu$ g de  $\alpha$ -caroteno = 24  $\mu$ g de  $\beta$ -criptoxantina). Se ha estimado que el consumo medio de vitamina A oscila entre los 744 y 811 equivalentes de retinol por día en los hombres y los 530 y 716 equivalentes de retinol por día en las mujeres. Considerando equivalentes de retinol, se estima que aproximadamente un 26% y un 34% de la vitamina A consumida por hombres y mujeres, respectivamente, es proporcionada por los carotenoides provitamínicos (Meléndez-Martínez, 2002). Una ingesta de 25 mg de  $\beta$ -caroteno se puede considerar segura para la mayoría de los adultos (Hathcock,

1997), sin embargo, aún se siguen haciendo ensayos para encontrar el valor más adecuado (Vidal-Montero, 2013).

### **2.1.3 Producción nacional e internacional de zanahoria**

La producción mundial de zanahoria se estima en 35.5 millones de toneladas (FAO, promedio 2010-2012), lo que significa un 50% de aumento sobre los 10 últimos años. China es el mayor productor, con un volumen de 17 millones de toneladas. Le sigue Rusia y los Estados Unidos (con aproximadamente 1.5 millones de toneladas cada uno) y Polonia, que es el cuarto en el mundo (800,000 toneladas); juntos producen en conjunto un poco más del 50% del total mundial; siendo los principales demandantes de zanahoria los países industrializados de Europa y América, destacándose Alemania, Bélgica, Francia, Canadá y Estados Unidos (“La producción de zanahoria del mundo,” 2014).

La zanahoria es una de las hortalizas con mayor demanda en nuestro país que, durante los últimos años, ha crecido significativamente casi en todos los renglones productivos. En México presenta un gran potencial, tanto en el mercado nacional que consume cerca de 80% de la producción en fresco, como en el de exportación, que se fundamenta en la calidad del producto, así como en las ventajas geográficas y climáticas. En 2013 en nuestro país se sembraron 13,002.2 hectáreas, produciéndose 347,540.06 toneladas. Los principales estados productores son Zacatecas, Guanajuato, Puebla y México (SAGARPA, 2013).

En el país existen alrededor de 20 mil hectáreas bajo agricultura protegida de las cuales aproximadamente 12 mil son de invernadero y las otras 8 mil corresponden a malla sombra y macro túnel principalmente.

El 50% de la superficie con agricultura protegida se concentra en cuatro estados: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%). Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son el jitomate (70%), pimienta (16%), pepino (10%). En los últimos años se ha intensificado la diversificación de cultivos como la papaya, fresa, chile habanero, flores, plantas aromáticas (SAGARPA, 2012).

Según datos de la SAGARPA entre 2006 y 2010 el volumen de producción de las hortalizas creció 8.6 por ciento en nuestro país, en comparación con el promedio del lapso 2000-2005, con un valor promedio anual de 38 mil millones de pesos. En el año 2011 el país registró una producción de 10.7 millones de toneladas de hortalizas, de las cuales 2.1 fueron de chile verde; 1.8, jitomate; 1.4, cebolla; 800 mil, nopalitos; 700 mil, elote; 600 mil, tomate verde, y 3.3 millones de otros. En la producción mundial de hortalizas, nuestro país ocupa el 2° lugar en chile y maíz verde (elote para ensalada); 4°, espárragos; 6°, coliflor; 7°, calabazas; 10°, tomate y cebolla; 18°, zanahoria, y 23°, ajo. (SAGARPA, 2012).

#### **2.1.4 Problemática de conservación de la zanahoria**

Las zanahorias con hojas se conservan durante unos pocos días, mientras que las que no contienen hoja pueden conservarse más tiempo. En general, las empresas deben realizar rápidamente la comercialización, intentando romper con la cadena de frío en el proceso desde la etapa de enfriamiento, para presentar así el producto lo más fresco posible. La conservación en campo, que consiste en dejar las zanahorias en el campo sin cosechar, necesita inviernos fríos, de lo contrario la pérdida de calidad es importante a causa del aumento de calibre y fibrosidad, así como el peligro de exposición a plagas y enfermedades. La zanahoria es una planta resistente al frío, por lo que es interesante la conservación en cámara, método cada día más utilizado, sobre todo en Francia, Países Bajos y Bélgica. La limitación principal es su elevado coste, sin embargo tiene múltiples ventajas que lo compensan, si se quiere producir una zanahoria de calidad. Mediante esta técnica el aumento de la fibrosidad de las raíces es muy bajo, hay menos ataques parasitarios que en la conservación en campo, la degradación estructural de los suelos es menor, no hay ruptura de provisiones del mercado por falta de producción y se prolonga el periodo de comercialización.

Tal como es sabido, la zanahoria sigue respirando incluso después de su recolección, y el nivel de la respiración no es constante a lo largo de su conservación; durante el primer mes de almacén, hay una reducción hasta un nivel mínimo, que dos meses más tarde se recupera, aumentando entonces el tiempo.

Así mismo la transpiración varía durante esa etapa. La pérdida de agua en forma de vapor es notable, sobre todo si la raíz no se mantiene a bajas temperaturas. En conjunto, la respiración y la transpiración provocan una pérdida de peso que pueden reducirse considerablemente manteniendo bajas temperaturas y humedades relativas elevadas durante su almacenamiento.

La conservación en cámaras se realiza mediante una temperatura de 0 a 1 °C y una humedad relativa de 95 a 98%. De este modo las zanahorias con hojas pueden conservarse de 10 a 15 días; sin hojas e inmaduras de 1.5 a 2 meses, y maduras, de 4 a 6 meses. Estudios realizados en la conservación de la zanahoria afirman que en cámaras el sabor de éstas se mantiene mejor que en campo, produciéndose sin embargo pérdidas de brillo. También, se debe tener cuidado en su refrigeración cuando se manejan las temperaturas de -1.5 a -0.3 °C, ya que las zanahorias pueden sufrir daños por congelación.

De todos modos la duración y la calidad de la conservación están en función de distintos factores referentes a la especie, las condiciones climáticas anteriores a la recolección y al cuidado en el almacenamiento (Riambau, 1998).

## **2.2 Jitomate**

### **2.2.1 Descripción de la hortaliza**

El fruto del tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) procede de una planta originaria de América del Sur, de la amplia zona andina de Chile, Bolivia, Perú y Ecuador. Botánicamente, el tomate fue descrito por primera vez por Linneo en el 1753, como *Solanum Lycopersicum* L., pero sería Miller, en 1768, quien le designaría la denominación *Lycopersicum Esculentum* Mill vigente casi hasta nuestros días. En la actualidad la nomenclatura botánica aceptada es *Solanum Lycopersicum* L. Este género pertenece a la familia de las Solanáceas, una familia importante, tanto por el número de especies que la componen (Se calcula entre 2,500 y 3, 000 especies agrupadas en 96 géneros), como por tener numerosas plantas de interés económico y medicinal.

El fruto tiene un color generalmente rojo en la maduración, aunque algunas variedades pueden presentar otras coloraciones, como verde, amarillo, violeta, etc. En la Figura 3 se muestra el jitomate *saladette* uno de los más utilizados en el mundo. Para su cultivo se requiere un clima tropical y mediterráneo, donde se cosechan desde febrero a octubre. La temperatura mínima es de 12 °C (óptima entre 18 °C -20 °C), y requiere de buena iluminación. Su maduración se completa entre 40-60 días, desde el inicio de la floración. Existen tres ciclos de producción: tomate precoz (variedades asurcadas), tomate de media estación y tomate tardío (tipo liso a canario) (Fernández-Ruiz et al., 2007).



Figura 3. Jitomate *Saladette*.

### **2.2.2 Importancia nutrimental**

El jitomate tiene bajo valor calórico (20 Kcal/ 100g), y se caracteriza por un elevado contenido de agua 90-94%, un importante contenido de azúcares solubles (fructosa, glucosa y sacarosa), menor proporción de proteínas, fibra y ácidos orgánicos (cítrico y málico) y un destacado aporte de vitaminas (A y C), carotenoides (principalmente licopeno) y elementos minerales (Fernández-Ruiz et al., 2007). En la Tabla 2 se muestra el valor nutricional del jitomate por 100 g de sustancia comestible.

Tabla 2. Valor nutricional de jitomate en 100 g de sustancia comestible.

Composición nutricional	Fresco	Cocinado	Deshidratado solar	En polvo	Enlatado
Proximales					
Agua (g)	94.52	94.34	14.56	3.06	73.5
Energía (kcal)	18	18	258	302	82
Proteínas (g)	0.88	0.95	14.11	12.91	4.32
Grasas totales (g)	0.2	0.11	2.97	0.44	0.47
Carbohidratos por diferencia (g)	3.89	4.01	55.76	74.68	18.91
Fibra dietética total (g)	1.2	0.7	12.3	16.5	4.1
Azúcares totales (g)	2.63	2.49	37.59	43.9	12.18
Minerales					
Calcio, Ca (mg)	10	11	110	166	36
Fierro, Fe (mg)	0.27	0.68	9.09	4.56	2.98
Manganeso, Mg (mg)	11	9	194	178	42
Fósforo, P (mg)	24	28	356	295	83
Potasio, K (mg)	237	218	3427	1927	1014
Sodio, Na (mg)	5	11	247	134	59
Zinc, Zn (mg)	0.17	0.14	1.99	1.71	0.63
Vitaminas					
Vitamina C, ácido ascórbico total (mg)	13.7	22.8	39.2	116.7	21.9
Tiamina (mg)	0.037	0.036	0.528	0.913	0.06
Riboflavina (mg)	0.019	0.022	0.489	0.761	0.153
Niacina (mg)	0.594	0.532	9.05	9.133	3.076
Vitamina B-6 (mg)	0.08	0.079	0.332	0.457	0.216
Vitamina B-12 (µg)	0	0	0	0	0
Vitamina A, RAE (µg)	42	24	44	862	76
Vitamina A (IU)	833	489	874	17247	1525
Vitamina E (alfa-tocoferol) (mg)	0.54	0.56	0.01	12.25	4.3
Vitamina D (D2 + D3) (µg)	0	0	0	0	0

Vitamina D (IU)	0	0	0	0	0
Vitamina K (filoquinona) (µg)	7.9	2.8	43	48.8	11.4
Lípidos					
Ácidos grasos saturados totales (g)	0.028	0.015	0.426	0.062	0.1
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	0.031	0.016	0.487	0.066	0.067
Ácidos grasos, poliinsaturados (g)	0.083	0.044	1.115	0.179	0.16
Colesterol (mg)	0	0	0	0	0

Fuente: USDA, s.f.

### a) Niveles de ingesta y recomendaciones

Algunos investigadores no reconocen la importancia del licopeno en la salud humana debido a la falta de actividad de provitamina A, por lo que actualmente no es considerado un nutriente “esencial”. Por esta razón no se ha establecido una ingesta diaria o una ingesta nutrimental recomendada de licopeno. Sin embargo, con el reconocimiento del papel que el licopeno desempeña en la salud humana hay un considerable interés por parte de los nutricionistas y otros profesionales de la salud que sugieren niveles de ingesta diarios basados en conocimientos científicos. Sin embargo, algunos estudios sugieren que la suplementación de 30 mg de licopeno diario en la dieta de un hombre, puede ser suficiente para modular los marcadores clínicos de cáncer de próstata y es suficiente en el tratamiento de esta enfermedad. También una ingesta parecida en mujeres, puede ayudar a disminuir el riesgo por adquirir cáncer de cérvix, que es el más común en mujeres, seguido por el de seno, estómago y ovario (Waliszewski y Blasco, 2010).

### b) Licopeno

El licopeno es el carotenoide más abundante en el jitomate, pues comprende aproximadamente de 80 a 90% de los pigmentos presentes en éste, además es importante para el ser humano debido a que se deposita en el hígado, pulmón, próstata, colon y piel, su concentración en el cuerpo es más alta que la de cualquier otro carotenoide (Gómez-Gómez, 2009). Todos los carotenoides son



contienen cerca de 3 a 5 mg de licopeno por 100 g de material crudo, aunque algunas variedades rojas contienen más de 15 mg/100 g.

### **2.2.3 Producción nacional e internacional**

El jitomate ocupa el segundo lugar de importancia respecto a las hortalizas que más se consumen en el mundo, sólo superado por la papa (Martínez, 2013). En México durante el año 2013 se sembraron 48,234.01 hectáreas, de las cuales se cosecharon 2, 694, 358.19 toneladas (SAGARPA, 2013). Los principales estados productores son Sinaloa, Michoacán, Baja California y Zacatecas que, en 2010, fueron los estados que aportaron 50% del total de la producción nacional (Martínez, 2013). El jitomate es sin duda, la principal hortaliza con la que México ha desarrollado la industria hortofrutícola, tanto para abastecer el mercado interno como para exportar hacia los Estados Unidos de América (Martínez, 2013). De las 1.2 millones de toneladas de jitomate que importa Estados Unidos, el 85 por ciento provienen de México. Los principales países productores en 2008 fueron: China (36%), le sigue Estados Unidos con (14%); Turquía, (12%); India, 11%; mientras que México ocupó el doceavo lugar, con 3% de participación en la producción mundial (SAGARPA, 2010).

A nivel internacional, México es el principal exportador de jitomate con un volumen de 1.3 millones de toneladas en donde los principales compradores son Estados Unidos, Canadá y Hong Kong. También ocupa el primero en exportación de chile, el cuarto en cebollas y séptimo en ajo; con esto, el país se ubica como la quinta potencia mundial en producción de hortalizas bajo invernadero, lo cual representa una alternativa de adaptación frente a los retos del cambio climáticos (SAGARPA, 2012).

### **2.2.4 Problemática de conservación del jitomate**

El jitomate, a pesar de ser uno de los frutos de mayor consumo en todo el mundo y de gran importancia en México, presenta grandes pérdidas en post-cosecha. A lo largo de los años se han empleado diversas técnicas para su conservación, las cuales abarcan desde bajas temperaturas y sustancias químicas

hasta la aplicación de empaques para atmósferas modificadas (MAP) o de cubiertas comestibles a base de lípidos, polisacáridos y proteínas, con lo que se prolonga su vida de anaquel, siendo las cubiertas comestibles compuestas, con la adición de agentes antioxidantes, el método más utilizado. Aún se requieren de mayores estudios que permitan la obtención de un método que resuelva las pérdidas de tomate en post-cosecha y contribuya al mejoramiento de la economía de países en desarrollo que lo producen y comercializan (Ruiz-Martínez et al., 2012).

Los jitomates en estado verde maduro pueden almacenarse antes de que ocurra la maduración, a 12.5 °C durante 14 días, sin reducción significativa de su calidad sensorial y desarrollo de color. La pudrición puede aumentar si se les almacena más de dos semanas a esta temperatura. Después de alcanzar el estado maduro firme, la vida es generalmente de 8 a 10 días si se aplica una temperatura entre 7 y 10 °C. Durante la distribución comercial, es posible encontrar que se aplican temperaturas de tránsito o de almacenamiento de corto plazo inferiores a lo recomendado, por lo que es muy probable que ocurra daño por frío después de algunos días (INFOAGRO, 2011, citado por Ruiz-Martínez et al., 2012).

Para combatir los diferentes factores que ocasionan deterioro en los jitomates y conservar su calidad en fresco, se han empleado diversos métodos, entre los que se encuentran el uso de bajas temperaturas, tratamientos químicos y atmósferas modificadas, estas últimas obtenidas mediante la aplicación de empaques para atmósferas modificadas (MAP) y controladas o cubiertas comestibles. El jitomate se almacena a bajas temperaturas (10-15 °C) con la finalidad de prolongar su vida de anaquel. Sin embargo, por debajo de los 12.5 °C, los jitomates pueden ser afectados por daño por enfriamiento, el cual es un término que se utiliza para describir el daño físico que ocurre en diversas plantas y productos vegetales como resultado de su exposición a bajas temperaturas, sin llegar a la congelación (Luengwilai et al., 2012, citado por Ruiz-Martínez et al., 2012). La severidad de este daño es mayor en los jitomates verdes que en los

rojos y aumenta conforme al tiempo de almacenamiento y temperatura (Ruiz-Martínez et al., 2012). Por las razones anteriores, las elevadas pérdidas (cercasas al 50%) en la post-recolección de jitomate, se deben a su intensa actividad respiratoria y sensibilidad a la deshidratación (por las características de sus tejidos y el 94% de contenido en agua), a la acción del etileno, a las podredumbres, a los daños mecánicos y fisiológicos e incluso el gran inconveniente de su elevado punto de congelación ( $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Artés, 1999; Ulrich, 1995 citado por Artés-Calero y Artés-Hernández, 2006). Además de los métodos para alargar la vida de anaquel del jitomate en fresco, existen los otros métodos de preservación de hortalizas como los es el deshidratado, el cual ya implica una transformación de la materia prima, pero puede ofrecer una buena calidad nutritiva y vida de anaquel mayor (Ruiz-Martínez et. al., 2012).

#### **a) Carotenoides**

Los carotenoides son los pigmentos más ampliamente distribuidos en la naturaleza, con una producción anual de biomasa en el planeta estimada en 100 millones de toneladas. En las plantas superiores, los carotenoides de los cloroplastos están a menudo enmascarados por los pigmentos de clorofila más dominantes. En el otoño, cuando los cloroplastos se descomponen durante la senescencia de las plantas, se hace evidente el color amarillo-naranja de los carotenoides (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

Desde hace varias décadas se sabe que los carotenoides juegan funciones importantes en la fotosíntesis y fotoprotección de los tejidos vegetales. En todos los tejidos que contienen clorofila, los carotenoides funcionan como pigmentos secundarios en la captación de la energía luminosa. El papel fotoprotector de los carotenoides se debe a su capacidad para fijar e inactivar las especies reactivas de oxígeno formadas por exposición a la luz y al aire (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

El ser humano no es capaz de sintetizar los carotenoides y necesita adquirirlos por medio de la dieta. Se encuentran fundamentalmente en las frutas y los vegetales y les proporcionan coloración amarilla, anaranjada y roja que a veces se enmascara por el color de la clorofila dando coloración verde oscura

como ocurre en algunos vegetales de hojas. El  $\beta$ -caroteno, por su amplia distribución en los alimentos, es aportado por un gran número de estos, tales como tomate, zanahoria, naranja, papaya, calabaza, chícharos, plátano, entre otros; aunque solo el jitomate y la zanahoria lo contribuyen en más del 50 % en nuestra dieta, el primero por las cantidades tan elevadas en que es consumido y el segundo por su alto contenido en el fruto (Macías-Matos *et al.*, 2002). El carotenoide licopeno se encuentra principalmente en jitomates, guayabas rosas, papaya, toronjas rojas, sandías y pimientos rojos.

Estudios epidemiológicos recientes han demostrado que el consumo de carotenoides en general, tiene un efecto protector contra el desarrollo de enfermedades crónicas como ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y algunas enfermedades degenerativas como las cataratas. También contribuyen al fortalecimiento de piel y huesos, poseen propiedades antimicrobianas y protectoras del sistema inmunológico; ayudando así a mejorar la calidad de vida de los seres humanos (Barra-Pérez, 2009). Por su rica composición en vitamina A, la zanahoria en particular colabora en las funciones de crecimiento, mantenimiento y reparación del sistema óseo, contribuye al desarrollo celular relacionado con la vista, mucosas, epitelios, piel, uñas, cabello y esmalte de dientes, cumple además un rol determinante en la función reproductiva masculina durante la producción de espermatozoides y en el ciclo reproductivo femenino, y favorece el normal desarrollo de células y tejidos del feto durante el embarazo (Beltrán-Cabrera y Veloz-Gavilánez, 2014).

La vitamina A puede aportarse como tal vitamina, llamada retinol, como algunos análogos menos activos, o como sus precursores, los carotenoides. El retinol es un alcohol cíclico, insaturado, de veinte átomos de carbono, compuesto por un núcleo de  $\beta$ -ionona y una cadena lateral insaturada. En la molécula de retinol (Figura 5), existen cinco dobles enlaces conjugados, incluido el doble enlace del anillo de  $\beta$ -ionona que está conjugado con los de la cadena lateral (Meléndez-Martínez, 2004).

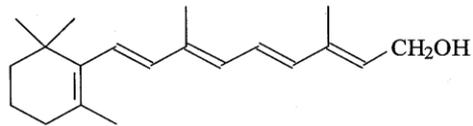
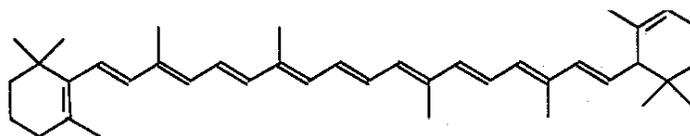
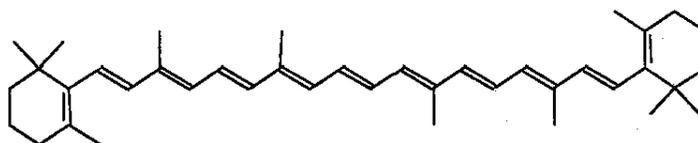


Figura 5. Estructura del retinol. Fuente: Meléndez-Martínez, 2004.

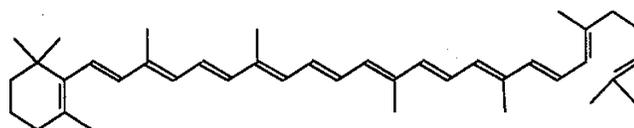
Se estima que los carotenoides provitamina A presentes en frutas y hortalizas proporcionan del 30-100% de las necesidades de vitamina A de las poblaciones humanas (Von-Elbe y Schwartz, 1993). No todos los carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que podemos dividirlos en dos grandes grupos: provitamínicos y no provitamínicos. La capacidad de los carotenoides para actuar como provitamina A depende de la conversión en retinol por los animales, así como de la presencia de  $\beta$ -ionona. Los carotenoides que contienen como mínimo un anillo de  $\beta$ -ionona pueden convertirse en retinol en los animales. De esta forma, el carotenoide más importante al respecto es el  $\beta$ -caroteno, que contiene dos de estos anillos (Figura 6). El  $\alpha$ - y el  $\gamma$ -caroteno, sin embargo, no pueden convertirse en retinol en los animales con la misma eficacia que el  $\beta$ -caroteno. El número de carotenoides precursores de vitamina A oscila entre 50 y 60 destacando los carotenos ( $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -caroteno) y algunas xantofilas ( $\beta$ -criptoxantina) (Meléndez-Martínez, 2004).



$\alpha$ -caroteno



$\beta$ - caroteno



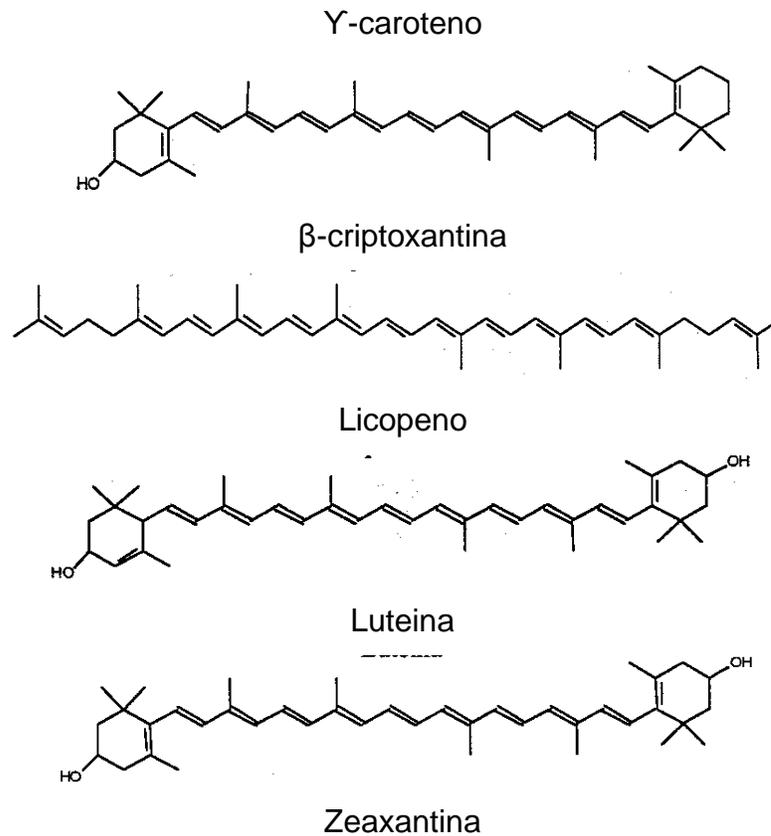


Figura 6. Estructuras químicas de  $\alpha$ -,  $\beta$ - y Y-caroteno,  $\beta$ -criptoxantina, licopeno, luteína y zeaxantina. Fuente: Meléndez-Martínez, 2004.

En particular, el licopeno en el tomate, protege contra cáncer de próstata, de mama, arteriosclerosis, reduce la oxidación de proteínas de alta densidad y ayuda a disminuir los niveles de colesterol en la sangre (Gómez-Gómez, 2009). Como se ha mencionado anteriormente, el nivel de estos nutrimentos es, en contraste con otras defensas antioxidantes, determinado por su presencia en la dieta, por lo que en los últimos años se ha incrementado la preferencia por consumir alimentos naturales ricos en carotenoides y que para 2010 el precio de los mismos alcanzaría 1.06 billones de dólares, lo cual indica que trabajar con este tipo de alimentos es una excelente opción (Biswas *et al.*, 2011).

## **b) Estructura de los carotenoides**

Los carotenoides pertenecen a dos grupos estructurales: los carotenos que son hidrocarburos y las xantofilas que están oxigenadas. Los carotenoides oxigenados (xantofilas) forman un grupo de derivados que frecuentemente contienen grupos hidroxilo, epoxilo, aldehído y cetona. Además, también están muy extendidos en la naturaleza los ésteres de carotenoides hidroxilados con ácidos grasos. Así se han recopilado e identificado unas 560 estructuras de carotenoides. Cuando se consideran los isómeros de las formas geométricas cis (Z) o trans (E) son posibles muchísimas más configuraciones.

El esqueleto estructural básico de los carotenoides está formado por unidades de isopropeno enlazadas covalentemente, bien cabeza-cola, bien cola-cola, creándose moléculas simétricas. Otros carotenoides se derivan de esta estructura primaria de 40 carbonos. Algunas estructuras contienen grupos finales cíclicos en tanto que otras poseen una ciclación o ninguna (licopeno). Otros carotenoides pueden tener esqueletos carbonados más cortos y se conocen como apocarotenales (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

El carotenoide hallado más frecuentemente en los tejidos vegetales es el  $\beta$ -caroteno.

Este carotenoide también se utiliza como colorante en los alimentos. Tanto las formas naturales como las sintéticas se pueden añadir a los productos alimenticios.

## **c) Presencia y distribución**

Los tejidos vegetales comestibles contienen una gran diversidad de carotenoides. Las frutas rojas, amarillas y naranjas, las raíces comestibles y las hortalizas son ricas en carotenoides. Ejemplos sobresalientes son los jitomates (licopeno), las zanahorias ( $\alpha$  y  $\beta$ -carotenos), los pigmentos rojos (capsantina), la calabaza ( $\beta$ -carotenos) y los zumos de cítricos con pulpa ( $\beta$ -carotenos). Todas las hortalizas de hojas verdes contienen carotenoides, pero su color está enmascarado por el verde de las clorofilas. En general, las mayores

concentraciones de carotenoides existen en aquellos tejidos con mayores cantidades de clorofilas. Por ejemplo, las espinacas y la alfalfa son ricas en carotenoides y los guisantes, judías verdes y espárragos los contienen en formas significativas (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

Son muchos los factores que influyen en el contenido de carotenoides de las plantas. En algunas frutas, la maduración puede ocasionar cambios drásticos de los carotenoides. Por ejemplo, en los jitomates el contenido de carotenoides, especialmente licopeno, aumenta significativamente durante el proceso de maduración. Así, las concentraciones difieren según el estadio de madurez de la planta. Inclusive después de recolectados, los carotenoides del tomate continúan siendo sintetizados. Como quiera que la luz estimula la biosíntesis de carotenoides, el aumento de exposición a la luz es sabido que aumenta su concentración. Otros factores que alteran la presencia y cantidad de carotenoides comprenden el clima en que se desarrollan, los pesticidas, los fertilizantes, utilizados y el tipo de suelo (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

#### **d) Propiedades físicas, extracción y análisis**

Todas las clases de carotenoides (hidrocarburos: carotenos y licopeno, xantofilas oxigenadas) son compuestos lipófilos, por tanto, solubles en los aceites y en los disolventes orgánicos. Son moderadamente termoestables y pierden el color por oxidación. Los carotenoides se isomerizan fácilmente debido al calor, los ácidos o la luz. Como quiera que su color varía del amarillo al rojo, las longitudes de onda para la detección de los carotenoides oscilan en un intervalo de aproximadamente 430-480 nm. Las longitudes de onda mayores suelen utilizarse para algunas xantofilas a fin de prevenir la interferencia de las clorofilas. Muchos carotenoides manifiestan desplazamientos espectrales después de reaccionar con diversos agentes y estos cambios espectrales son útiles para ayudar a su identificación.

La compleja naturaleza y diversidad de los compuestos carotenoides presentes en las plantas exige su separación cromatográfica. Los procedimientos

de extracción para la separación cuantitativa de los carotenoides de los tejidos utiliza disolventes orgánicos que tienen que penetrar en la matriz hidrófila. Comúnmente, se emplean las mezclas hexano-acetona para este fin, pero a veces es necesario utilizar disolventes y tratamientos especiales para alcanzar una separación satisfactoria (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

#### **e) Actividad antioxidante**

A pesar de que los carotenoides se oxidan fácilmente, no sorprende que tengan propiedades antioxidantes. Desde el punto de vista nutricional, un antioxidante se define como aquella sustancia presente en los alimentos que disminuye significativamente los efectos adversos de especies reactivas como las del oxígeno y el nitrógeno, en condiciones fisiológicas normales en humanos. El mecanismo de la actividad antioxidante del  $\beta$ -caroteno está relacionado con su carácter hidrofóbico y su capacidad para retirar el oxígeno singlete y desactivar radicales libres (Meléndez-Martínez, 2002).

Además de la protección celular e *in vitro* contra el oxígeno singlete, los carotenoides a presiones parciales de oxígeno bajas inhiben la peroxidación de los lípidos. A presiones parciales de oxígeno altas, el  $\beta$ -caroteno tiene propiedades prooxidantes. En presencia de oxígeno molecular, fotosensibilizadores (por ej., la clorofila) y luz, se puede producir oxígeno singlete que es una especie de oxígeno altamente reactiva. Es sabido que los carotenoides fijan el oxígeno singlete y, por tanto, protegen de la lesión oxidativa celular. No todos los carotenoides son igualmente eficaces como protectores fotoquímicos. Por ejemplo, se sabe que el licopeno es especialmente eficiente para captar el oxígeno singlete en comparación con otros carotenoides. Es por esta razón que se ha propuesto que las funciones antioxidantes de los carotenoides juegan un papel para limitar el cáncer, las cataratas, la arterosclerosis y el proceso de envejecimiento (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

### **f) Estabilidad durante el procesado**

Los carotenoides son relativamente estables durante el almacenamiento y manejo clásico de casi todas las frutas y las hortalizas. La congelación apenas produce cambios en el contenido de caroteno. Sin embargo, se sabe que el escaldado influye en el nivel de carotenoides. A menudo, los productos procedentes de plantas escaldadas exhiben un aparente aumento del contenido de carotenoides con relación a los tejidos crudos. Esto se debe a la inactivación de la lipoxooxigenasa, que como se sabe cataliza la descomposición oxidativa de los carotenoides, a la pérdida de constituyentes solubles en el agua de escaldado o a que los tratamientos térmicos suaves tradicionales utilizados para escaldar, aumenten la eficiencia de la extracción de pigmentos con relación a los tejidos frescos.

Aunque históricamente se ha considerado que el caroteno es muy estable durante el calentamiento, ahora se sabe que la esterilización induce reacciones de isomerización cis-trans como se muestra en la Figura 7. Para disminuir la isomerización excesiva, deberá minimizarse cuando sea posible la intensidad del tratamiento térmico. En los casos de cocción por extrusión y el calentamiento a altas temperaturas en aceite, no solo isomerizan los carotenoides, sino que se produce su degradación térmica. Temperaturas muy altas pueden dar productos de fragmentación que son volátiles. Los productos que se generan a consecuencia del calentamiento intenso del  $\beta$ -caroteno en presencia de aire son similares a aquellos que se forman durante la oxidación del  $\alpha$ -caroteno a altas temperaturas. En contraste, la deshidratación al aire expone los carotenoides al oxígeno, con lo cual se puede producir una extensa degradación de los mismos. Los productos deshidratados que tienen un cociente superficie/masa grande, como las zanahorias o los copos de boniato, son especialmente susceptibles a la descomposición durante la desecación y almacenamiento al aire (Von-Elbe y Schwartz, 1993).

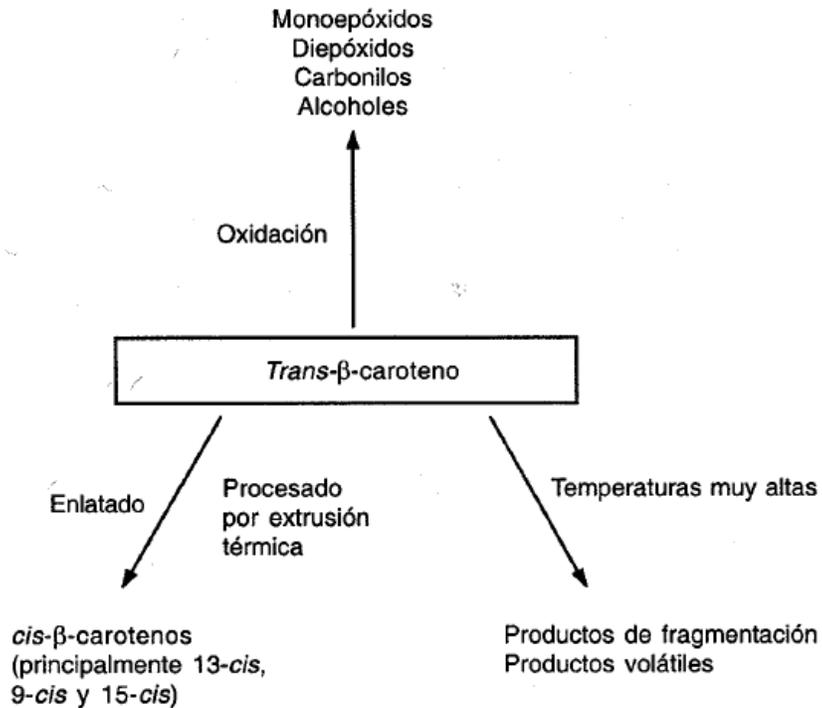


Figura 7. Degradación del todo-trans-β-caroteno. Fuente: Von-Elbe y Schwartz, 1993.

## 2.3 Secado

### 2.3.1 Definición de secado

Secar significa remover cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. El secado es una operación unitaria en la que se intercambian calor y masa. Implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. Incluye una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agro-alimentaria.

Una de las maneras más simples para lograr el secado de alimentos o cualquier material es exponer el material húmedo a una corriente de aire con determinadas condiciones de temperatura, humedad y velocidad. Entre más seco

y más caliente esté el aire, mayor será la velocidad de secado. El calor se añade por contacto directo del producto a secar con aire caliente a presión atmosférica y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.

El secado o deshidratación de alimentos, se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos que provocan la descomposición dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante prolongados (Geankoplis, 1998).

### **2.3.2 Tipos de secadores**

La clasificación para los secadores es muy amplia, sin embargo, la más general está dada por el método con el que se lleva a cabo la transferencia de calor, que puede ser conducción, convección y radiación. Por lo anterior existen distintos tipos de secadores como: secadores en bandejas, indirectos al vacío con anaqueles, continuos de túnel, rotatorios, por aspersion y secadores solares.

#### **a) Secador de bandejas**

En el secador de bandejas, que también se llama secador de anaqueles, de gabinete o de compartimientos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad. Un secador de bandejas típico, tal como el que se muestra en la Figura 8, tiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete. Un ventilador recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas. También se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos del 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire recirculado.

Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se remplazan por otras con más material para secado. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador y adicionalmente girarse o cambiar la posición.

En el caso de materiales granulares, el material se puede colocar sobre bandejas cuyo fondo es un tamiz. Entonces, con este secador de circulación cruzada, el aire pasa por un lecho permeable y se obtienen tiempos de secado más cortos, debido a la mayor área superficial expuesta al aire (Geankoplis, 1998).

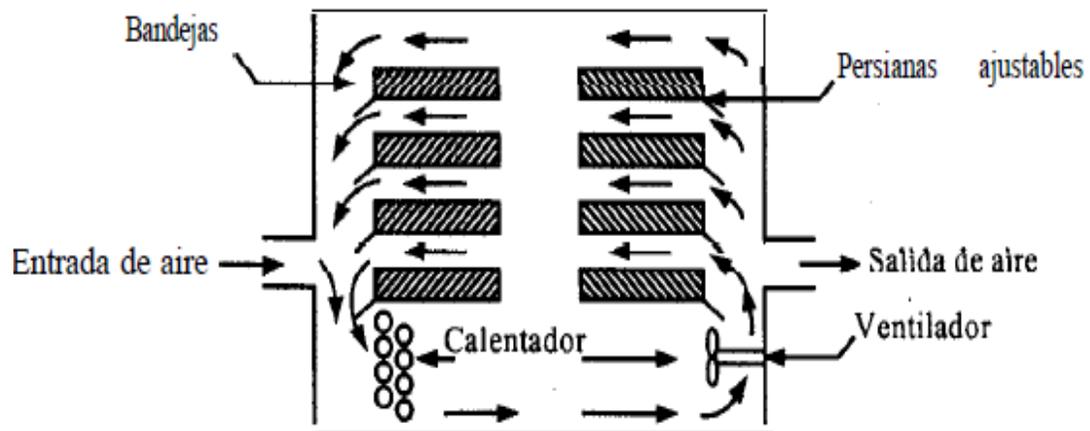


Figura 8. Secador de bandejas o anaqueles. Fuente: Geankoplis, 2006.

### b) Secadores indirectos al vacío con anaqueles

Los *secadores al vacío con anaqueles* se calientan indirectamente y son del tipo de lotes, similares a los de las bandejas. Esta clase de secador consta de un gabinete construido de hierro colado o plancha de acero con puertas herméticas, de tal manera que se pueda operar al vacío. Los anaqueles huecos de acero se montan dentro de las cámaras y se conectan en paralelo, con los colectores de vapor de entrada y de salida. Las bandejas que contienen los sólidos mojados se

colocan sobre los anaqueles huecos. El calor se conduce a través de las paredes metálicas y por radiación entre los anaqueles. Para operaciones a temperaturas más bajas, se usa circulación de agua caliente en lugar de vapor para suministrar el calor que vaporiza la humedad. Los vapores se colectan en un condensador.

Estos secadores se usan para secar materiales costosos o sensibles a la temperatura, o bien que se oxiden fácilmente. Son muy útiles para manejar materiales con disolventes tóxicos o valiosos (Geankoplis, 1998).

### **c) Secadores continuos de túnel**

Los secadores continuos de túnel suelen ser compartimentos de bandejas o de carretillas que opera en serie, tal como se muestra en la Figura 9a. Los sólidos se colocan sobre bandejas o en carretillas que se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente, en paralelo, o una combinación de ambos. Muchos alimentos se secan por este procedimiento. Cuando se desea secar partículas sólidas granulares, pueden utilizarse transportadores perforados o de fondo de tamiz, como el de la Figura 9b. Los sólidos granulares húmedos se transportan en forma de una capa que tiene entre 25 y 150 mm de profundidad, sobre una superficie de tamiz o perforada a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente, ya sea hacia arriba o hacia abajo. El secador consta de diversas secciones en serie, cada una con un ventilador y serpentines de calentamiento. Un ventilador adicional extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera. En algunos casos, los materiales en forma de pasta pueden preformarse en cilindros y colocarse sobre el transportador para secarse (Geankoplis, 1998).

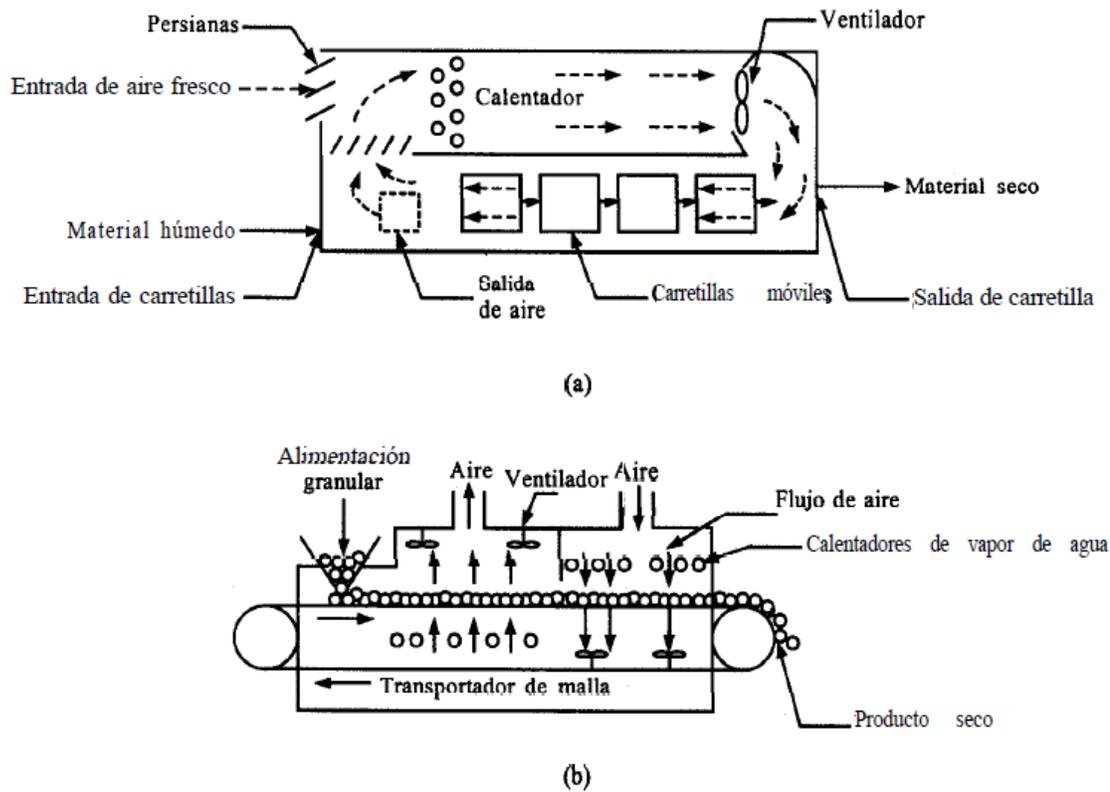


Figura 9. Secadores continuos de túnel: a) secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente, b) secador de banda transportadora con circulación forzada. Fuente: Geankoplis, 2006.

#### d) Secadores rotatorios

Un secador rotatorio consta de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre su eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior, tal como se muestra en la Figura 10 y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente. En algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro. Las partículas granulares se desplazan hacia adelante con lentitud y una distancia corta antes de caer a

través de los gases calientes. Existen muchas otras variaciones del secador rotatorio (Geankoplis, 1998).

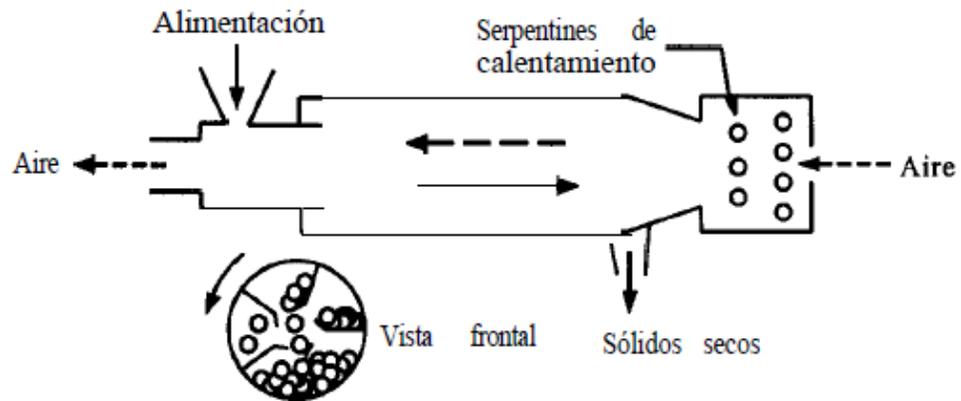


Figura 10. Diagrama esquemático de un secador rotatorio con calentamiento directo. Fuente: Geankoplis, 2006.

#### e) Secadores por aspersion

En un secador por aspersion, un líquido o una suspensión se atomiza o se roela en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se evapora de dichas gotas con rapidez, y se obtienen partículas secas de sólido que se separan de la corriente de gas. El flujo de líquido de la cámara de aspersion puede ser a contracorriente, en paralelo, o una combinación de ambos.

Las gotas finas se forman al introducir el líquido en toberas de atomización o discos giratorios de rociado de alta velocidad en el interior de una cámara cilíndrica (Figura 11). Es necesario asegurarse de que las gotas o partículas húmedas del sólido no choquen ni se adhieran a las superficies solidas antes de que hayan secado. Por consiguiente, se emplean cámaras bastante grandes. Los sólidos secos salen por el fondo de la cámara a través de un transportador de tornillo. Los gases de escape fluyen hacia un separador de ciclón para filtrar las partículas muy finas. Las partículas que se obtienen

son muy ligeras y bastante porosas. La leche en polvo se obtiene mediante este proceso (Geankoplis, 1998).

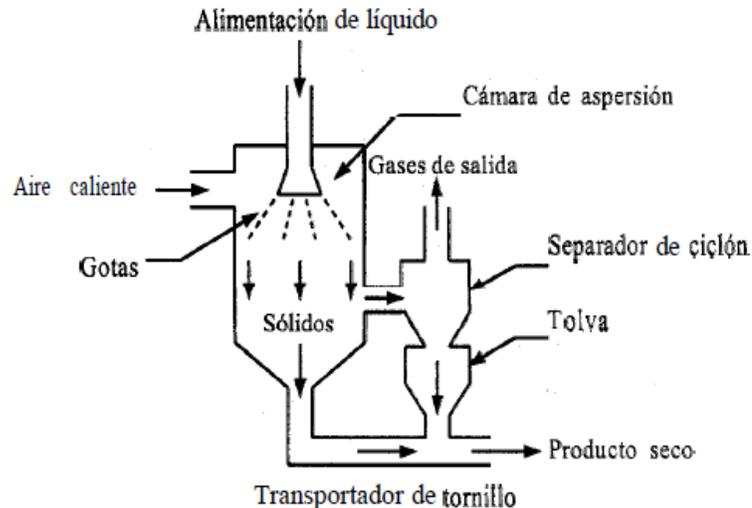


Figura 11. Diagrama de flujo para una unidad de secado por aspersión.  
Fuente: Geankoplis, 2006.

#### f) Secadores solares

El secador solar entra dentro de los secadores por radiación, la cual se lleva a cabo mediante radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra dentro del rango de espectro solar y microondas. Está formado principalmente por un gabinete cubierto cuya tapa consta de un material translúcido que deja pasar los rayos del sol, de esta manera se utiliza la energía de los rayos en forma de calor para lograr la evaporación de la humedad del sólido (Geankoplis, 2006).

Para determinar el tiempo que tardan en deshidratarse los productos, es necesario hacer un experimento donde se les toma el peso constantemente durante el proceso, hasta que dicho peso no varíe más; es entonces cuando sabremos cuánto tiempo requiere el producto para deshidratarse (Geankoplis, 1998).

### **2.3.3 Teoría del secado**

#### **a) El secado como operación unitaria**

La operación unitaria de secado o desecación es de las más antiguas para la preservación de alimentos, ha sido utilizada desde que se descubrió que los alimentos pueden ser preservados por este medio y que algunos materiales, a través del secado, pueden convertirse en buenos materiales estructurales. Actualmente existen distintas razones por las que se secan los productos, ya sea que se busca alargar la vida útil, la reducción de peso o volumen para su transporte, mejoramiento de su estabilidad dimensional, o como una etapa más de su procesamiento (Hernández-Rodríguez y Quinto-Diez, 2005).

Los primeros intentos realizados para tratar de explicar la operación de secado, así como de los mecanismos que intervienen en la misma, datan del siglo XX. Desde entonces existe una literatura compleja en la que se busca la manera de explicarla. A partir de esta teoría se han desarrollado bastantes modelos matemáticos, de los cuales la mayoría se han basado en una práctica empírica, por lo que solo ofrecen una explicación del proceso muy general. Por otro lado también se ha recurrido a los conocimientos de la termodinámica, la mecánica de fluidos y la transferencia de calor que han ayudado a describir el proceso de manera más formal. En estos modelos no sólo se consideran los medios secantes, sino también los mecanismos del movimiento interno de la humedad y sus efectos, debido a que los principales cambios son internos, como los cambios de forma, estructura, ruptura, deterioro de proteínas y oxidación de componentes susceptibles. Las teorías más sencillas se basan en que existe sólo un componente en el secado, tal es el mecanismo encargado de la migración de la humedad (Hernández-Rodríguez y Quinto-Diez, 2005).

El objetivo principal del secado de fruta y/o hortalizas es remover agua del sólido hasta un nivel en donde el crecimiento microbiológico y la deterioración por reacciones químicas sean minimizadas (Geankoplis, 2006).

### b) Cinética de secado

La velocidad de secado se determina como pequeños cambios de humedad  $D_x$  para los cambios pequeños correspondientes de tiempo  $D_\theta$ , calculándose como:

$$N = -S_s D \frac{\Delta X}{A \Delta \theta} D_\theta \quad (1)$$

Donde  $S_s$  es la masa del sólido seco y  $A$  es la superficie húmeda sobre la cual sopla el aire y a través de la cual tiene lugar la evaporación.

$$\frac{\partial m}{\partial t \cdot A} = K_g M (a_{ws} - a_{wa}) \quad (2)$$

Donde:

$A$  = Área superficial expuesta ( $m^2$ ).

$\frac{\partial m}{\partial t}$  = Velocidad de transferencia de masa de agua ((kg de agua/kg ss)/h).

$K_g$  = Coeficiente de transferencia de masa (kg mol/ $m^2$ h).

$M$  = Masa molecular del agua.

$a_{ws}$  = Actividad de agua en la superficie del alimento.

$a_{wa}$  = Actividad de agua en el aire.

### c) El estado de agua en los alimentos

El contenido de agua en un alimento es una variable, ya que fluctúa en función de numerosos factores, en tanto que la materia seca permanece constante durante la deshidratación.

La mayoría de los procesos de secado para los alimentos implican el cambiar del agua de un estado líquido a un estado gaseoso para después quitar este vapor haciendo circular aire sobre la superficie del alimento. Esto puede ocurrir a presión atmosférica o en condiciones de vacío.

La humedad contenida en un alimento se puede dividir ampliamente en tres categorías:

1. Agua superficial, conservada en el contorno del alimento debido a la tensión superficial. Su comportamiento es similar al del agua libre.
2. Agua absorbida en capilares, existe dentro de los sólidos en poros y vacíos intersticiales donde la presión de vapor del agua sufre una depresión ya que se encuentra en capilares de radio pequeño. El agua perteneciente a esta zona participa en acciones deteriorativas y es más fácil eliminarla que el agua atada.
3. Agua atada o ligada, que es agua fuertemente unida a constituyentes del alimento tales como: proteínas o polisacáridos, por puentes de hidrógeno o hidrógeno o interacciones ion-dipolo.

Por comodidad, si se tienen humedades relativas de entre 0 y 20%, se considera que el agua está fuertemente ligada y no participa en reacciones; si las humedades oscilan entre 20 y 80% se considera que el agua está débilmente ligada y, humedades mayores al 80%, que el agua se encuentra libre para reaccionar (Geankoplis, 2006).

#### **d) Periodos del proceso de secado**

La mayoría de la literatura especializada considera que el proceso de secado se divide en dos periodos, que son:

- Periodo de velocidad constante y
- Periodo de velocidad decreciente

Aunque algunos investigadores señalan que éstos a su vez se pueden dividir en más etapas o periodos.

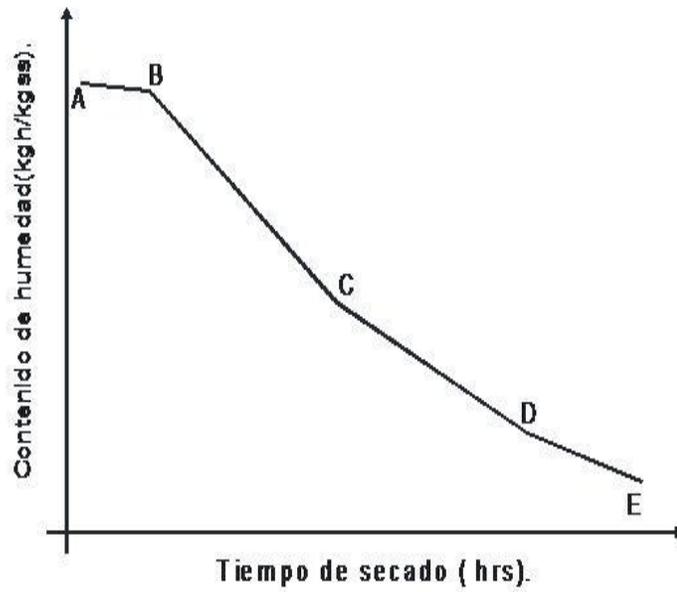


Figura 12. Periodos presentes en el proceso de secado. Fuente: Hernández-Rodríguez y Quinto-Diez, 2005.

En la Figura 5 se muestran los periodos en los que se divide el proceso de secado, donde:

A-B es el periodo de calentamiento, B-C de rapidez de secado constante, C-D primer periodo de rapidez de secado decreciente, D-E segundo periodo de rapidez de secado decreciente.

La duración del periodo de secado de rapidez constante depende de los coeficientes de transferencia de calor y masa, del área expuesta al medio secante, de la geometría de la muestra, de la diferencia de temperaturas y humedades entre las corrientes, del medio secante y de la superficie húmeda del sólido.

En el periodo de rapidez decreciente, el plano de vaporización se mueve dentro del sólido y la rapidez de secado es regida por la velocidad de movimiento interno de humedad. La velocidad del aire, la temperatura y humedad tienen menor efecto en el progreso del secado durante este periodo (Hernández-Rodríguez y Quinto-Diez, 2005).

Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos:

- 1) Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de este y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.
  
- 2) Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Este segundo subproceso depende de las condiciones externas de temperatura, humedad, flujo de aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado.

En la operación unitaria de secado, cualquiera de estos subprocesos puede ser el limitante que determine la velocidad de secado, a pesar que ambos subprocesos ocurren simultáneamente durante el ciclo de secado.

El comportamiento de los sólidos en el secado es medido como la pérdida de humedad como una función del tiempo.

Gracias al contenido final de humedad se determina el tiempo de secado y las condiciones requeridas para el proceso. Las restricciones de temperatura para el proceso resultan debido a la degradación, decoloración, manchado, inflamabilidad y otros factores que afectan al alimento. La sensibilidad térmica fija la temperatura máxima a la cual la sustancia o alimento puede estar expuesto en el tiempo de secado (Geankoplis, 2006).

#### **e) Curvas de secado**

La velocidad de secado de un material depende de sus propiedades y densidad global; así como de su contenido de humedad inicial y en equilibrio, ésta no es la misma durante todo el proceso. La representación gráfica de la velocidad

de secado frente a la humedad del producto o frente al tiempo se denomina “curva de secado”, y será diferente según sea el tipo de producto a deshidratar. Generalmente la forma de las curvas de secado es complicada y deben obtenerse experimentalmente. En la Figura 13 se representa una curva de secado.

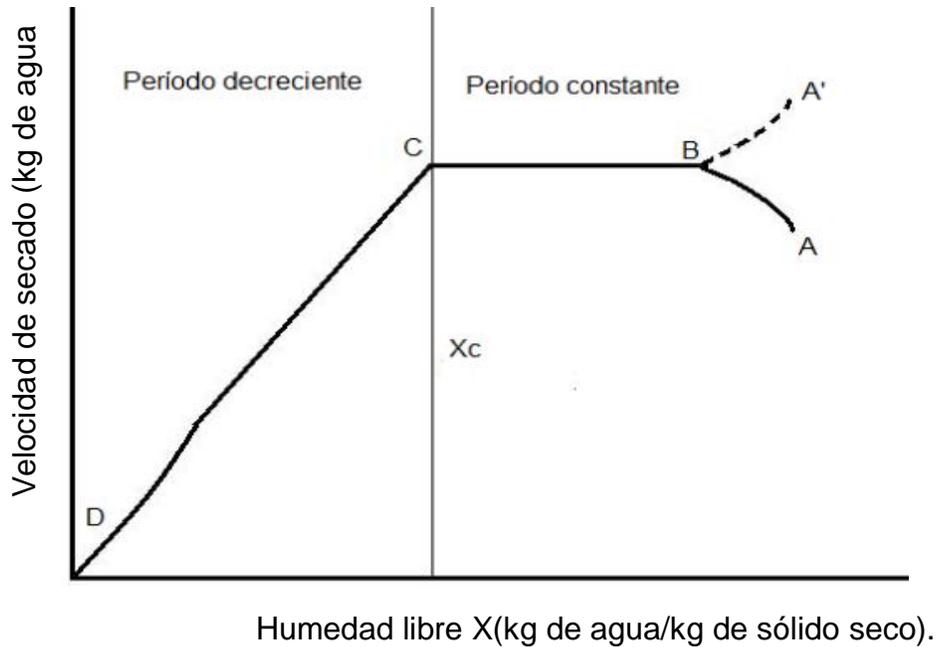


Figura 13. Curva de velocidad de secado. Fuente: Gómez-Gómez, 2009.

El producto se encuentra inicialmente en el punto A. En la etapa inicial del secado (AB) el agua se calienta lentamente. En el punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Cuando el sólido está a una temperatura por arriba de la temperatura de operación, la velocidad de secado empieza en el punto A'. Posteriormente, inicia una pérdida de agua a velocidad constante (BC). El periodo de velocidad de secado constante se caracteriza por la evaporación de la humedad a partir de una superficie saturada. El secado de velocidad constante equivale fundamentalmente a evaporación a partir de un cuerpo de agua grande y es independiente del tipo de sólido. Esta etapa finaliza cuando se alcanza la

llamada humedad crítica  $X_c$ , fácilmente identificable en las curvas de secado por el cambio brusco de velocidad. En esta etapa no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La velocidad empieza a decrecer (CD), pudiendo existir uno o varios periodos de velocidad decreciente. El periodo de velocidad decreciente es por lo general el periodo más largo de una operación de secado y depende de la temperatura del aire, velocidad del aire y del espesor del alimento. Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea pequeña; sin embargo los tiempos de secado pueden ser prolongados (Gómez-Gómez, 2009).

#### **f) Mecanismos de movimiento de la humedad**

Cuando un sólido es sometido a un proceso de secado utilizando aire se presentan dos subprocesos:

1. Transferencia de materia. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.
2. Transferencia de energía. Este segundo subproceso depende de las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, área de exposición y el tipo de secador empleado.

El movimiento de la humedad en el proceso de secado se rige por los siguientes mecanismos:

- Difusión líquida: Debido a los gradientes de concentración de la humedad.
- Difusión de vapor: Debido a los gradientes de presión parcial del vapor.
- Movimiento de líquido: Debido a fuerzas capilares.
- Flujo de líquido o vapor: debido a diferencias en la presión que existe en el interior de los poros y el medio secante.

En la Figura 14 se ilustran los principales periodos de secado y algunos de los mecanismos que intervienen en la migración de humedad en un poro. Se

considera que el mecanismo de flujo capilar es el que predomina durante el periodo de secado de rapidez constante, mientras que los mecanismos de condensación-evaporación y flujo de vapor corresponden al periodo de secado de rapidez decreciente (Hernández-Rodríguez y Quinto-Diez, 2005).

La transferencia de vapor de agua desde la superficie húmeda del sólido hacia el aire en movimiento es un mecanismo análogo a la transferencia de calor por convección. Entre mayor es el área superficial, mayor es la transferencia de masa. Por lo anterior los alimentos se secan mejor si se les divide en piezas pequeñas o en capas delgada (Geankoplis, 2006).

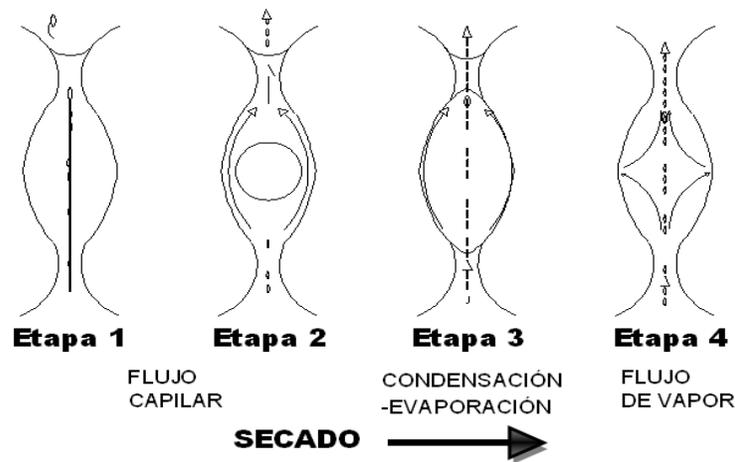


Figura 14. Etapas del movimiento de la humedad en un poro. Fuente: Hernández-Rodríguez y Quinto-Diez, 2005.

### 2.3.4 Factores que intervienen en el proceso de secado

#### a) Temperatura del aire

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. Conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. La elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso. Gómez-Gómez (2009)

sugiere que las temperaturas de secado de jitomate ideales están entre 45 y 55 °C, esto permite al producto retener sus nutrientes, incluyendo vitaminas y licopeno y  $\beta$ -caroteno.

### **b) Humedad relativa del aire**

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, este valor se expresa como porcentaje (%). A medida que aumenta la temperatura del aire, también aumenta su capacidad de absorción de humedad; cuando la temperatura disminuye sucede lo contrario.

La temperatura de secado está estrechamente relacionada con la humedad relativa del aire, ya que influye en la calidad organoléptica del producto final. Cuando la temperatura del aire de secado es alta y su humedad relativa es baja, existe el riesgo de que la humedad de la superficie del alimento se elimine más rápido de lo que el agua puede difundirse del interior húmedo a la superficie del alimento. Al evitar esto, se inhibe la formación de costras.

A nivel industrial se emplean humedades relativas del 20 al 40%. La humedad relativa del aire no influye de manera importante en los tiempos de secado de tomate, Figura 15. En casi todos los estudios de secado de jitomate no se considera esta variable debido a que generalmente se usa aire atmosférico (Gómez-Gómez, 2009).

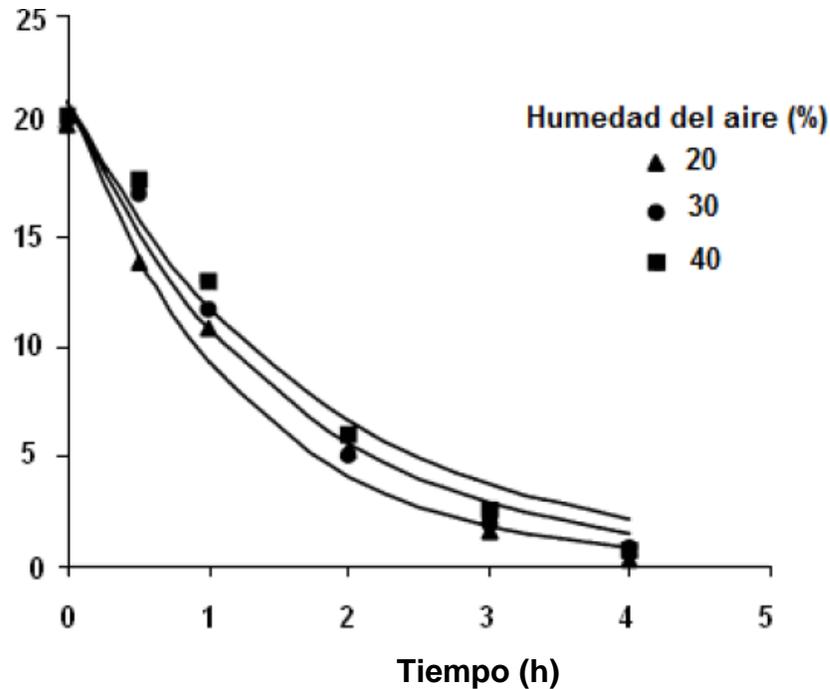


Figura 15. Cinética de secado de tomate con diferentes porcentajes de humedad relativa. Fuente: Gómez-Gómez, 2009.

### c) Propiedades termodinámicas del aire atmosférico

En el secado y almacenamiento, uno de los conceptos más importantes es el del contenido de humedad de equilibrio ( $W_e$ ), definida como el intercambio recíproco de humedad entre materiales higroscópicos, tales como el alimento seco, y el aire que los rodea; la condición de intercambio recíproco de humedad indica la condición de equilibrio que existe entre el aire y el producto. Dicho equilibrio ocurre cuando la presión de vapor a la humedad del alimento es igual a la presión de vapor de la humedad presente en el aire, a condiciones constantes de temperatura. Por tanto, es de fundamental importancia el estudio termodinámico de las propiedades del aire húmedo (Geankoplis, 2006).

#### **d) Velocidad del aire**

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento facilitando su evaporación. En segundo lugar, ayuda a transportar la humedad saliente del material.

La velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento (Gómez-Gómez, 2009). A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de la capa límite, más rápida será la remoción de humedad. Por otra parte, el flujo de aire es importante, uno turbulento es mucho más eficaz que uno laminar. El deshidratado a nivel industrial se lleva a cabo empleando velocidades de aire entre 1.5 y 2.5 m/s. El deshidratado de tomate se ha realizado con velocidades de aire de 1.5 y 2.0 m/s (Gómez-Gómez, 2009).

#### **2.4 Deshidratado de hortalizas**

El jitomate y la zanahoria son una de las fuentes más importantes de carotenoides como licopeno y  $\beta$ -caroteno respectivamente, los cuales son antioxidantes y reducen la incidencia de enfermedades cardiovasculares, degenerativas y del cáncer (Macías-Matos *et al.*, 2002). Por lo anterior, son alimentos que ofrecen propiedades nutritivas mejores que otros. El agua contenida en ambos representa más del 80%, por lo que requieren una gran cantidad de energía durante su deshidratado (FAO, 2012). La zanahoria y el jitomate deshidratados se consideran productos intermedios, siendo materia prima para la formulación de complementos nutritivos, o para la industria de deshidratados o como sopas o cremas, constituyendo un producto con buenas características para procesar, comercializar y consumir (González-Díaz, 2007).

El secador de charolas es uno de los equipos que más se ha empleado para el deshidratado de frutas y hortalizas (Gómez-Gómez, 2009). Se han realizado varios estudios para encontrar las condiciones de operación apropiadas que permitan obtener productos deshidratados de buena calidad. Así como la

conservación de los componentes que dan a la zanahoria y al tomate su valor comercial. Por lo tanto, resulta importante describir los factores que intervienen en el proceso de deshidratado empleando este equipo.

Las condiciones a las que se lleva a cabo el secado típico de jitomate y zanahoria, inducen a pérdidas de algunas propiedades antioxidantes y cambios de color. Para ayudar a disminuir el daño oxidativo de los productos durante el secado con aire, lo más recomendable es:

- a) Usar bajas temperaturas (45 – 60 °C).
- b) Reducir el grosor del producto usando cuartos de tomate o rebanadas de 2 a 8 mm de espesor.
- c) Realizar una remoción parcial del contenido de agua por deshidratación osmótica (Gómez-Gómez, 2009).

#### **2.4.1 Deshidratado de zanahoria y jitomate**

González-Díaz (2007) deshidrató cubos de zanahoria en un túnel de secado en contracorriente. Los primeros cubos se deshidrataron directamente sin ser sometidos a ningún tratamiento previo al secado. Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial realizada por el panel encuestado, a estos cubos de zanahoria, no fueron aceptables para las propiedades evaluadas, textura, color, olor y sabor. En el caso de los cubos sometidos a pretratamiento se realizaron 3 corridas con diferentes concentraciones de solución osmótica siendo estas 30, 40, 50° Brix, luego fueron deshidratados en un túnel de secado en contracorriente. Los cubos que obtuvieron mayor aceptación del panel sensorial fueron los sometidos a la solución de 30° Brix. Estos cubos fueron sometidos a 3 tratamientos, siendo el primero uno de textura utilizando fosfato tricalcico, luego se realizó un escaldado con agua a 95 °C y posteriormente fueron sometidos a la solución osmótica de 30° Brix, la cual estaba compuesta de cloruro de sodio, ácido cítrico y sacarosa.

Por otro lado León (2007) determinó las mejores condiciones en la técnica de osmodeshidratación de zanahoria variedad *Royal chantenay* y remolacha variedad *Early gonder*, cultivadas en la granja Tesorito de la Universidad de Caldas. Para dicho trabajo se seleccionó el modelo fenomenológico que relaciona

los parámetros de operación para determinar las variables de respuesta. Luego se realizó el montaje experimental describiendo todo el proceso y variables a tener en cuenta para obtener los parámetros de respuesta exigidos por el modelo, que fueron; pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos. Los mejores resultados en cuanto a agua perdida se dieron con una presión de vacío, utilizando mezclas glicerol-sal y sacarosa-sal a altas concentraciones. Dichas muestras fueron sometidas a un secado con aire caliente en un tiempo que permitió obtener un contenido de humedad final entre un 6 y 14%. Luego del secado fueron evaluadas las propiedades sensoriales, la calidad microbiológica y la composición nutrimental del producto final, siendo así considerado como un alimento con buenas características para su comercialización en la industria alimentaria.

Monsalve (2007) realizó una evaluación de la deshidratación del jitomate variedad manzano por dos equipos de secado como lo fueron la estufa al aire (EA) y el secador de bandejas (SB), para determinar cuál de ellos ofrecía mejores resultados. El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad manzano posee un contenido de humedad de 94.4% en base húmeda (bh). Se realizaron diferentes ensayos para determinar las temperaturas adecuadas para el secado, alcanzando una temperatura de 52 °C para el secado en (EA), temperatura de bulbo seco 76 °C y temperatura de bulbo húmedo de 70 °C para el (SB). Para poder comparar los métodos fue necesario evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto obtenido, así como el tiempo de vida útil del producto seco, alcanzando un contenido de humedad en el tomate de 14.62% en base seca (bs) en la estufa al aire y 10.52% (bs) en el secador de bandejas, finalmente es importante destacar que el valor de humedad de la materia prima en base húmeda (bh) fue bastante elevado. Sin embargo, la deshidratación se pudo realizar sin ningún problema. Ahora bien, entre los dos procesos empleados, el mejor fue el de (SB) con una probabilidad ( $P < 0.05$ ), debido a los resultados fisicoquímicos obtenidos por el mismo, en cuanto a los atributos de acidez titulable 3.00 mgAc. cítrico (SB) – 2.02 mg Ac. cítrico (EA)

humedad 10.52% (SB) – 14.62% (EA), °Brix 4.7 (SB) – 4.5 (EA) y cenizas totales 0.35% (SB) – 0.33% (EA).

Gómez-Gómez (2009) deshidrató jitomate *saladette* en un secador de charolas diseñado y construido en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, en Oaxaca. Las condiciones de secado empleadas fueron temperaturas de 45, 50 y 60 °C, con velocidades de aire de 0.6 y 1.2 m/s, con y sin rotación de charolas. Se utilizaron rebanadas de 6 mm de grosor, pre-tratadas con metabisulfito de sodio al 1%. Las curvas de secado obtenidas se analizaron en los periodos de velocidad constante y decreciente y se emplearon tres modelos matemáticos para predecir los tiempos de secado. A las rebanadas de tomate deshidratadas se les determinó el contenido de licopeno, ácido ascórbico, fenoles totales y color por métodos espectrofotométricos; así como la razón de rehidratación. Las mejores condiciones de secado fueron 60 °C, 0.6 m/s y rotación de charolas. Estas permitieron la menor degradación de licopeno (2.9%), ácido ascórbico (17.3%) y fenoles totales (2.1%). El análisis estadístico a un nivel de significancia del 5%, indicó que la rotación de charolas tiene una contribución positiva sobre el color ( $a^*$ ), licopeno y ácido ascórbico.

Fano-Castro (2011) evaluó el efecto del deshidratado sobre el contenido de carotenos en la zanahoria en lecho fluidizado por lotes con ciclos de atemperado. Para cada esquema de secado se construyeron las curvas de secado y se determinaron los coeficientes difusivos y contenido de carotenos. De los resultados obtenidos el esquema de secado que presenta más ventajas para secar cubos de zanahoria es el esquema a 70 °C, en relación tiempo de secado por tiempo de reposo ( $t_s \times t_r$ ) (20 x 20), tanto por sus ventajas de menor tiempo de proceso logrando retener un 81.31%. Los coeficientes de difusión efectiva evaluados son del orden de  $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  similares a los reportados por otros autores para diferentes productos vegetales.

Moreno-Guarín (2012) hizo una evaluación completa del proceso de secado para jitomate (*Lycopersicon esculentum*) variedad chonto. En primer lugar, se hizo un estudio de características fisicoquímicas y sensoriales de tomates secos comerciales y una posterior comparación con el desarrollo experimental, para

definir las condiciones de calidad para el producto deshidratado a desarrollar, posteriormente hizo un estudio del proceso de secado, determinando las isothermas de sorción a diferentes temperaturas, dos ambientales (20 y 25 °C) y tres de proceso (50, 60 y 70 °C), las curvas de secado a las temperaturas de proceso y utilizando dos velocidades (3 y 4 m/s). Una vez que se hizo la modelación matemática, se determinó que el modelo de GAB describe mejor el comportamiento de sorción de la fruta. Para las curvas de secado, el modelo de Page se adapta de manera más precisa a los datos experimentales. Finalmente, a las temperaturas de proceso se les hicieron las pruebas fisicoquímicas, estructurales y el contenido de antioxidantes para evaluar los efectos de la temperatura sobre las propiedades del producto final. Obteniendo como principal resultado que a una temperatura de 60 °C se conservan el color y la actividad antioxidante, además se obtiene una textura crocante y el contenido de carotenoides se ve favorecido.

#### **2.4.2 Deshidratado de pimiento para pimentón**

En 2010 en Argentina se implementó un secador solar híbrido para la producción continua a escala industrial del pimiento para el pimentón. Se presenta el diseño, detalles constructivos, y ensayos realizados en un secador solar de escala industrial, está destinado a la producción de pimiento seco para pimentón. Cuenta con circulación forzada de aire y calentamiento auxiliar mediante un quemador de leña. Se introducen mejoras en el sistema de distribución de aire. Las mejoras en la eficiencia térmica del sistema llevan a una mayor velocidad de secado durante el día con la consecuente disminución del uso de energía convencional (Durán *et al.* 2010).

#### **2.5 Efecto del deshidratado en la calidad del jitomate y zanahoria**

La calidad del jitomate deshidratado depende de varios factores, se consideran como factores importantes el color y la uniformidad del contenido de humedad (kg/kg en base seca) (Unadi *et al.*, 2002, citado por Gómez-Gómez,

2009). También, se considera importante el contenido de licopeno, ácido ascórbico y fenoles totales, los cuales le confieren su capacidad antioxidante y consecuentemente muchas de sus propiedades funcionales.

### **2.5.1 Efecto del deshidratado en jitomate**

#### **a) El color en el jitomate**

El color es una sensación que es percibida por los órganos visuales; se produce por los rayos luminosos y depende de su longitud de onda (380 a 770 nm) y de las características del órgano receptor (Otha, 2005, citado por Gómez-Gómez, 2009).

Es una característica de calidad extremadamente importante, ya que no solo determina la madurez y vida post cosecha, también es un factor determinante para la aceptabilidad del consumidor. El color en los jitomates se debe a la presencia de carotenoides, el licopeno es el principal carotenoide.

El deshidratado de tomate, ocasiona cambios de color en el producto final. Estos cambios de color son una combinación del oscurecimiento no enzimático, reacciones de Maillard, y de la degradación de licopeno (Kerkhofs *et al.*, 2005, citado por Gómez-Gómez, 2009).

El oscurecimiento de los pigmentos como la reacción de Maillard, caramelizarían de azúcares, depende de la cantidad de azúcar y amino ácidos presentes, así como del pH, tiempo y temperatura del procesamiento (Hayes y *et al.*, 1998, citado por Gómez-Gómez, 2009).

Un estudio realizado por Olorunda *et al.* (1990), indica que un incremento en el tiempo de secado y de la temperatura provoca un oscurecimiento en el tejido, mientras otros estudios muestran un incremento en la luminosidad ( $L^*$ ) y una disminución en el color rojo ( $a^*/b^*$ ) después del secado con aire.

Arias *et al.* (2000), demostraron que el contenido de licopeno esta correlacionado con el color del fruto. El incremento del valor de  $a^*$  está asociado directamente con el contenido de licopeno.

## **b) Licopeno**

Los carotenoides presentes en jitomates, están sujetos a degradación durante el procesamiento.

Las principales causas de oxidación en el jitomate dependen de (Hayes, 1998, citado por Gómez-Gómez, 2009):

- Disponibilidad del oxígeno.
- La baja actividad de agua.
- Temperaturas altas.
- La desestabilización de iones metálicos presentes, como el cobre y el hierro.
- La estabilidad de antioxidantes y lípidos presentes.

El calor, la luz, el oxígeno, y diversas matrices del alimento son los factores que tiene efecto significativo en la isomerización y auto oxidación del licopeno.

Shi *et al.* (2000), citado por Gómez-Gómez (2009), sometieron el puré de tomate a un tratamiento térmico a 90, 110, 120 y 150 °C de una a seis horas. Los resultados muestran que la concentración de licopeno disminuye gradualmente con el tratamiento, a temperaturas más altas la degradación es más rápida, Figura 16.

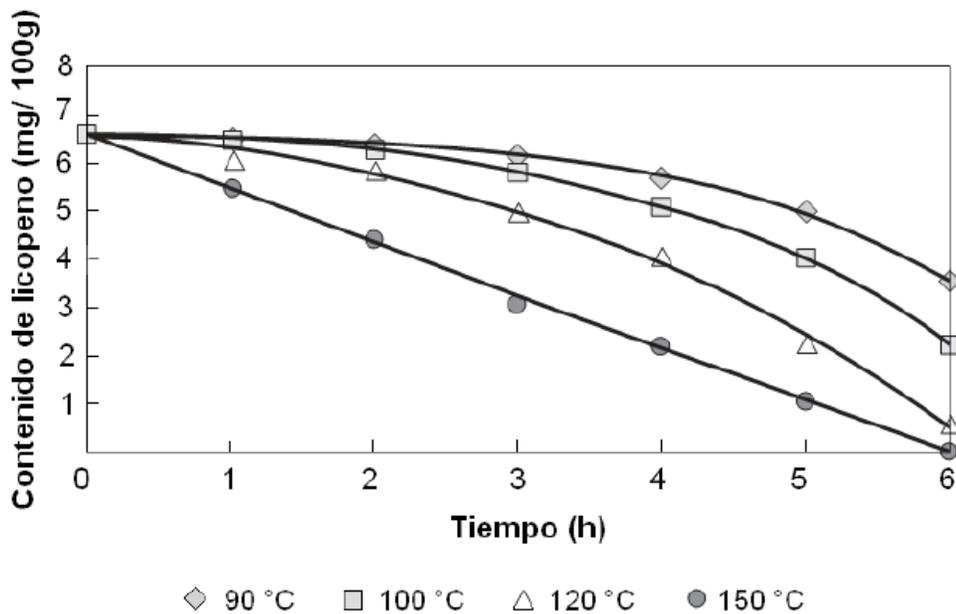


Figura 16. Efecto del calentamiento sobre la degradación del licopeno. Fuente: Gómez-Gómez, 2009.

Otro estudio para observar la degradación de licopeno fue el realizado por Lee y Chen (2002), citado por Gómez-Gómez (2009), estudiaron la estabilidad del compuesto y observaron que a una temperatura de 50 °C en las primeras 12 horas no había cambios en el contenido de licopeno; después de 12 horas se observaba una disminución del mismo. A 100 °C el contenido de licopeno disminuye en un 78% después de 120 minutos de calentamiento. Cuando el licopeno se calienta a 150 °C no se detecta después de 10 minutos. Temperaturas mayores a 100 °C y tiempos prolongados de calentamiento provocan una disminución en el contenido de licopeno.

### 2.5.2 Efecto del deshidratado en zanahoria

Todos los procesos industriales de deshidratación, alteran en cierto grado el color, olor, sabor y textura de los productos. Además del agua, eliminan cierta cantidad de sus productos volátiles. Pueden hidrolizarse los hidratos de carbono y desnaturalizarse las proteínas, produciendo pérdidas del contenido de ciertas

vitaminas (González-Díaz, 2007). La calidad de un producto deshidratado se puede evaluar entonces con las características organolépticas, por su calidad nutricional, como por sus propiedades físicas y químicas (Barra-Pérez, 2009).

### **a) Textura**

La textura de los alimentos es el parámetro de calidad que más se modifica con la desecación. Sus variaciones dependen mucho del tipo de pretratamiento que se le da al alimento, el tipo de intensidad con que se realiza la reducción de tamaño y el modo de pelado.

En alimentos escaldados las pérdidas de textura están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por las variaciones localizadas en el contenido en agua durante la deshidratación.

Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidas, confiriendo al alimento un aspecto arrugado. En la rehidratación estos alimentos absorben agua más lentamente y no llegan a adquirir de nuevo la textura firme, característica de la materia prima original.

La variación en la textura depende también de las condiciones del desecado por ejemplo, si se usan velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas los cambios serán más pronunciados que con flujos y temperaturas más bajas. A medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento. Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua hace que la concentración de solutos en la superficie aumente lo que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable.

Este fenómeno se llama acortezamiento o encoframiento y reduce la velocidad de deshidratación dando lugar a un alimento seco en su superficie pero húmedo en su interior (González-Díaz, 2007).

## **b) Color**

La deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas, betalainas.

Por lo general cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas en estos pigmentos. La oxidación y la actividad enzimática residual favorecen el desarrollo del pardeado durante el almacenamiento.

Ello puede evitarse usando el escaldado como tratamiento previo a la desecación o tratando el vegetal con ácido ascórbico u otros compuestos (González-Díaz, 2007).

## **c) Valor nutritivo**

La desecación también produce la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento. Estas oxidaciones se producen por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación. La velocidad a la que estos componentes se deterioran depende de la actividad de agua en el alimento y de la temperatura de almacenamiento. Las reacciones oxidativas influyen en la producción o destrucción de compuestos aromáticos.

Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación previa de frutas y verduras son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratado. La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. A medida que el proceso de deshidratación avanza algunas alcanzan su sobresaturación y precipitan. Las pérdidas, por tanto, son pequeñas. Los nutrientes liposolubles se encuentran, en su mayor parte, en la materia seca del alimento, por lo que durante la deshidratación no experimentan concentración alguna.

Los metales pesados, sin embargo, actúan como catalizadores de reacciones de oxidación de nutrientes insaturados, están disueltos en la fase acuosa del alimento. A medida que el agua se elimina, su reactividad aumenta y

las reacciones de oxidación (de lípidos esenciales también) se aceleran (González-Díaz, 2007).

## **2.6 Descripción del problema**

En la actualidad, la cuestión de las pérdidas de alimentos es muy importante en los esfuerzos para combatir el hambre, aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria en los países más pobres del mundo. Las pérdidas de alimentos afectan a la seguridad alimentaria de los más pobres, a la calidad y la inocuidad alimentarias, al desarrollo económico y al medioambiente. Las causas exactas de las pérdidas de alimentos varían en las diferentes partes del mundo y dependen sobre todo de las condiciones específicas y situación local de cada país. Estas pérdidas pueden ser de materia prima durante la cosecha, post-cosecha, en el procesamiento, en el transporte o almacenamiento.

A nivel económico las pérdidas de alimentos, que pueden evitarse, tienen un impacto negativo directo en los ingresos, tanto de los agricultores como de los consumidores. Puesto que muchos pequeños agricultores viven cercanos a la inseguridad alimentaria, el reducir las pérdidas de alimentos podría tener un impacto inmediato y significativo en sus medios de vida. Sin duda, la prioridad para los consumidores pobres (hogares en situación de inseguridad alimentaria o de riesgo alimenticio) es el acceso a productos alimentarios nutritivos, inocuos y asequibles (FAO, 2012).

Los agricultores que viven en lugares remotos tienen dificultades para la venta rápida de sus productos, por lo que hay un alto índice de descomposición de los mismos por no contar con un método simple y económico para preservarlos. Un ejemplo de ello es la pérdida de la cosecha de jitomate durante la post-recolección de hasta el 50% en almacenamiento, además del transporte.

En términos generales, las pérdidas de alimentos están influenciadas por las elecciones tomadas en la producción de cultivos y sus patrones, la infraestructura y capacidad internas, las cadenas comerciales, los canales de distribución, los canales de consumo etc. Actualmente, existen muchos centros de producción de alimentos donde se generan grandes pérdidas de los mismos

debido a su corto periodo de vida útil durante el almacenamiento. Lo anterior ocurre porque, en la mayoría de los casos, por facilidad y por falta de interés, es mejor destinarlos al desperdicio y no se aprovechan para obtener un valor agregado de ellos. En la Figura 17 se muestra que las pérdidas en las fases de post-cosecha y distribución son graves; esto se debe tanto al deterioro de los cultivos perecederos en los climas calientes y húmedos de muchos países en desarrollo, como al carácter estacional que conlleva un excedente imposible de vender. También se puede apreciar que las pérdidas de alimentos durante su procesamiento son altas en las mismas regiones en desarrollo, esto es debido a la falta de instalaciones para su adecuado procesamiento. Otro problema es la falta de conocimiento de los métodos de conservación a los que se pueden someter los productos.

En muchas situaciones, la industria de procesamiento de alimentos no posee la capacidad necesaria para procesar y preservar productos agrícolas frescos con los que responder a la demanda. Parte del problema se debe a la estacionalidad de la producción y al coste que supone invertir en instalaciones de procesamiento que no se utilizarían durante todo el año sino únicamente durante el almacenamiento del producto. Pese a lo anterior, se puede hacer uso de varios métodos para alargar la vida útil. Uno de los métodos más utilizados son los de deshidratación solar, que son los más baratos y accesibles para cualquier región y personas con bajo recursos (FAO, 2012).

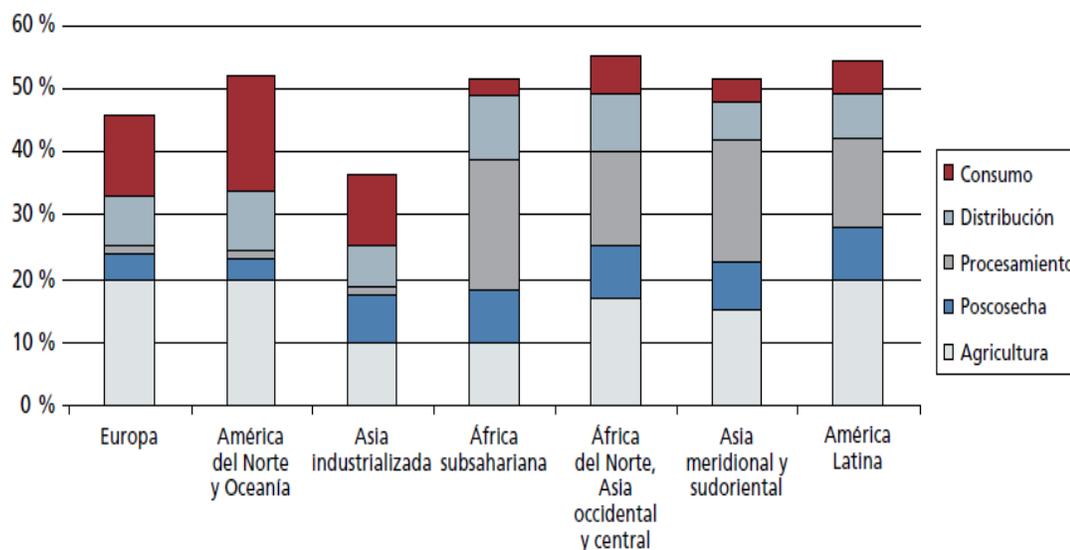


Figura 17. Parte de la producción inicial que se pierde o desperdicia en las diferentes etapas de la Cadena de Suministro de Alimentos de frutas y hortalizas en diferentes regiones. Fuente: FAO, 2012.

Para ofrecer el acceso a productos alimentarios nutritivos, inocuos y asequibles, existen varios productos agrícolas que pueden ser sometidos a un secado después de la post-cosecha para su adecuada conservación hasta llegar al consumidor en buenas condiciones. Sin embargo, muchos productores optan por trasladar y comercializar sus productos frescos, lo cual implica un mayor gasto en empaques, métodos de enfriado y transporte debido a que ocupan más espacio y es más delicada su manipulación por que pueden sufrir daños físicos o físico-químicos por altas temperaturas o contaminación, además se debe sumar la inversión para su conservación durante su almacenamiento en los centros de consumo (Artés-Calero y Artés-Hernández, 2006).

Para tener un producto deshidratado de buena calidad, es necesario obtener productos con un porcentaje mínimo de humedad que, además, conserven la mayor parte de sus nutrientes y tengan una presentación agradable; es por eso que las temperaturas de deshidratado ideales son menores a 60 °C (Gómez-Gómez, 2009). Los equipos de secado más eficientes son los industriales como los secadores de charolas, de tambor, rotativos etc., teniendo la propiedad

de alcanzar temperaturas superiores a los 90 °C para disminuir el tiempo de deshidratado pero que, desgraciadamente, ocasionan pérdidas de calidad con respecto al color, sabor, nutrientes, textura y puede llegar a formar costras en el producto, impidiendo que se seque la parte interior de este (Andritsos et al., 2003, citado por Gómez-Gómez, 2009).

## **2.7 Justificación**

Se considera deshidratación cuando se retira el agua libre de un producto sin alterar su composición, manteniendo lo mejor posible sus características organolépticas, aumentando la vida útil del mismo e impidiendo que las frutas, verduras u algunos otros productos se descompongan representando una pérdida.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), se usa como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar una gran cantidad de propiedades organolépticas, sobre todo su sabor y su valor nutritivo (Geankoplis, 1998).

La calidad de un producto deshidratado se puede evaluar con las características organolépticas (olor, sabor y textura), por su calidad nutricional, como por sus propiedades físicas y químicas (Barra-Pérez, 2009). Si al deshidratar las hortalizas se diseña una estrategia de deshidratado mediante la combinación de algunos métodos, como puede ser el uso de la deshidratación osmótica o algún otro método como pretratamiento aunado a métodos de deshidratación con temperaturas inferiores a 60 °C, se puede llegar a disminuir la pérdida de propiedades organolépticas y compuestos bioactivos característicos del tomate y zanahoria frescos (Ochoa-Reyes *et al.*, 2013). Por ello, en este trabajo, se manejaron temperaturas semejantes y se realizó el análisis de algunas de

estas propiedades antes y después del deshidratado de ambos productos, utilizando el pretratamiento de escaldado en la zanahoria.

La tecnología de deshidratación nos permite conservar los productos por largos periodos de tiempo, por ejemplo, el jitomate se conserva hasta por un periodo de cinco meses en refrigeración, siempre y cuando se almacene en frascos de vidrio libres de la luz, lo cual disminuirá significativamente la degradación de compuestos bioactivos y cambios en el color, que se pueden generar durante el almacenamiento, estas condiciones también inhibirán el crecimiento de microorganismos (hongos y mohos) al bajar el contenido de actividad acuosa. Se requiere de hacer más eficiente el uso de la energía requerida para deshidratar este fruto sin que éste pierda sus propiedades organolépticas (Ochoa-Reyes *et al.*, 2012). Por lo anterior, el deshidratado es una buena alternativa para que el agricultor evite los problemas que implica la venta del producto fresco, que además de alargar la vida de anaquel del mismo, pone en ventaja al productor frente al mercado cuando hay temporadas de escasos de productos o se producen bajas de precio por sobreproducción. El conocer las condiciones óptimas de temperatura de deshidratado es una ventaja que permite mantener la calidad del producto y, además, permite reproducir esas condiciones en cualquier tipo de secador, incluso en alguno de tipo solar que son los más usados en lugares remotos que, durante el verano, tienen abundantes cosechas condenadas a una rápida descomposición por no tener un método simple y económico para preservarlas. El uso de deshidratadores solares con circulación natural de aire permite llevar a cabo un deshidratado en cualquier lugar, además requieren menos espacio que las técnicas locales al aire libre para el secado de la misma cantidad de productos, siendo así un método muy fácil y económico (Banout *et al.*, 2005). El jitomate deshidratado es uno de los productos con más auge en sus ventas, tiene un buen sabor después de su procesamiento y, a su vez, puede ser rehidratado si es deseado. También se puede consumir como un “snack” que ofrece propiedades nutritivas mucho mejores que otros que son considerados “chatarra”, o utilizarse en polvo en sopas instantáneas, salsas, aderezos, botanas, dips y sazónadores, entre otros (Candelas-Cadillo *et al.*, 2005).

Según datos de la FAO (2012), el tomate tiene aproximadamente un 94.3% de agua y la zanahoria un 86 %, por lo que son productos que requieren una cantidad considerable de energía durante su secado. Industrialmente la zanahoria es utilizada en la preparación de semielaborados, deshidratados, especialmente sopas o compuestos similares además, la zanahoria deshidratada y pulverizada se utiliza para la coloración natural de muchos productos y como ingrediente principal en la formulación de complementos nutritivos (González-Díaz, 2007). También son altas en fibra dietética y tienen un alto contenido de carotenoides, especialmente  $\beta$ -caroteno. Los jitomates y sus productos derivados, aunque también contienen  $\beta$ -caroteno, son las principales fuentes del carotenoide licopeno en la dieta de las personas, ofreciendo también grandes beneficios (Gómez-Gómez, 2009). Se ha reportado que los jitomates deshidratados pueden llegar a contener más carotenoides que los frescos, presumiblemente como un efecto de concentración por la correcta deshidratación (Ochoa-Reyes et al., 2013). El hecho de que México se ubica como la quinta potencia mundial en producción de hortalizas bajo invernadero, aunado a que ocupa el 10° lugar en producción mundial de jitomate y zanahoria, representa un aumento de la producción de estas hortalizas, por lo tanto, más demanda de espacio y métodos de conservación económicos y eficientes para evitar las mermas cuando dichos productos están frescos (SAGARPA, 2012). Debido a lo anterior, este proyecto contribuye a la búsqueda de alternativas para dar un valor agregado a las mermas de la producción de jitomate de los invernaderos del Campus Amazcala de la UAQ y, propone otra alternativa para agregar a su producción el cultivo de zanahoria. Con esto, la Universidad podría ofrecer a los consumidores nuevos productos procesados con una excelente calidad física y nutracéutica. También, este proyecto contribuyó al proyecto: “Proceso analítico del mejoramiento de la cadena de valor del tomate deshidratado” en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ).

### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas y nutraceuticas de zanahoria y jitomate deshidratados a dos diferentes temperaturas en un secador convencional, para establecer las condiciones óptimas del proceso con el mejor color y el mayor aporte nutricional.

#### 3.2 Objetivos particulares

1. Deshidratar las zanahorias escaldadas y las zanahorias sin escaldar a las temperaturas de 50 °C y 60 °C en un secador de charolas convencional para evaluar el efecto de la temperatura y el escaldado en la calidad de la zanahoria.
2. Deshidratar el jitomate a las temperaturas de 50 °C y 60 °C en un secador de charolas convencional para evaluar el efecto de la temperatura en la calidad del producto.
3. Elaborar las curvas de secado con los datos obtenidos durante el secado de los productos para calcular la velocidad de secado en cada temperatura y para cada producto estudiado.
4. Evaluar el color, humedad inicial y final, así como el contenido de licopeno en el jitomate deshidratado para determinar y comparar su calidad inicial y final.
5. Evaluar el color, humedad inicial y final, así como el contenido de  $\beta$ -caroteno en la zanahoria deshidratada para determinar y comparar su calidad inicial y final.
6. Determinar la temperatura óptima para el secado de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y estadísticos, para establecer las condiciones óptimas del proceso que conserven las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales de los dos productos evaluados.

### **3.3 Hipótesis**

La calidad de un producto deshidratado se puede evaluar a través de sus características organolépticas, por su calidad nutricional, así como por sus propiedades físicas y químicas; entonces:

- a) Si al deshidratar las zanahorias se diseña una estrategia de deshidratado mediante la combinación con un pre-tratamiento como el escaldado, este proceso permitirá tener productos con mejores propiedades fisicoquímicas y nutrimentales que aquellos en donde no se aplicó el pre-tratamiento.
  
- b) Al deshidratar el jitomate a las dos temperaturas propuestas, la temperatura de 50 °C tendrá un menor efecto en las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales del producto final.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 Procedimiento general

El trabajo de investigación se realizó siguiendo el procedimiento que se muestran en la Figura 12.



Figura 18. Diagrama a bloques de la metodología experimental.

### 4.2 Materiales, equipos y reactivos

- **Materiales biológicos usados**

- 1kg de jitomate *Saladette*
- 2 kg de zanahoria *Chantenay*

- **Equipo y utensilios para el deshidratado**

- Deshidratador convencional de flujo paralelo de 2 m/s (Estufa Memmert).
- Balanza Analítica (Sartorius BL210S).
- Olla para calentar agua.
- Cuchillo
- Vernier

- **Equipos para determinar la humedad**
  - Termobalanza (Sartorius Modelo MA35).
  - Estufa convencional THERMO LINE
  - Balanza Analítica (SARTORIUS EXPLORER).
- **Equipo para determinar el color**
  - Colorímetro (MINOLTA- CR-300).
- **Equipos y reactivos para determinar el  $\beta$ -caroteno**
  - Espectrofotómetro Thermo Scientific Multiskan Go
  - Centrífuga Thermo Scientific Sorvall Biofugue Primo R.
  - Vortex (Barnstead International Type 16700 Mixer).
  - Tubos Falcón de 50 mL y matraces Erlenmeyer de 25, 50 y 100 mL.
  - Hexano (T.J. BAKER, grado reactivo)
  - Etanol (T.J. BAKER, grado reactivo)
  - Acetona (T.J. BAKER, grado reactivo)
- **Equipos y reactivos para determinar el licopeno**
  - Espectrofotómetro (Hach DR 6000).
  - Centrífuga refrigerada (Damon PR-J).
  - 10 ml de N-hexano ((T.J. BAKER, grado reactivo)
  - 5 ml de etanol (T.J. BAKER, grado reactivo)
  - 5 ml de 0.05% (w/V) hidroxibutiltolueno (BHT) en acetona ((T.J. BAKER, grado reactivo)
  - Agua deionizada.
  - Mortero, tubos de 50 mL, matraces Erlenmeyer de 25, 50 y 100 mL.

#### **4.3 Características del deshidratador convencional**

En la Figura 19 se presenta el deshidratador convencional que se utilizó, éste cuenta con tres charolas perforadas de acero inoxidable con un espacio de 15 cm entre ellas y capacidad de carga de producto de 160 kg. Para medir el flujo paralelo de aire dentro de la estufa se utilizó un anemómetro, determinando un flujo de 2 m/s en promedio.



Figura 19. Deshidratador convencional empleado para el desarrollo del experimento en Campus Amazcala UAQ.

#### **4.4 Obtención del jitomate y la zanahoria**

Se utilizó jitomate Saladette (*Solanum Lycopersicon L.*) de un invernadero de 2000 m<sup>2</sup> y zanahoria Chantenay (*Daucus Carota*) de un invernadero acuícola, ambos cosechados en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. El cultivo de jitomate fue de crecimiento indeterminado y se cultivó en el suelo. Cabe señalar que el cultivo de crecimiento indeterminado consiste en obtener varias cosechas de una misma planta.

## 4.5 Selección y preparación del material biológico

### 4.5.1 Jitomate

Se seleccionó 1 kg de jitomate en base a su color y tamaño. Los frutos elegidos fueron aquellos con una superficie roja en al menos un 90%, se utilizó una escala de colores de la USDA (Tabla 3). Para la selección, también se consideraron jitomates sin magulladuras, y de masas similares (180-210 g). Los jitomates se lavaron, se cortaron en rebanadas de 4 mm de espesor, revisando que cada rebanada quedara del mismo espesor con el uso de un vernier. En la Figura 20 se muestra el jitomate cosechado y seleccionado para las pruebas.



Figura 20. Jitomate cosechado en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Tabla 3. Carta de color de la USDA.

	<p><b>VERDE</b></p> <p>Significa que la superficie del jitomate es completamente verde en color. El tono verde puede variar de claro a oscuro.</p>
	<p><b>ROMPIENTE</b></p> <p>Significa que hay un cambio de color del verde a amarillo tenue, rosa o rojo, en no más del 10% de superficie.</p>
	<p><b>CAMBIANTE</b></p> <p>Significa que más del 10% pero no más del 30% de la superficie total, muestra un cambio definitivo en color de verde a Amarillo tenue, rosa o rojo o una combinación de estos.</p>
	<p><b>ROSA</b></p> <p>Significa que más del 30%, pero no más del 60% del total de la superficie, muestra un color rosa o rojo.</p>
	<p><b>ROJO CLARO (Naranja)</b></p> <p>Significa que más del 60%, pero menos del 90% de la superficie del jitomate, muestra un color rosa o rojo.</p>

Fuente: Gómez-Gómez, 2009.

#### 4.5.2 Zanahoria

Se seleccionaron 2 kg de zanahoria de manera que su color, tamaño y forma fueran uniformes y se lavaron muy bien todas. Se cortó 1 kg de las zanahorias en rebanadas de 4 mm de espesor, revisando que cada rebanada quedara del mismo espesor con el apoyo de un vernier. En la Figura 21 se muestra el proceso de cosecha y selección de las zanahorias.

### a) Pre-tratamiento de escaldado

El kilogramo restante de zanahoria enteras, se sometió a pre-tratamiento de escaldado en agua caliente a 90 °C durante 3 minutos. Posteriormente se cortaron en rebanadas de 4 mm de espesor, verificándolo con apoyo de un vernier.

En la Figura 22 se puede apreciar el rebanado de las muestras, como parte del proceso de preparación.



Figura 21. Cosecha de Zanahorias en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.



Figura 22. Jitomate y zanahoria rebanados a 4mm de espesor.

#### **4.6 Deshidratado de jitomate y zanahoria**

El deshidratado se realizó por triplicado a 1 kg de cada tipo de muestra (zanahoria escaldada, zanahoria si escaldar y jitomate) a 60 °C y a 50°C.

Se distribuyó cada kilogramo de muestra en tres porciones iguales para repartir en tres charolas por cantidades iguales, aproximadamente 333 g por charola. Se tomó el peso de cada charola antes de agregarle el producto. Se metieron a deshidratar a las dos diferentes temperaturas y se registró el cambio de peso con una balanza analítica (Sartorius BL210S) cada hora transcurrida en cada condición, para determinar la pérdida de humedad. El deshidratado se detuvo cuando el peso no varió más. Las rebanadas se almacenaron a 5 °C y protegidas de la luz, para realizar posteriormente la cuantificación de licopeno y  $\beta$ -caroteno.

#### **4.7 Curvas de secado**

Se realizaron curvas de secado para cada una de las temperaturas (50 y 60 °C), a la misma velocidad de aire (2 m/s). Se registró el cambio de peso de cada

muestra hasta que ya no se registró cambio de peso. Las curvas de secado, se realizaron por triplicado.

#### **4.8 Determinación de humedades, método por secado de estufa**

Se rebanaron muy finos tanto el jitomate como la zanahoria y se pesaron 5 gramos de muestra y se secó a 95°C en una estufa convencional THERMO LINE durante dos horas controlando el peso antes y después del secado, se realizó tres réplicas experimentales. El porcentaje de humedad se calculó mediante la Ecuación (3).

$$\% \text{ humedad relativa} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \quad (3)$$

Para la humedad final después de deshidratados, se pesaron 2 gramos de muestra deshidratada molida, posteriormente se puso durante 3 minutos a 105 °C en una termobalanza Sartorius Modelo MA35 que estima directamente la humedad final de la muestra.

#### **4.9 Extracción y cuantificación de licopeno, método espectrofotométrico**

Para la determinación de licopeno se utilizó el método descrito por (Fish et al., 2002) con algunas modificaciones.

Se pesaron 0.6 g (con aproximación de 0.01 g) de muestra (para jitomate fresco se usó la cáscara y la muestra pulverizada para deshidratado), se colocaron en un tubo para centrifuga de 50 mL (con tapa a rosca) cubierto con papel aluminio que contenía previamente 5 mL de 0.05% (w/V) hidroxibutiltolueno (BHT) en acetona, 5 mL de etanol, y 10 mL de n-hexano. Se centrifugaron las muestras a 1000 rpm durante 15 minutos a 0 °C en centrifuga refrigerada Damon PR-J. Luego se agregaron 3 mL de agua deionizada y se centrifugaron 5 minutos más en iguales condiciones.

Posteriormente, se dejaron en reposo a temperatura ambiente por un lapso de 5 minutos para permitir la separación de fases polares y no polares. Se midió la

absorbancia de la capa superior (capa de hexano) en cubetas de cuarzo de 1 cm de paso a una longitud de onda de 503 nm en un espectrofotómetro marca Hach DR 6000. Se utilizó como blanco n-hexano. Se estimó el contenido de licopeno de cada muestra usando la absorbancia leída y el peso de la muestra con la ecuación (4).

$$\begin{aligned} \text{Licopeno} \left( \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \text{ muestra} \right) &= \frac{A_{503} \times 1L \times 10mL}{\frac{17.2 \times 10^4}{M \times \text{cm}} \times 10^3 \text{mL} \times \text{kg muestra}} \\ &= \frac{A_{503} \times 5.81 \times 10^{-8}}{\text{kg muestra}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Licopeno} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ muestra} \right) &= \frac{A_{503} \times 536.9 \text{g} \times 1L \times 10^3 \text{mg} \times 10mL}{\frac{17.2 \times 10^4}{M \times \text{cm}} \text{mol} \times 10^3 \text{mL} \times 1\text{g} \times \text{kg muestra}} \\ &= \frac{A_{503} \times 0.0312}{\text{kg muestra}} = \frac{A_{503} \times 31.2}{\text{g muestra}} \end{aligned} \quad (4)$$

Donde  $17.2 \times 10^4 / M \times \text{cm}$  es el coeficiente molar de extinción para licopeno en hexano.

Se trabajó con una longitud de onda de 503 nm para minimizar la interferencia con otros carotenoides.

Cada muestra se analizó por triplicado (Fish *et al.*, 2002 citado por Urfalino, 2011).

En las Figuras 23 y 24 se presentan algunas imágenes de la extracción y estimación de absorbancias para licopeno.



Figura 23. Extracción de licopeno.



Figura 24. Estimación de absorbancias.

#### 4.10 Extracción y cuantificación de $\beta$ -caroteno, método espectrofotométrico

Para poder llevar a cabo la cuantificación mediante el método espectrofotométrico, fue necesario hacer una curva de calibración previa del mismo, utilizando como referencia  $\beta$ -caroteno puro utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific Multiskan Go.

Para la extracción del  $\beta$ -caroteno se preparó una solución de proporción 2:1:1 de Hexanos, acetona y etanol. Se pesaron 5 gramos de zanahoria molida en el caso de la deshidratada y 5 gramos de la zanahoria fresca rayada en trozos muy pequeños.

Se colocaron los 5 gramos en tubos falcon de 50 mL y se taparon muy bien para que no les diera luz con papel aluminio y se etiquetó cada muestra. Se agregaron 40 mL de solución hexanos acetona y etanol en cada tubo con la muestra correspondiente.

Se pusieron a agitar durante 24 horas y después se centrifugaron a 5000rpm durante 10 minutos a 4 °C en una centrífuga marca Thermo Scientific Sorvall Biofugue Primo R., posteriormente se sustrajo la fase orgánica de cada tubo y se filtró con una membrana nylon de 0.45  $\mu$ m.

Por último se realizó un barrido a 400 a 600 nm de la fase orgánica en un espectrofotómetro UV-visible y la concentración se calculó con la ecuación (5) propuesta por el Método de Alsavar *et al.*, 2005:

$$\frac{\mu g}{g} = (A * volumenfinal * 10^4) / (A_{cm}^{1\%} * peso de muestra ) \quad (5)$$

Donde:

$\mu$ g/g = Microgramos de carotenoides/gramo de muestra.

A = Absorbancia de 450 mm.

Volumen final = Volumen en mL de la solución antes de la lectura.

$A_{cm}^{1\%}$  = Coeficiente de absorbancia del  $\beta$ -caroteno = 2592.

Peso de la muestra se expresa en gramos.

En las Figura 25 se presentan imágenes de la extracción de  $\beta$ -caroteno de las diferentes muestras.



Figura 25. Preparación y extracción de b-caroteno.

#### 4.11 Estimación de color

Para poder evaluar el color se molieron muy bien las muestras deshidratadas con la ayuda de un molino de cuatro cuchillas marca Osterizer, Figura 26. Se determinó el color a los sólidos granulados de jitomate y zanahoria, éste se evaluó con un colorímetro MINOLTA- CR-300. Para su medición se tomaron tres puntos de medición por muestra. El instrumento se calibró con un plato cerámico de color blanco. La escala de color que se utilizó fue CIE  $L^*a^*b^*$  la

cual es una escala uniforme en la que el espacio de color está organizado en forma de cubo.



Figura 26. Molido de muestras deshidratadas de jitomate y zanahoria.

Posteriormente se calcularon el ángulo de tono ( $h_{ab}$ ) que se utiliza para distinguir el tono, atributo de una sensación visual según el cual una superficie parece ser semejante a uno de los colores percibidos: rojo, amarillo, verde o azul, o a una combinación de dos de ellos consecutivos.

El croma ( $C^*_{ab}$ ) que es medida de la pureza del color; los colores no saturados contienen una proporción de luz blanca. Los colores saturados no contienen luz blanca. Estos parámetros se hallan mediante las ecuaciones (6) y (7).

$$h_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (6)$$

$$c^*_{ab} = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (7)$$

El valor máximo de  $L^*$  es 100 que representa una perfecta reflectancia difusa (blanco), el valor mínimo es 0, el cual representa el negro. Los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , no tienen un límite numérico específico. Cuando  $a^*$  es positiva representa el rojo y cuando es negativa el verde. Cuando  $b^*$  es positivo representa amarillo y cuando es negativo azul.

En el espacio cromático cilíndrico CIE- $L^*C^*h^\circ$ , valores de ángulo de tono ( $h^\circ$ ) de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  indican una tendencia que va del color rojo paulatinamente que cambie por combinación con el amarillo hasta definirse este último. De  $90^\circ$  a  $180^\circ$  la tendencia es del amarillo al verde. En relación con el croma ( $C^*$ ), para determinado ángulo, éste indicaría cuan puro o intenso es el color en un a escala de 0 a 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Figura 27).

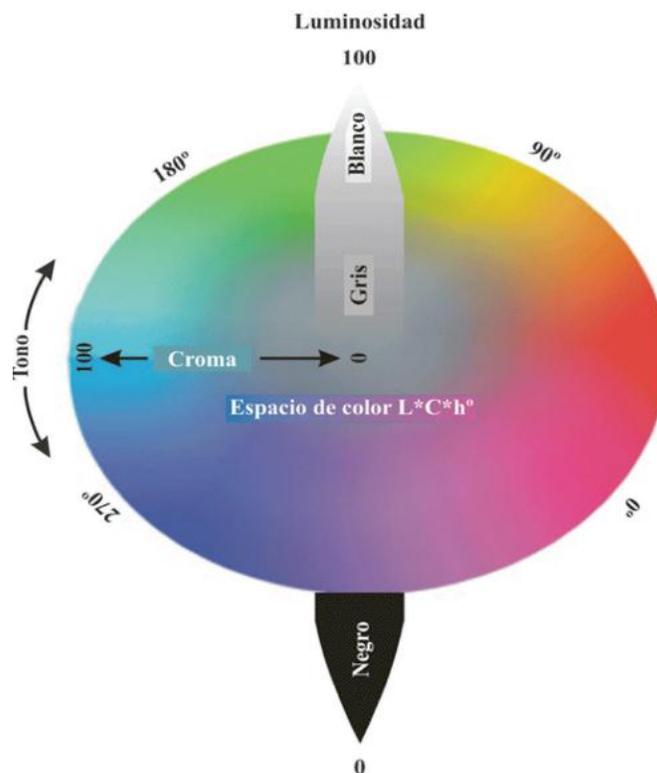


Figura 27. Representación del espacio cromático cilíndrico CIE- $L^*C^*h^\circ$  (a veces identificado esférico). Fuente: Padrón-Pereira et al., 2012.

#### **4.12 Análisis estadístico**

Todas las muestras se hicieron por triplicado. Se realizó un análisis de Anova y de pruebas de Tukey para determinar las medias que fueron diferentes a las mismas con el programa statgraphics XV.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Cinética de deshidratado de las diferentes condiciones

Se hicieron las gráficas de tiempo contra humedad y las de humedad contra velocidad para ver el comportamiento de cada condición durante su deshidratado.

#### 5.1.1 Curvas de humedad en el deshidratado de zanahoria y jitomate

##### a) Zanahoria

En la Figura 28 se muestra la humedad final en zanahoria deshidratada.

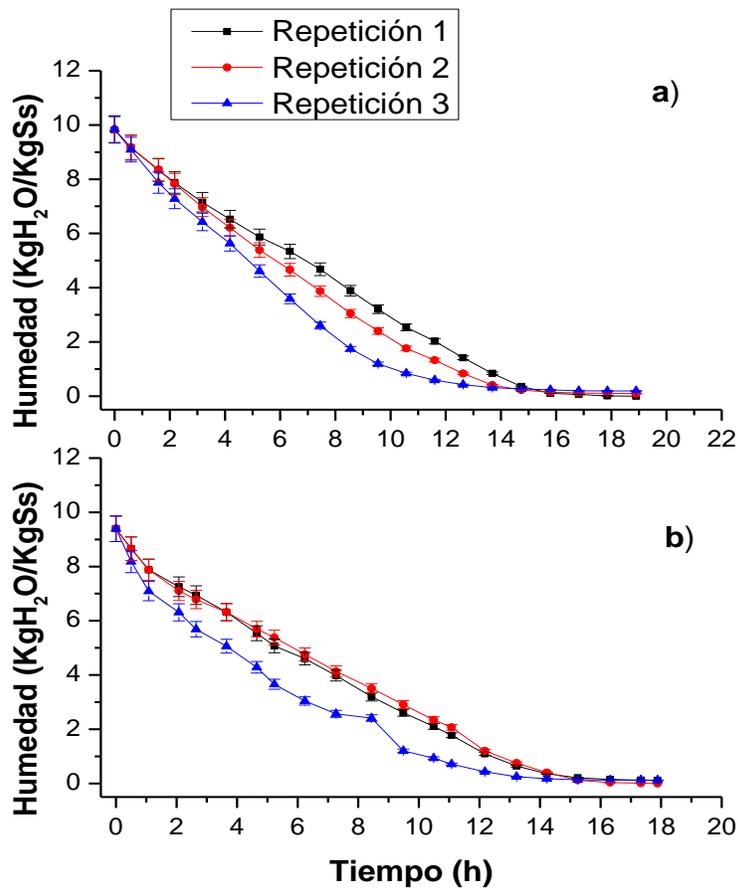


Figura 28. Humedad en función del tiempo en el deshidratado de zanahoria, (a) sin escaldar a 50 ° C, (b) con escaldado a 50 ° C.

Se puede observar que la zanahoria escaldada tardó una hora menos en deshidratar que la que no se escaldó. En ambas gráficas, las repeticiones muestran el mismo comportamiento con respecto al tiempo. La humedad inicial en zanahoria fresca fue de 91% y la humedad final para zanahoria escaldada fue de 10.2% y para la que no se escaldó fue de 9.1%.

En la Figura 29, se muestran los resultados de zanahoria deshidratada a 60°

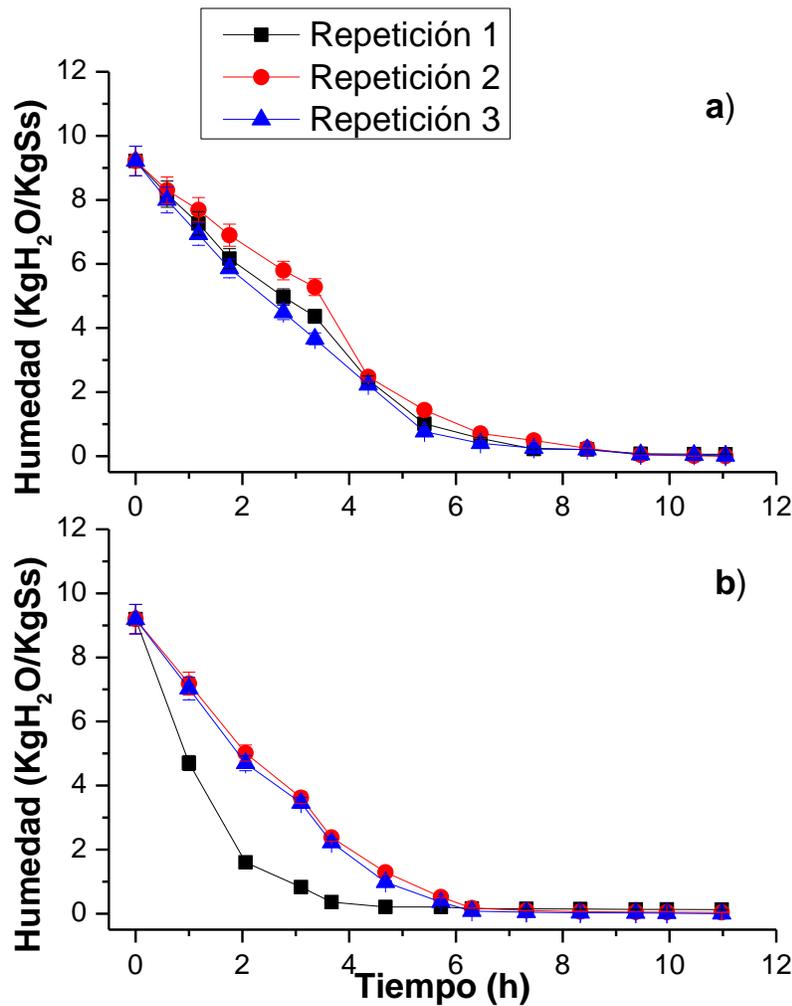


Figura 29. Humedad en función del tiempo en el deshidratado de zanahoria, (a) sin escaldar y (b) escaldada a 60 °C.

El tiempo necesario para el deshidratado de zanahoria a 60 °C en cada caso fue el mismo. Al tiempo 0 ambas zanahorias tenían 9.2 (Kg H<sub>2</sub>O/Kg Ss). La humedad inicial en zanahoria fresca fue de 91%, la humedad final de zanahoria sin escaldar fue de 9.3% y la zanahoria escaldada presentó una humedad de 7.9%.

La mayor pérdida de humedad entre una muestra que se escaldó y otra que no se sometió al pre-tratamiento se debe a que cuando una muestra se somete a escaldado se ablandan los tejidos y al momento de deshidratar se facilita la difusión del agua hacia la superficie del producto, por lo tanto hay menos humedad al final del deshidratado y el tiempo del proceso también disminuye.

La zanahoria escaldada y deshidratada a 50 °C tardó 18 hrs, mientras que la deshidratada a 60 °C tardó solamente 11 horas, es decir, la deshidratada a con el pre-tratamiento a 60 °C dio una ventaja de 38% en el tiempo, por lo tanto, nos ayuda al ahorro de energía empleada en el proceso.

### **b) Jitomate**

En la Figura 30 se muestra la humedad en función del tiempo en el deshidratado de jitomate a 50 y 60 °C. En este gráfico, es claro que el jitomate a 60 °C se tardó 7 horas menos en deshidratar que el que se puso a 50 °C, por lo que se redujo en un 39% el tiempo de deshidratado. La humedad inicial en el jitomate era de 93%, la humedad final para jitomate a 50 °C fue de 15.4 % y la del jitomate a 60 °C fue de 13.64%. De acuerdo a estos resultados, la temperatura es un factor determinante en el deshidratado tanto para el tiempo del proceso de

secado como en la humedad final alcanzada, esto implica un ahorro de energía.

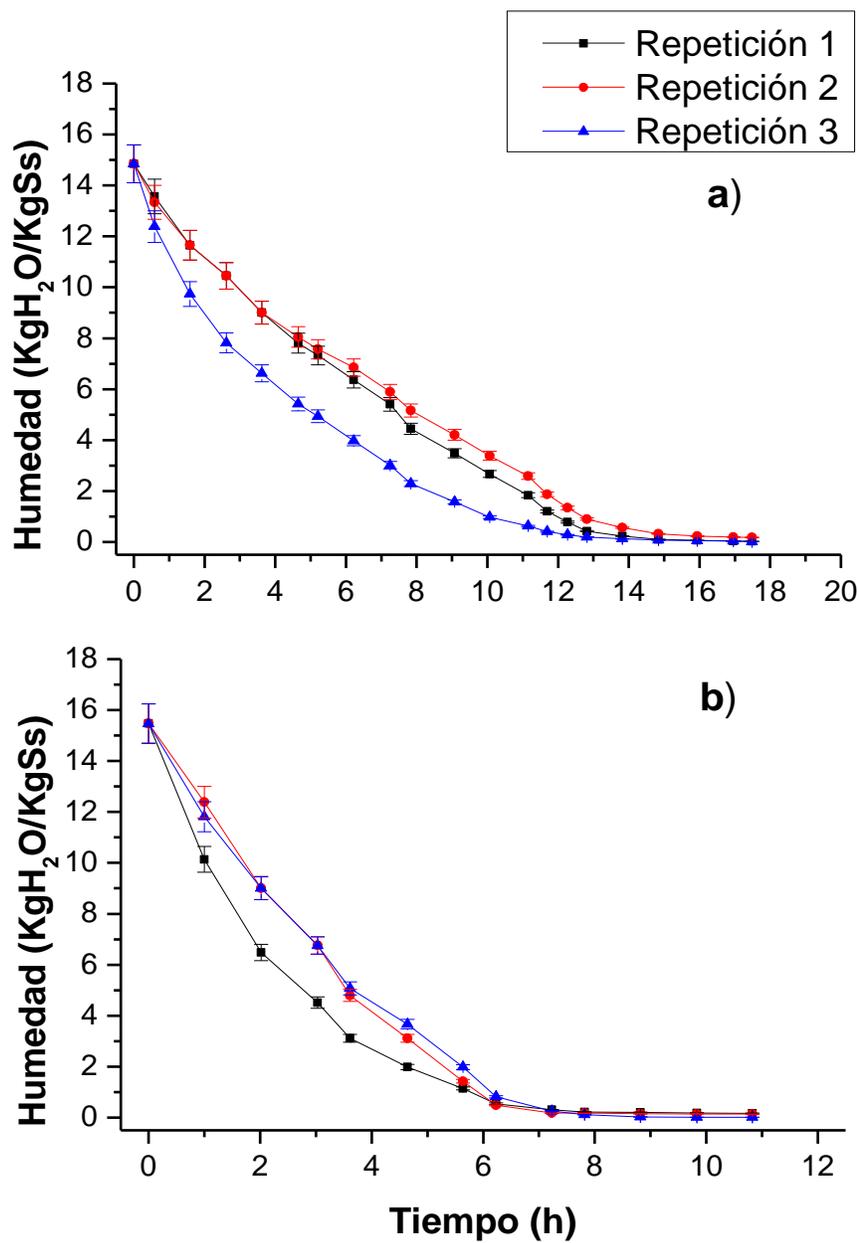


Figura 30. Humedad en función del tiempo en el deshidratado (a) Jitomate deshidratado a 50 °C (b) jitomate deshidratado a 60 °C.

### 5.1.2 Curvas de velocidad de deshidratado en función de la humedad de la zanahoria y jitomate

#### a) Zanahoria

En la Figura 31 se presentan las curvas de velocidad de deshidratado en función de la humedad de la zanahoria a 60 °C, con y sin pre-tratamiento de escaldado.

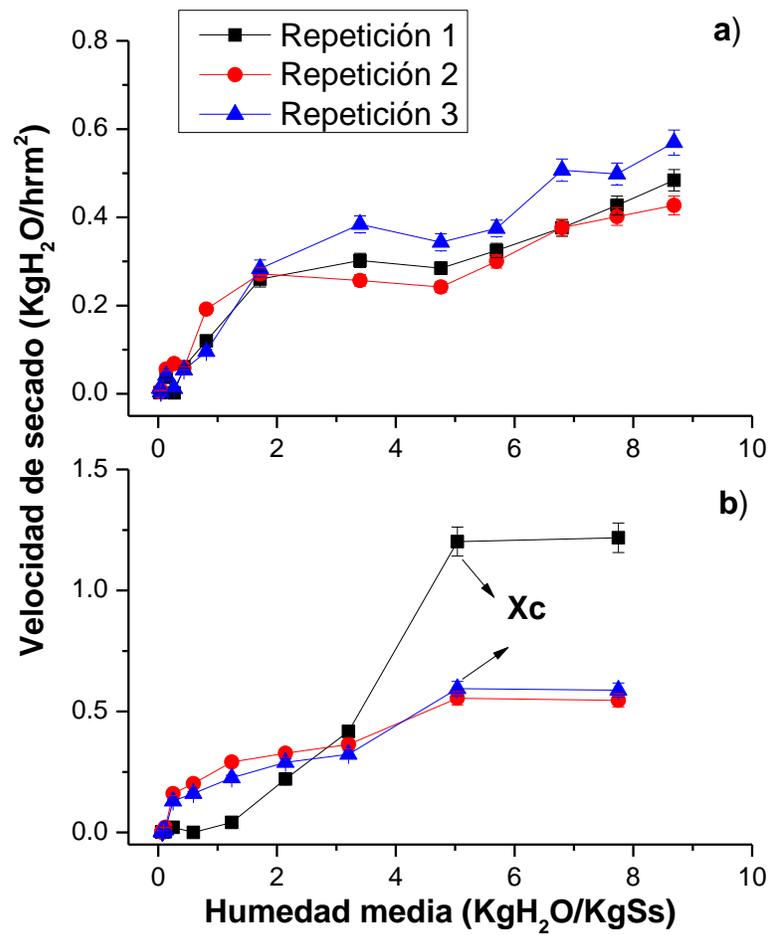


Figura 31. Velocidad de deshidratado en función de la humedad de la zanahoria (a) sin escaldado a 60 °C y (b) con escaldado a 60 °C.

La velocidad de deshidratado en el producto escaldado es casi el doble y aparentemente hay un periodo de velocidad constante que no se observa en la zanahoria sin escaldar. La humedad crítica ( $X_c$ ) es 5.03 Kg H<sub>2</sub>O/ Kg SS. Este periodo de velocidad constante favorece la pérdida de humedad del producto y se debe a que durante el escaldado hay un cambio de estructura del producto en donde este se vuelve más poroso lo que facilita una rápida difusión del agua hacia la superficie de la zanahoria.

En la Figura 32 se presenta la velocidad de deshidratado a 50 °C en zanahoria con y sin pre-tratamiento de escaldado.

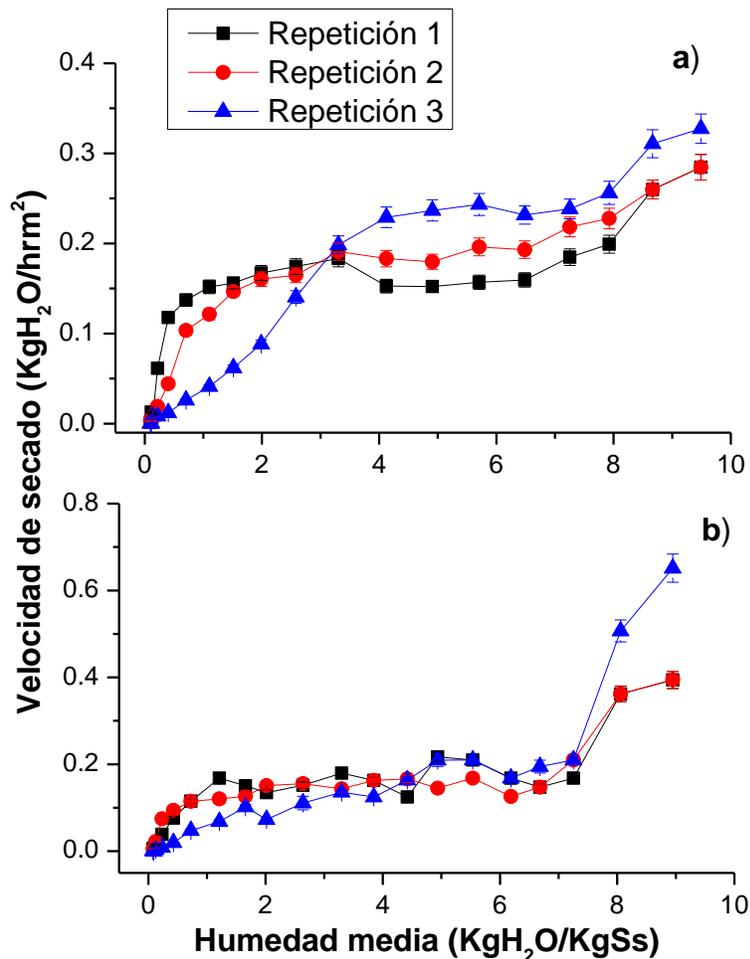


Figura 32. Humedad contra velocidad de deshidratado en zanahoria (a) sin escaldar a 50 °C. (b) escaldado a 50 °C.

En el producto escaldado rápidamente pierde humedad, la velocidad de secado es casi el doble esto debido al cambio en la estructura de la zanahoria por el escaldado. No se presenta humedad crítica ( $X_c$ ) en ninguna condición.

La Figura 33, muestras las curvas de velocidad de deshidratado de jitomate a 50 y a 60 °C.

### b) Jitomate

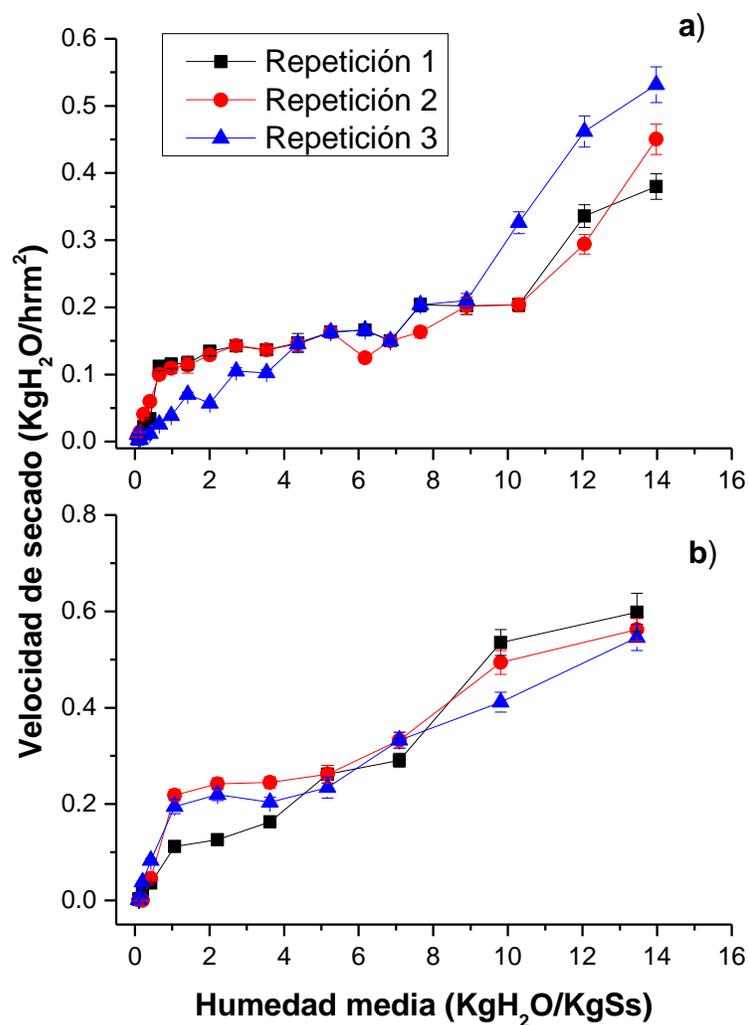


Figura 33. Velocidad de deshidratado en función a la humedad (a) jitomate deshidratado a 50 °C (b) jitomate deshidratado a 60 °C.

La velocidad de deshidratado es visiblemente mayor en deshidratado a 60 °C y el comportamiento de las curvas es más uniforme. No se presenta humedad crítica ( $X_c$ ) en ninguna condición. La velocidad de secado a las 2 temperaturas fue diferente, en el caso del tratamiento a 60°C esta velocidad fue un 12% mayor que la velocidad de secado a 50 °C. Debido que a la temperatura de 60 °C se tiene una mayor velocidad de secado, se presenta un menor tiempo del mismo a esta condición, ya que se favorece una mayor difusión de las moléculas de agua hacia la superficie para ser evaporadas durante el proceso.

## 5.2 Contenido de humedad

### 5.2.1 Humedad en jitomate

Los resultados de humedad inicial y final se presentan en la Figura 34 para jitomate.

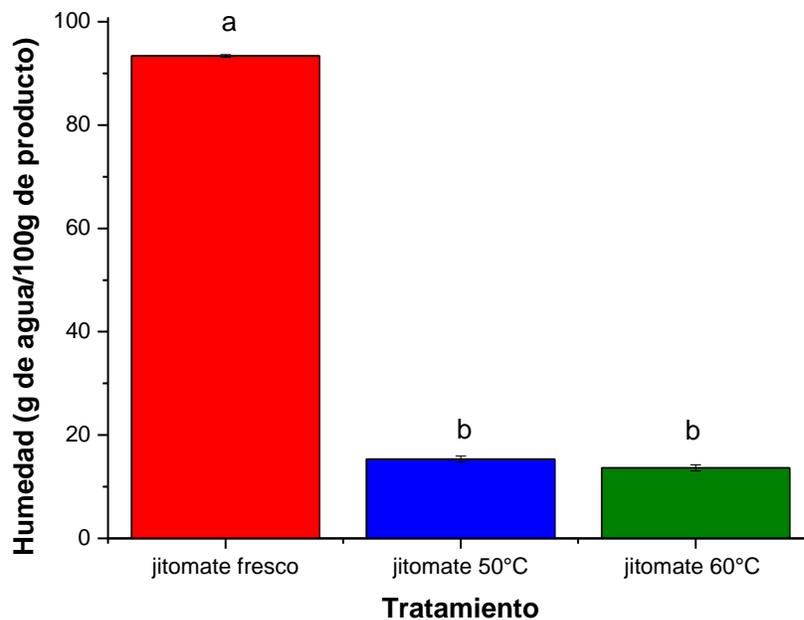


Figura 34. Porcentaje de humedad para cada tratamiento en jitomate.

Los resultados obtenidos muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas entre las muestras deshidratadas a ambas temperaturas, por lo que al final se obtuvieron humedades parecidas en los productos deshidratados, con una humedad del 15.3% para jitomate deshidratado a 50 °C y una de 13.6% para el deshidratado a c, respecto a la del jitomate fresco que fue de 93.4%.

Resultados similares fueron encontrados por Monsalve (2007), quien afirma que el jitomate fresco posee un contenido de humedad de 94.4% mientras que uno deshidratado a aproximadamente 52 °C posee un valor de humedad entre 14.62% y 10.52%.

### 5.2.2 Humedad en zanahoria

Los resultados de humedad inicial y final se presentan en la Figura 35 para zanahoria

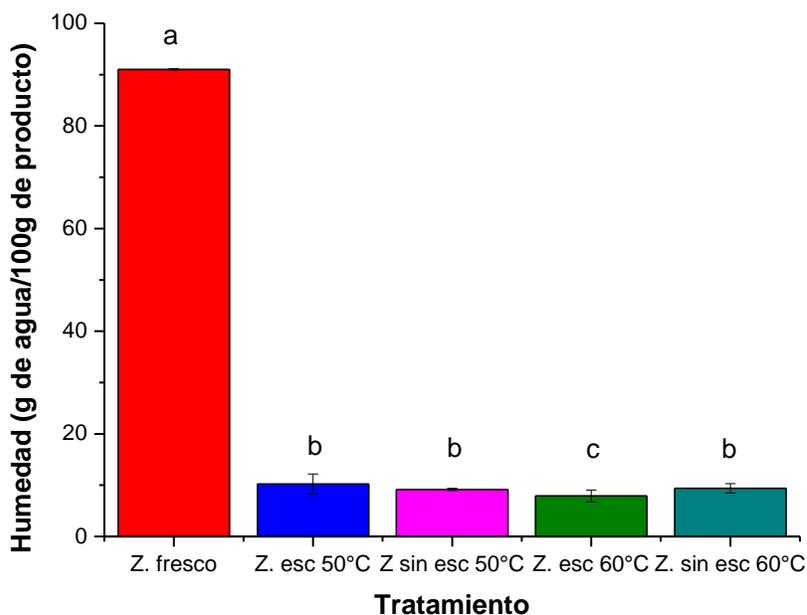


Figura 35. Porcentaje de humedad en zanahoria para cada tratamiento en zanahoria.

La humedad en zanahoria fresca es de 91%. Los resultados obtenidos de la humedad en las zanahorias deshidratadas a 50°C, no muestran diferencias significativas, por lo que a esta temperatura el pre-tratamiento de escaldado no tiene influencia sobre la variable de humedad. Mientras que a la temperatura de 60 °C si hay diferencia significativas entre los dos tratamientos en donde se observa que las zanahorias escaldadas perdieron más humedad durante el secado que aquellas sometidas a la misma temperatura sin el escaldado; por lo que para esta temperatura el proceso de escaldado si muestra una influencia en el valor final de la humedad del producto. En este sentido, se puede decir, que el proceso de escaldado aparentemente facilitó el secado obteniéndose el beneficio de una menor cantidad de agua en el producto final, lo cual ayudaría a preservarlo por más tiempo.

Los resultados finales de humedad obtenidos en las muestras deshidratadas, coinciden con los reportados por León (2007), quien afirma que la humedad final en una muestra de zanahoria deshidratada debe estar entre 6 y 14%.

### **5.3 Contenido de licopeno**

En la Figura 36 se presenta el contenido de licopeno en el jitomate para cada tratamiento.

Las temperaturas de deshidratado de 50 °C y 60 °C no mostraron diferencias significativas entre sí en los resultados. Ambas muestras deshidratadas sufrieron una pérdida significativa de aproximadamente el 80% de licopeno con respecto al jitomate fresco.

El contenido de licopeno en jitomate fresco se encontró dentro del rango propuesto por Waliszewski y Blasco (2010), que sugieren que algunas variedades rojas de jitomate llegan a contener más de 15 mg/100 g de material crudo.

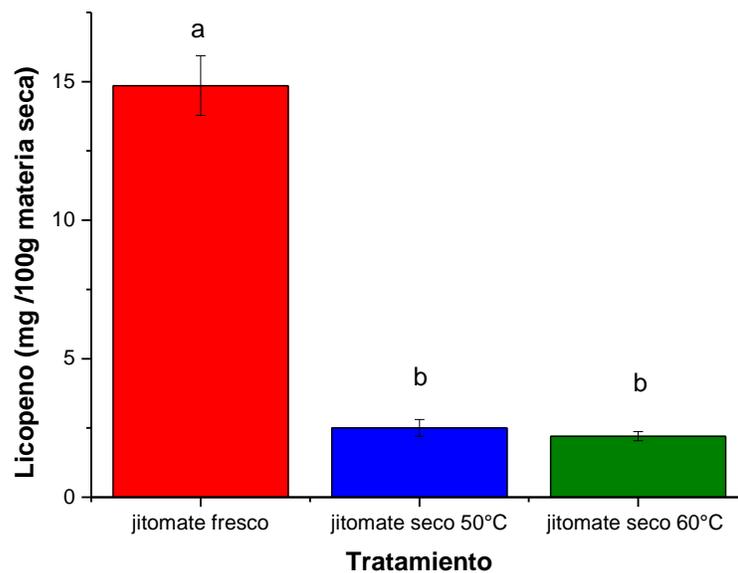


Figura 36. Valores de contenido de Licopeno por cada tratamiento (mg/100g de materia seca).

La disminución radical del contenido de licopeno pudo haber sido resultado del tiempo que tardó la muestra deshidratándose, esto debido a lo reportado por Gómez-Gómez (2009), quien afirma que una temperatura de 50 °C en las primeras 12 horas no afecta el contenido de licopeno, sin embargo, después de 12 horas se ve afectado, en este caso estas muestras tardaron cerca de 18 horas deshidratándose.

#### 5.4 Contenido de $\beta$ - caroteno

En la figura 37 se pueden observar los valores de  $\beta$ -caroteno para cada uno de los tratamientos.

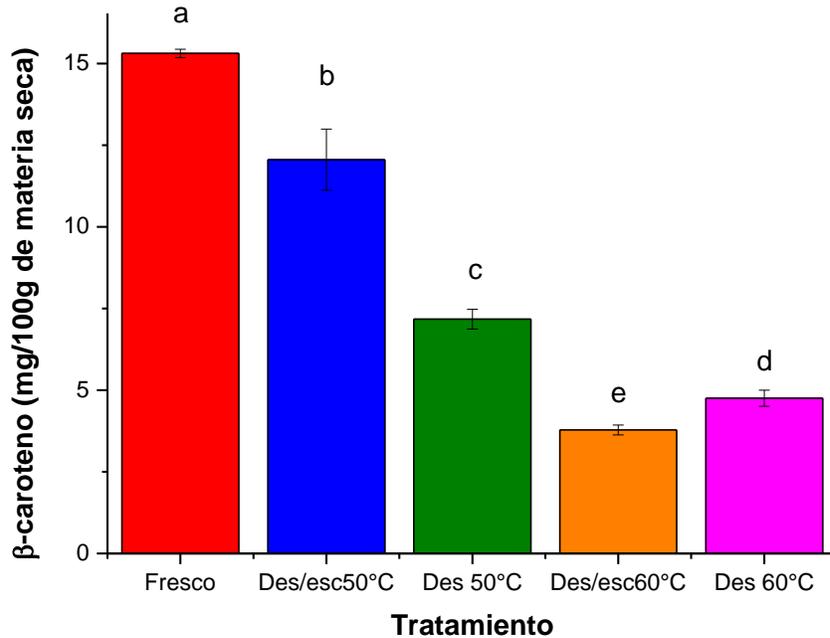


Figura 37. Valores de contenido de  $\beta$ -caroteno por cada tratamiento (mg/100g de materia seca).

Todas las muestras presentan diferencias significativas entre sí. La temperatura a 60 °C influyó considerablemente en el contenido de  $\beta$ -caroteno con respecto a la zanahoria fresca, debido a que la zanahoria sin escaldado presentó el 67% de pérdida de dicho compuesto, mientras que la escaldada presentó una mayor pérdida de 75%, por lo que el escaldado en este caso no benefició la conservación de dicho carotenoide. Las zanahorias deshidratadas a 50 °C sufrieron menos pérdidas, las que no se escaldaron presentaron un 50%, mientras que las escaldadas solo sufrieron un 17% de pérdida, por lo que, en este caso, el escaldado resultó ser benéfico.

Los resultados en zanahoria fresca fueron mayores a los reportados por la USDA (*s.f.*), sin embargo, muy parecidos y dentro del rango reportado por Vidal-

Montero (2013), quien afirma que el contenido de  $\beta$ -caroteno en zanahoria fresca va de 1.161 hasta los 64.350 mg/100g.

Por otro lado, Uurrea *et al.* (2012), obtuvo pérdidas de hasta un 30 % durante el deshidratado de zanahoria en temperaturas similares a las estudiadas en este trabajo, donde se tuvieron pérdidas del 17 % para 50 °C en las zanahorias escaldadas y de pérdidas de un 50% en los dos tratamientos que no fueron escaldados.

La diferencia en el contenido de carotenoides determinado en este trabajo y los diferentes valores de la literatura puede deberse a la variedad de zanahoria estudiada, su grado de madurez, la zona de cultivo, el tiempo de cosecha, entre otros (Uurrea *et al.* 2012).

## **5.5 Color**

### **5.5.1 Color en jitomate**

#### **a) Valor de Luminosidad (L)**

En la Figura 38 se pueden observar los valores de luminosidad (L) para cada tratamiento en jitomate.

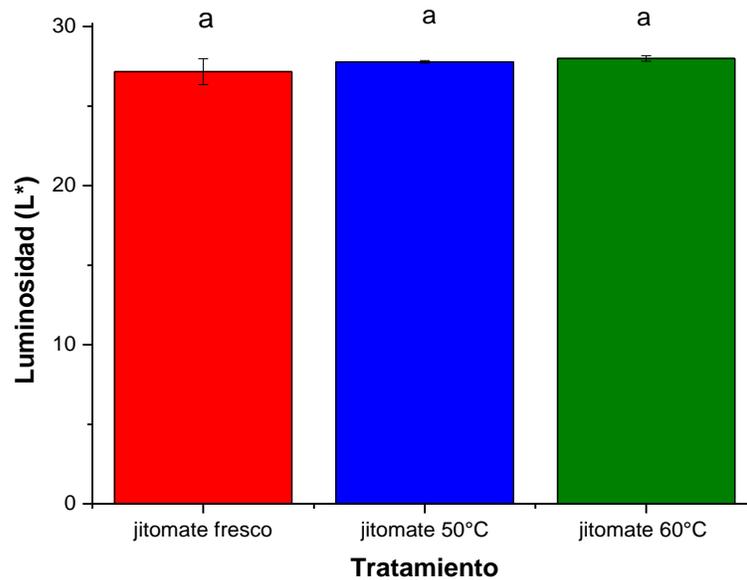


Figura 38. Valores de luminosidad (L) en jitomate sometido a diferentes tratamientos.

Los resultados indican que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los jitomates deshidratados y el fresco, por lo que las temperaturas usadas no afectaron el brillo entre las mismas muestras deshidratadas, ni de éstas respecto al jitomate fresco. El valor obtenido para luminosidad en las tres muestras ronda en 27, es decir, un valor más oscuro que claro. Nuestros resultados, no coincidieron con los reportados por Gómez-Gómez (2009), quien indican que hay un ligero aumento de la luminosidad cuando una muestra es sometida a un tratamiento térmico, entre más alta la temperatura, más claras o brillantes son las muestras.

### b) Valor de Cromaticidad (C)

En la Figura 39 se muestran los resultados de cromaticidad (C).

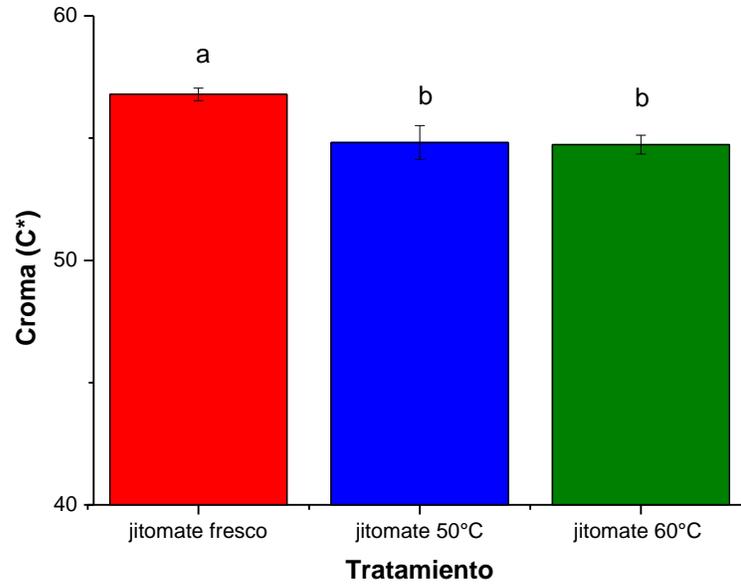


Figura 39. Valor de croma (C) en jitomate sometido a diferentes tratamientos.

Los datos muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas entre las dos muestras deshidratadas, mientras que sí las hubo entre éstas y la fresca, es decir, el color de la muestra fresca muestra un color más llamativo o puro, en tanto que las deshidratadas tomaron un color más apagado con un 4% respecto a la muestra fresca.

### c) Valor de Matiz (h°)

En la Figura 40 se muestran los valores del matiz en jitomate y sus diferentes tratamientos.

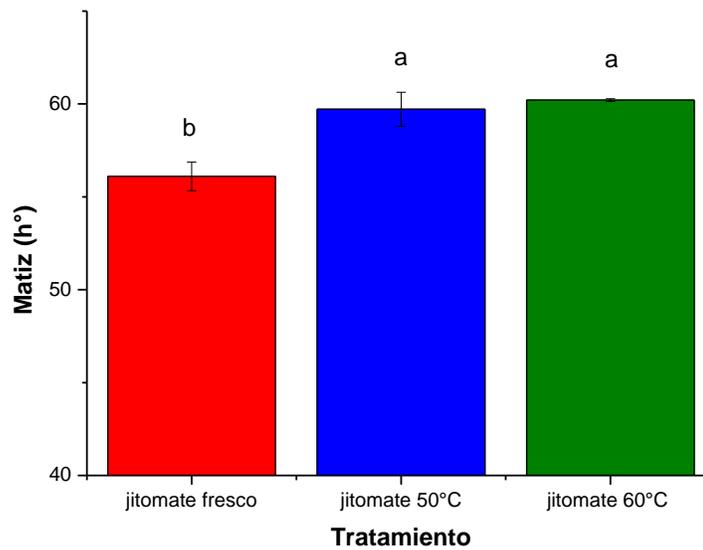


Figura 40. Valor del matiz (h°) en jitomate sometido a diferentes tratamientos.

El tono entre los jitomate deshidratados a 60 °C y 50 °C no mostró diferencias estadísticas significativas entre sí, pero sí entre éstas y el fresco. El jitomate fresco presentó un tono más rojo. El matiz en el jitomate deshidratado a 50 °C se degradó un 11% respecto al fresco, mostrando tonalidades más cercanas al naranja, en tanto que el deshidratado a 60 °C presentó un porcentaje ligeramente mayor de degradación con 13%, más cercano al amarillo. Por lo anterior, el incremento de temperatura, de 50 a 60 °C, en el secado afectó ligeramente al color, pero sin grado de significancia. Los resultados coincidieron con lo reportado por González-Díaz (2007), quien menciona que cuanto más largo es el periodo de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas de clorofilas y carotenoides presentes. Por otra parte, los resultados encontrados también coinciden con lo reportado por Gómez-Gómez (2009), quien establece que el valor para matiz (h°) en un jitomate deshidratado en rebanadas de 4 mm de espesor, debe ser de 59.86 °.

## 5.5.2 Color en zanahoria

### a) Valor de Luminosidad (L)

En la Figura 41 se puede observar la luminosidad en los distintos tratamientos.

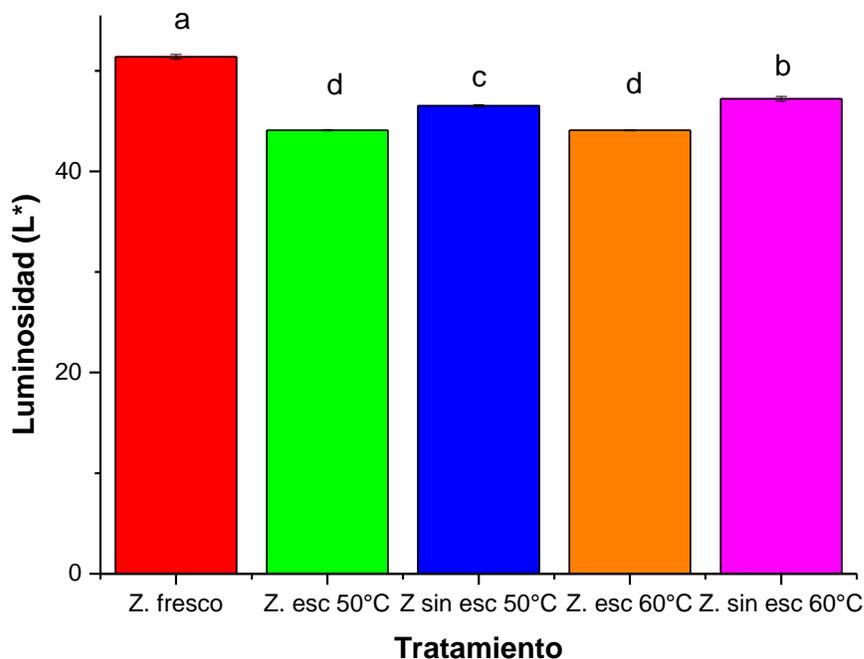


Figura 41. Valor de Luminosidad en zanahoria a diferentes tratamientos.

En todos los casos los valores de luminosidad de las muestras fueron bajos (51-44), lo cual indica que las muestras son de color mate (sin brillo). Las muestras frescas presentan un valor mayor de L, esto indica que las muestras con el proceso de deshidratado se vuelven menos brillantes.

En cuanto al tratamiento de escaldado y sin escaldado se obtuvieron diferencias significativas entre dichas muestras, en donde las muestras sin escaldar tienen un valor mayor de L, lo que indica que el tratamiento térmico del escaldado también afecta a esta variable del color y hace que las muestras sean

más oscuras o de color mate. No hubo diferencias significativas entre las muestras escaldadas a las dos diferentes temperaturas, lo cual demuestra que no hubo repercusión térmica sobre la luminosidad entre estas dos muestras gracias al pre-tratamiento de escaldado, sin embargo sus valores son menores a los obtenidos en las muestras sin escaldar, por lo que si hay un efecto adverso al comparar las muestra con pre-tratamiento con las que no lo recibieron.

### b) Valor de Cromaticidad (C)

En la Figura 42 se muestra los valores de Cromaticidad (C) para los distintos tratamientos aplicados a la zanahoria.

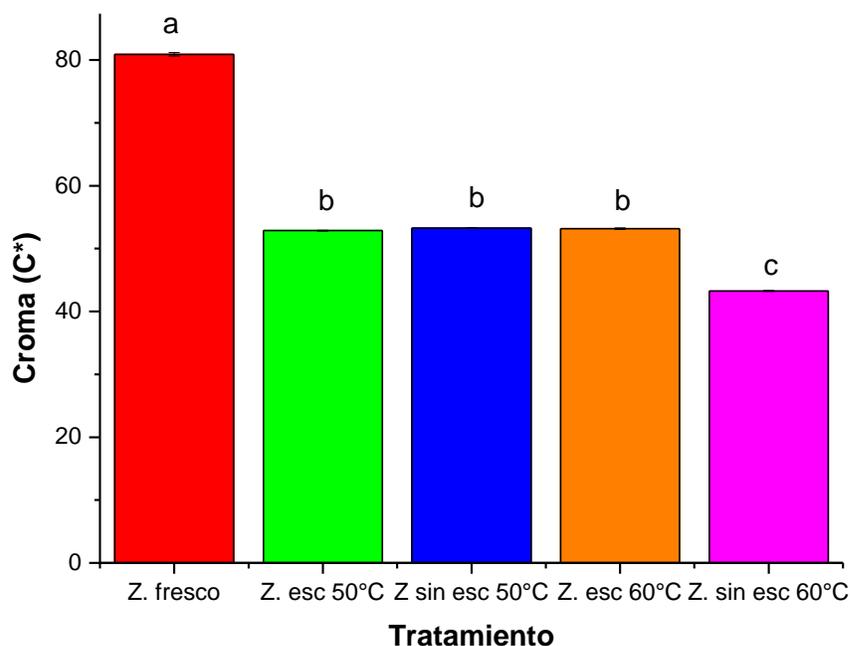


Figura 42. Valor de Croma en zanahoria sometido a diferentes tratamientos.

Los resultados de cromaticidad (C) indican que las zanahorias frescas presentaron el color más intenso. Las zanahorias sometidas a los diferentes tratamientos de deshidratado no muestran diferencias estadísticas significativas

entre sí, excepto en las que no se escaldaron a 60 °C, las cuales sí presentan una diferencia significativa con el resto de los tratamientos, demostrando que el tratamiento térmico afecta la intensidad del color, es decir, las muestras se observan más pálidas y que, la falta del pre-tratamiento de escaldado marcó más esta diferencia.

### c) Valor de matiz (h°)

La Figura 43 muestra los valores de matiz (h°) para cada tratamiento en zanahoria.

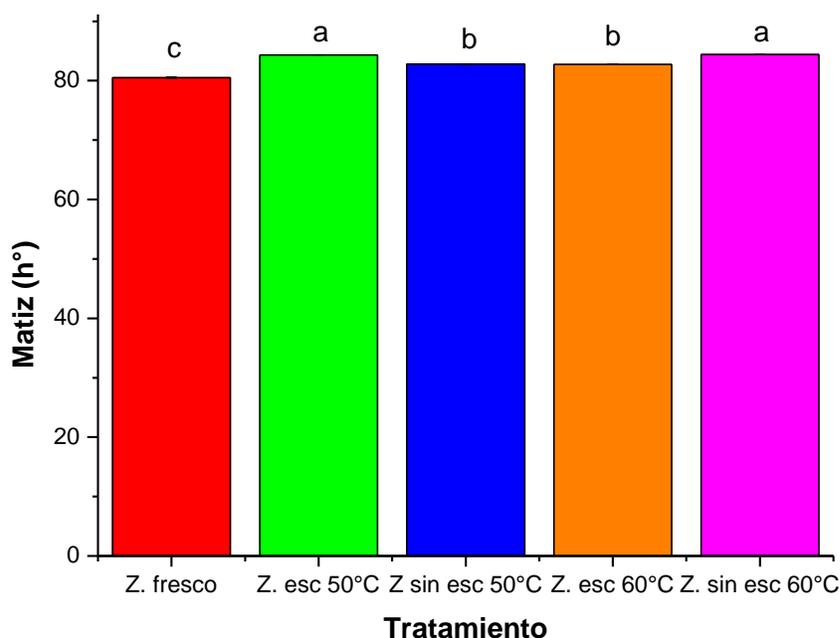


Figura 43. Valor del matiz en zanahoria sometido a diferentes tratamientos.

Los resultados indican diferencia significativa entre los tratamientos, el valor de matiz para el producto fresco fue más anaranjado que los valores obtenidos en las demás muestras, donde se observa que el valor del matiz es más cercano al color amarillo. En las muestras deshidratadas a 50 °C se observa que la

muestra sin pre-tratamiento tuvo un valor de matiz más cercano al naranja. Mientras que se observó el efecto contrario a 60°C, donde el pre-tratamiento mantuvo más la tonalidad naranja.

## VI. CONCLUSIONES

### 6.1 Zanahoria

La curva de humedad final con zanahoria escaldada a 60°C fue menor que la no escaldada, por lo que ayudó claramente el pre-tratamiento, además la velocidad de deshidratado es casi el doble que la que no se escaldó a 60 °C. Para las deshidratadas a 50 °C, el escaldado no ayudó, debido a que se obtuvo más humedad que la que no se escaldó y además tardaron más tiempo (12%) que las deshidratadas y escaldadas a 60°C.

El deshidratado a 60 °C con escaldado disminuyó el tiempo en un 38%, a diferencia del deshidratado con escaldado a 50 °C.

El contenido de humedad final con las pruebas de laboratorio no fue concluyente para ninguna condición en zanahoria.

En las muestras de zanahoria se obtuvo la mayor retención de  $\beta$ -caroteno a 50 °C y con las muestras que fueron escaldadas, por lo que esta condición es favorable para el secado de zanahoria.

El escaldado en las muestras de zanahoria a 60 °C no logró atenuar el efecto de la temperatura en el contenido final de  $\beta$ -caroteno, por lo que, en este caso, la temperatura tiene un efecto más importante sobre el contenido de éstos, por encima del pre-tratamiento.

El efecto del escaldado afecta la luminosidad de las muestras, presentando un color mate, sin importar la temperatura a la que se sometieron.

Todas las muestras sufrieron pérdida de croma respecto a las frescas, aunque los diversos tratamientos a los que se sometieron, el tratamiento de escaldado no es concluyente para este parámetro. La muestra fresca presentó un matiz o tono más cercano al naranja. Las zanahorias deshidratadas a 60 °C el pre-tratamiento tiene un efecto protector en el tono del producto.

## 6.2 Jitomate

La humedad del jitomate deshidratado a 60 °C fue un 1.75% de tiempo respecto al deshidratado a 50 °C, además, la temperatura a 60 °C disminuyó en un 39% el tiempo de deshidratado.

Las humedades finales con ambas temperaturas fueron parecidas entre sí.

El contenido de licopeno es afectado considerablemente por las temperaturas, perdiéndose cerca del 80%, no hubo diferencias significativas entre las temperaturas en el contenido de dicho compuesto. Este resultado sugiere que se deben usar temperatura menores para preservar el contenido de carotenoides o utilizar otra técnica de secado como podría ser el secado a vacío para ayudar a conservar el licopeno.

En cuanto Los parámetros de luminosidad, croma y tono de los jitomates, no mostraron diferencias significativas entre los dos tratamientos de temperatura,

Por lo expuesto anteriormente, la mejor condición para deshidratar zanahorias es la de 50 °C, con pre-tratamiento de escaldado, ya que es la condición que mejor protege el contenido de  $\beta$ -caroteno, perdiendo solo un 17%.

Debido a que no se encontraron diferencias significativas entre las muestras deshidratadas de jitomate a ambas temperaturas en los distintos parámetros (color, humedad y licopeno), la mejor condición para deshidratar jitomate fue la temperatura de 60 °C, ya que tiene un ahorro del 39% de tiempo en la operación, lo cual se traduce a un considerable ahorro de energía.

## VII. LITERATURA CITADA

1. Arias, R., Lee, T.C., Logendra, L., Janes, H. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *J. Agric. Food Chem.* 48, 1697-1702, 2000.
2. Artés-Calero, F. y Artés-Hernández, F. 2006. Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones. Universidad Politécnica de Cartagena, España, p. 1.
3. Banout, J., Ehl, P., Lojka, B., Lojkova, J. y Polesny, Z. 2005. Uso de secadores solares para el procesamiento de cultivos en la amazonía peruana. *LEISA Revista de Agroecología.* 21(1), 15-17.
4. Barra-Pérez, J.S. *Desarrollo de snacks en base a zanahoria (daucus carota l.) variedad ábaco deshidratada osmóticamente para consumidores Infantiles.* Tesis (Licenciatura, Ingeniero en alimentos). Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009. 1-2 pp.  
Beltrán-Cabrera T. P. y Veloz-Gavilanez S.A. *Diseño y construcción de un secador tipo armario para la deshidratación hasta el diez por ciento de berro, espinaca, zanahoria.* Tesis (Licenciatura, Ingeniero Químico). Riobamba, Ecuador, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias, 2014. 9 p.
5. Biswas, A.K., Sahoo, J. y Chatli, M.K. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of b-carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets, *Elsevier*, 44:1809-1813, 2011.
6. Candelas-Cadillo, M. G., Alanís-Guzmán, M. G. J., Bautista-Justo, M., Del Río-Olague, F. y García-Díaz, C. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4: 200-307, 2005.
7. Contreras-Padilla, M., Gutiérrez Cortez, E., Valderrama Bravo, M.C., Rojas Molina, I., Espinosa Arbeláez, D.G., Suárez Vargas, R., Rodríguez García, M.E. (2012). Effects of Drying Process on the Physicochemical Properties of

- Nopal Cladodes at Different Maturity Stages, *Plant Foods Human Nutrition*, 67:44–49.
8. Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Urbiola, M.I., Hernández-Quevedo, G., del Real, A., Rivera-Muñoz, E.M., Rodríguez-García, M.E. 2011. Evaluation of oxalates and calcium in nopal pads (*Opuntia ficus-indica* var. *redonda*) at different maturity stages, *Journal of Food Composition and Analysis*, 24: 38–43.
  9. Durán, G.J., Condori, M.A., Echazú, R., Diaz Russo, G. 2010. *Secador solar Híbrido para la producción continua a escala industrial del pimiento para el pimentón*, Argentina, pp. 1-12.
  10. FAO. 2012. *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo – Alcance, causas y prevención*. Roma.
  11. Fernández-Ruiz, V. y Cámara, M., Quintela, J.C. 2007. Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno, Grupo de trabajo INBIOPLAN, SEDCA, Vol. XXVII/166 Nutr Clin Diet Hosp N°3, España, pp. 37.
  12. García S.V., Schmalko M.E. y Tanzariello A. 2007. Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones, Argentina, 36 (1): 115-129.
  13. Geankoplis, C. J. 1998. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a Edición. México: CECSA. pp. 579-634.
  14. Geankoplis, C. J. 2006. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 4ta. Ed. Continental, cap.2, cap. 4, p. (7- 19, 6-28), México.
  15. Gómez-Gómez, M. S. *Deshidratado de Tomate Saladette en un Secador de Charolas Giratorias*. Tesis (Licenciatura, Ingeniero en alimentos). Oaxaca, México, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2009. 6-15 pp.
  16. González-Díaz, E. E. *Análisis comparativo de las propiedades organolépticas de zanahoria deshidratada con y sin pretratamiento osmótico*. Tesis (Licenciatura, Ingeniero Químico). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.3, 13,18 pp.
  17. Hayes, W.A., Smith, P.G., Morris A.E. 1998. The production and quality of tomato concentrates. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 7, 537-564.

18. Hernández, R.G. A., Candelas, C. M. G., Meza, V. J. A. y Minjares, F. R. Estabilidad en el color y la concentración de carotenos en zanahorias escaldadas a diferentes temperaturas. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (12°, 2010, Guanajuato, México). Guanajuato, México, Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango Gómez Palacio, Durango, México, 2010. Pp.1-6.
19. Hernández-Rodríguez, J. y Quinto Diez, P. 2005. Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso. Científica, México, 9(2), pp. 63-71.
20. Hernández-Urbiola, M.I, Contreras Padilla, M., Pérez Torrero, E., Hernández Quevedo, G., Rojas Molina, J.I., Cortes, M.E. y Rodríguez García M.E. (2010). Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at Different Maturity Stages, p. 11-16.
21. Kerkhofs, N.S., Lister, C.E., Savage, G.P. 2005. Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying. *Plant Foods Human Nutr.*, 60, 117-121.
22. *La producción de zanahoria del mundo aumentó un 50% en los últimos diez años, mientras baja en Europa del sur.* 2014. Recuperado el 13 de enero de 2015, de [http://www.poscosecha.com/es/noticias/79856/\\_id:79856](http://www.poscosecha.com/es/noticias/79856/_id:79856)
23. Ladrón de Guevara, V. R., Quiróz-Santiago, C., Acosta-Pulido, J. C., Pimentel-Ayaquica, L.A. y Quiñones-Ramírez, E. I. Hortalizas, las llaves de la energía. Revista Digital Universitaria UNAM [En línea]. 10 de agosto 2004. Volumen 5 Número 7. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2014]. ISSN: 1067-6079. Disponible en: [.http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art88/int88.htm](http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art88/int88.htm)
24. León, A. L. 2007. Determinación de las mejores condiciones en la técnica de osmodeshidratación de zanahoria variedad Royal chantenay y remolacha variedad Early Gonder, cultivadas en la granja Tesorito de la Universidad de Caldas. *Vector*, 2, 86-102.
25. Macías-Matos, C., Schweigert, F., Serrano-Sintes, G., Pita-Rodríguez, G., Hurtienne, A., Reyes, D. y Alonso-Jiménez E. Carotenoides séricos y su

- relación con la dieta en un grupo de adultos cubanos, *Revista Cubana Aliment Nutr*, 16(2):105-13, 2002.
26. MARTÍNEZ, Leonardo, VELASCO, Vicente A., RUIZ, Judith, ENRÍQUEZ, José R., CAMPOS Gisela V. y MONTAÑO, María L. Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento del tomate, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. [en línea]. 2013, no. 6 [Fecha de consulta: 16 Octubre 2014]. Disponible en: <http://revistas.inifap.gob.mx/index.php/Agricolas/article/view/2855/2395#>
27. Meléndez-Martínez, A.J. Vicario, I.M., Heredia, F.J. Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2): 150-151, 2004.
28. Méndez-Trujillo, V., González-Mendoza, D. y Gutiérrez-Miceli, F.A. 2005. Contenido de carotenoides y color extractable de nuevos cultivares en chile pimiento, *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 11 (2): 215-128.
29. Monsalve, J. y Machado, M. 2007. Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) variedad manzano. *Multiciencias*, 7 (3), 256-265.
30. Moreno-Guarín, D.C. *Evaluación y estandarización de las condiciones del proceso de deshidratación de tomate*. Tesis (Magister en Ciencia y tecnología de alimentos). Bogotá, Colombia., Universidad Nacional de Colombia, 2012.
31. Ochoa-Reyes, E., Ornelas Paz J. J., Ruiz-Cruz S., Ibarra-Junquera V., Pérez-Martínez J.D., Guevara-Arauz J.C. et al. 2013. Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Biocencia*, XV, 39-46.
32. Olorunda, A.O., Aworh, O.C., Onuoha, C.N. 1990. Upgrading quality of dried tomato. Effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *J. Sci. Food Agric*. 52, 447-454.
33. Otha, N., Roberts, A. R. 2005. *Colorimetry: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons, LTD.

34. Padrón-Pereira, C.A., Padrón-León, GM., Montes-Hernández, A.I. y Oropeza-González, R.A. Determinación del color en epicarpio de tomates (*lycopersicum esculentum* mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*, 36(1): 97-111, 2012.
35. Reina C. E. y Bonilla-Olaya J. F. 1997. *Manejo postcosecha y evaluación de calidad para zanahoria (Daucus carota L.) que se comercializa en la ciudad de Neiva, Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería, Programa de ingeniería Agrícola, Colombia. P. 21*
36. Ruiz-Martínez, J., Vicente, A.A., Montáñez-Saenz, J.C., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar-González, C.N. Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. 54, 42-48, 2012.
37. SAGARPA. 2010, Agosto. *Monografía de Cultivos: Jitomate*. (Revisado el 04 de noviembre de 2014). Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Paginas/monografias.aspx>
38. SAGARPA. 2012, Agosto. Es México potencia en producción y exportación de hortalizas; reto: diversificar oferta y mercados. *Boletín de prensa*, p. 1.
39. SAGARPA. 2013. *Producción agrícola*. Recuperado el 13 de enero de 2015, de <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
40. Salas-Garita, C., Moya-Roque, R. y Córdoba-Foglia, R. 2008. Diseño y Construcción de un Secador Solar para Madera, Forestal, Costa Rica, 5(14) p. 1-24.
41. Sánchez-Robles, J., et al. La zanahoria mexicana, una hortaliza con un crecimiento sostenido. *Claridades Agropecuarias*. [en línea]. Marzo de 2000. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2014]. Disponible en: <<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=79>>.
42. SEMINIS, 2003. El cultivo de la zanahoria (*daucus carota* L.). [Folleto]. Recuperado de <http://www.semilleria.cl/desarrollo/AdjuntosProd/372.PDF>.
43. Shi, J. y Maguer M.L. 2000. Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food procesing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 40, 1-42.

44. Slayton, Rebecca. ¿Qué significa UI en las vitaminas? *Livestrong* [en línea]. S. f. [ fecha de consulta: 8 de marzo 2015]. Disponible en: < [http://www.livestrong.com/es/significa-vitaminas-info\\_15971/](http://www.livestrong.com/es/significa-vitaminas-info_15971/)>
45. Tor, E., Herrera Ma. de los Á. 2002. *Tabla de Composición de alimentos de Uruguay*, Ministerio de trabajo y seguridad social, Instituto Nacional de Alimentación, Universidad de la República, Uruguay, pp. 16.
46. Unadi, A., Fuller, R.J., Macmillan, R.H. 2002. Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator. *Drying Tech.*, 7, 1407-1425.
47. Uquiche-Carrasco, E. y Cisneros-Zevallos, L. 2002. Efecto del escaldado y recubrimiento higroscópico sobre la calidad de zanahorias (*Daucus carota* var. *Chantenay*) pre-cortadas durante el almacenamiento, Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Órgano oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición), Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, Texas & University, College Station, USA. pp 187.
48. Urfalino, D. P., Quiroga, A. y Worlock, J. 2011. *Efecto del deshidratado en el contenido de licopeno en distintos cultivares de tomate*. Recuperado el 15 de enero de 2015, del sitio web del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: <http://inta.gov.ar>
49. USDA. *National Nutrient Database for Standard Reference Release 27* [en línea]. United States: The national agricultural Library, s.f. [fecha de consulta: 28 Febrero 2015], Disponible desde: < <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search>>.
50. Urrrea, D., Eim, V., Roselló, C., Simal, S. Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (*Daucus carota* V. Nantesa). *Revista Alimentos Hoy*, 21(27): 79-80, 2012.
51. Vidal-Montero, C. Elaboración de un pan dulce a base de harina de trigo integral adicionado con harina de zanahoria (*Daucus carota* L) con características nutricionales y funcionales. Tesis (Licenciatura, Ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos). Coahuila, México, Universidad

Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2013. 22-23 pp.

52. Von-Elbe, J.H. y Schwartz, S.J. (1993). Cap. 10 colorantes. En Fennema O.R. (Ed.), *Química de los alimentos* (pp.773-850). Estados Unidos: Acribia.
53. Waliszewski, K.N. y Blasco, G. Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Publica Mexico*, 2010;52:254-265.
  
54. Xianquan, S., Shi, J., Kakuda, Yueming J. (2005). Stability of lycopene during food processing and Storage. *J. Med. Food*, 4, 413–422.