

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL PIMIENTO MORRÓN
(*Capsicum annum* L.) EN FRESCO Y SOMETIDO A DOS TRATAMIENTOS
TÉRMICOS**

Por:

SANDRA PEDRAZA ANSELMO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2014

“El problema de si al pensamiento humano se le puede atribuir una verdad objetiva, no es un problema teórico, sino un problema práctico. Es en la práctica donde el hombre tiene que demostrar la verdad, es decir, la realidad y el poderío, la terrenalidad de su pensamiento. La disputa sobre la realidad o irrealidad de un pensamiento que se aísla de la práctica, es un problema puramente escolástico”

Marx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum
annuum* L.) EN FRESCO Y SOMETIDO A DOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TESIS

Por:

SANDRA PEDRAZA ANSELMO

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA:



M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Presidente del Jurado



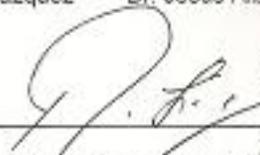
Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Sinodal



Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque

Sinodal



Dr. Ramiro López Trujillo

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2014.

DEDICATORIA

A mis padres:

Fernando Pedraza Cruz

Hoy al escribir estas líneas vienen a mi mente tantos momentos compartidos en nuestras vidas, tú me has enseñado el verdadero significado de ser mujer, me has enseñado que aún entre los mayores problemas la solución nunca será rendirse. Me siento inmensamente afortunada de contar con un amigo como tú, mi irrepetible amigo, mi querido padre que Dios te bendiga y me conceda la dicha de tenerte mucho tiempo. ¡Gracias papá, este trabajo es para ti! Te Amo Papá

Martina Anselmo Segundo

Mamá gracias, eres el ser más maravilloso del mundo, sin duda alguna la mejor mamá, gracias por todo tu amor, por estar siempre junto a mí en los momentos más difíciles, no es posible agradecerte en escasas líneas, porque no existen las suficientes palabras que pueden expresar mi gratitud por todo lo que hiciste siempre por mí. Pido a Dios que estés llena de salud porque aún tenemos mucho que reír juntas mamá. ¡¡¡Te amo mamá!!!

La mejor herencia que me pudieron dar, fue mi educación. Gracias

A mi hermana:

Araceli

Gracias por el apoyo incondicional que me brindaste cuando inicié este sueño, porque nunca titubeaste para ayudarme en todo momento. Gracias por tu tiempo, tus consejos, tu apoyo incondicional y sobre todo por ser mi ejemplo a seguir. ¡¡¡Te Quiero!!!

A mis hermanos:

Fernando y Alberto

Mis pequeños siempre con corazón alegre, gracias por los ratos felices que pasamos cuando estamos juntos, ustedes son la alegría del hogar. Los quiero mucho....

En general dedico este trabajo a toda mi familia, a mis primas, mis primos, mis tías, mis tíos, mi abuela. Gracias porque conté con el apoyo de cada uno de ustedes.

A mis amigos:

Analí, Rosa María, Ángeles, Lulú, Juan, Benjamín, Javier, Noé, que siempre estuvieron a un lado mío para ayudarme, escucharme, aconsejarme y en muchas ocasiones guiarme

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, por darme la dicha de despertar cada día de mi vida con salud y fuerza para cumplir cada uno de mis objetivos y por permitir que mis padres hoy vean el resultado de tanto esfuerzo.

A mi directora de tesis

M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui, cuyo invaluable y generoso apoyo e interés hicieron posibles la realización de esta investigación. Por la confianza brindada, sus apreciados y relevantes aportes, comentarios y sugerencias, por compartir conmigo parte de su conocimiento, y por el incansable empeño de enseñarme que las cosas se deben hacer bien para que perduren para siempre, ¡¡¡Muchas gracias!!!

Asimismo deseo expresar mi reconocimiento a:

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez, por la orientación, el apoyo y la confianza en la realización de este proyecto.

Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque, por el apoyo y el tiempo brindado en la comprensión de los datos estadísticos y por el interés que mostró para finalizar este trabajo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Mi "Alma Terra Mater" por darme la oportunidad de formarme como profesionista y a los profesores que con paciencia forjaron mi aprendizaje día a día, muchas gracias.

A mis compañeros de generación CXVI de Ingenieros en Ciencia y Tecnología de Alimentos en especial a Analí, Rosa María, Ángeles, Lulú, Juan y Benjamín. Gracias por su amistad.

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de investigación denominado **Evaluación de la capacidad antioxidante del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en fresco y sometido a dos tratamientos térmicos**, fue evaluar el contenido de fitoquímicos presentes en las tres variedades de pimiento morrón (roja, naranja y amarilla) antes y después de ser sometidos a un tratamiento térmico.

Este estudio evalúa la influencia del proceso (secado en horno de convección por gravedad y deshidratación en horno por aire forzado), el tamaño de partícula (cubos y rodajas) y la temperatura de secado (60°) sobre el contenido de vitamina C, ácido cítrico y la capacidad antioxidante total del pimiento morrón. Para cada tipo de secado se construyeron las curvas de secado y de velocidad de secado. Los resultados confirman que el suministro de aire forzado en el segundo tratamiento térmico, disminuye los tiempos de proceso.

Los resultados obtenidos muestran que el mayor porcentaje de ácido cítrico (6.27 %) y el mayor contenido de ácido ascórbico (870 mg /100 g) se obtuvieron en muestras deshidratadas en el horno por aire forzado. La capacidad antioxidante total del pimiento morrón deshidratado en el horno de convección por gravedad (5.00 mM equivalentes a Trolox) fue superior a la capacidad antioxidante del pimiento deshidratado en el horno por aire forzado (0.50 mM equivalentes a Trolox). La variedad que presenta mayor contenido de ácido cítrico, ácido ascórbico y capacidad antioxidante es la variedad roja.

Como resultado de esta investigación se puede concluir que la variedad roja de pimiento morrón posee un alto contenido de vitamina C y ácido cítrico y que el mejor método de secado es el que se efectúa en el horno de convección por gravedad porque retiene la mayoría de los fitoquímicos presentes en esta hortaliza que le brindaran la capacidad antioxidante.

Palabras clave: *capacidad antioxidante, fitoquímicos, tratamiento térmico, vitamina C, pimiento morrón.*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 El pimiento Morrón (<i>Capsicum annum</i> L.).....	5
2.1.1 Generalidades del pimiento Morrón.....	5
2.1.2 Morfología y estructura	6
2.1.3 Parámetros de calidad del pimiento Morrón	7
2.1.3.1 Color.....	7
2.1.3.2 Tamaño.....	7
2.1.3.3 Firmeza.....	7
2.1.3.4. Sólidos solubles totales.....	8
2.1.4 Composición química y valor nutricional.....	8
2.2 Antioxidantes	9
2.2.1 Clasificación de antioxidantes	10
2.2.2 Mecanismos de acción de los antioxidantes.....	12
2.2.3 Evaluación de la capacidad antioxidante total	12

2.2.4 Métodos para la evaluación de la capacidad antioxidante total.....	13
2.2.4.1 Método de la capacidad antioxidante equivalente a trolox (Método ABTS).....	14
2.3 Compuestos y capacidad antioxidante.....	15
2.3.1 Antioxidantes naturales.....	15
2.3.1.1 Vitamina E (tocoferol).....	16
2.3.1.2 Vitamina C (ácido ascórbico).....	18
2.3.1.3 Compuestos fenólicos.....	21
2.3.1.4 Flavonoides.....	22
2.3.1.5 Carotenoides.....	23
2.4 Secado	25
2.4.1 Aspectos generales sobre el secado	25
2.4.2 Mecanismo de secado.....	28
2.4.3 Cinética de secado (curvas de velocidad de secado).....	28
2.4.3.1 Periodo de velocidad constante.....	29
2.4.3.2 Periodo de velocidad decreciente.....	30
2.4.4 Factores que afectan a la velocidad y al tiempo total del secado	30
2.4.5 Secado por aire caliente	31
2.4.5.1 Secado en horno de convección por gravedad.....	31
2.4.5.2 Secado en horno por aire forzado.....	32
2.4.6 Efectos del secado en productos biológicos.....	32
2.4.7 Antecedentes del secado de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L).	33
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	35
3.1 Descripción de sitio experimental.....	35

3.2	Material vegetativo	35
3.3	Equipos y reactivos	35
3.4	Metodología	36
3.4.1	Determinación de los parámetros de calidad del pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.) fresco.....	38
3.4.1.1	Determinación de peso y tamaño del fruto.....	38
3.4.1.2	Determinación de color del fruto.....	38
3.4.1.3	Determinación de parámetros físicoquímicos.....	40
3.4.1.3.1	Firmeza.....	40
3.4.1.3.2	Sólidos solubles totales.....	40
3.4.1.3.3	Acidez titulable.....	41
3.4.1.3.4	Vitamina C (ácido ascórbico) por titulación volumétrica de óxido- reducción.....	43
3.4.1.3.5	Capacidad antioxidante total.....	44
3.4.1.3.5.1	Método ABTS.....	44
3.4.2.	Secado	47
3.4.2.1	Preparación de las muestras.....	47
3.4.2.2	Pruebas experimentales.....	48
3.4.2.3	Determinación de las curvas de secado.....	49
3.4.2.3.1	Determinación de las curvas de velocidad de secado.....	50
3.4.3.	Determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón deshidratado (acidez titulable, vitaminaC y capacidad antioxidante total)	50
3.4.4	Análisis estadístico	51

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1 Determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.)	52
4.1.1 Peso y tamaño.....	52
4.1.2 Color.....	52
4.1.3 Sólidos solubles totales	53
4.1.4 Firmeza.....	54
4.1.5 Ácidos orgánicos	55
4.1.6 Vitamina C	56
4.1.7 Capacidad antioxidante total	58
4.2 Secado	61
4.2.1 Determinación de las curvas de secado	61
4.2.1.1 Impacto del tamaño de partícula.....	63
4.2.2 Determinación de curvas de velocidad de secado	63
4.2.2.1 Determinación de los parámetros de proceso.....	66
5 CONCLUSIONES.....	68
6 RECOMENDACIONES	69
7 LITERATURA CITADA	70
8 ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional del pimiento morrón	9
Tabla 2. Clasificación de los antioxidantes, según su origen	11
Tabla 3. Clasificación de los antioxidantes según el sitio donde ejercen su acción..	12
Tabla 4. Principales estructuras de carotenos y xantofilas presentes en el pericarpio del chile.	24
Tabla 5. Trabajos reportados de secado de pimiento morrón.....	34
Tabla 6. Reactivos empleados.....	35
Tabla 7. Equipos y materiales empleados	36
Tabla 8. Valores de peso y dimensión del fruto para pimiento morrón fresco	52
Tabla 9. Resultados de color (L^* , a^* , b^*) del pimiento morrón fresco.....	52
Tabla 10. Contenido de vitamina C en muestras de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L), bajo dos métodos de deshidratado y en fresco.....	56
Tabla 11. Contenido de vitamina C en muestras de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L) deshidratadas en diferentes tamaño de partícula; cubos y rodajas.	58
Tabla 12. Determinación de la capacidad antioxidante total del pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.)	59
Tabla 13. Determinación de la capacidad antioxidante total del pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.) en base al tamaño de partícula	61
Tabla 14. Parámetros de caracterización del proceso determinados a partir de las curvas de velocidad de secado	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplar de pimiento morrón <i>Capsicum annum</i> L.....	6
Figura 2. Inhibición del radical libre por donación de un electrón.....	10
Figura 3. Estructura química del tocoferol	16
Figura 4. Estructura química del ácido ascórbico	18
Figura 5. Oxidación del ácido L-ascórbico.....	19
Figura 6. Estructura de los flavonoides	22
Figura 7. Estructura química de flavonoides presentes en el chile	23
Figura 8. Graficas de la velocidad de secado constante: a) Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo, b) Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre (Geankoplis, 1998).....	29
Figura 9. Esquema de un secador de horno o estufa.....	31
Figura 10. Diagrama de flujo del desarrollo experimental	37
Figura 11. Determinación de tamaño y peso del pimiento morrón	38
Figura 12. Determinación de color mediante un Colorímetro Konica Minolta Modelo CR-400.....	39
Figura 13. Parámetros de color CIELab: A) Representación tridimensional de los parámetros cromáticos y B) Coordenadas de color CIEL ab en el plano.	39
Figura 14. Determinación de firmeza.....	40
Figura 15. Determinación de sólidos soluble totales (° Brix)	41
Figura 16. Determinación de ácido cítrico (acidez titulable)	42
Figura 17. Determinación de vitamina C, por titulación volumétrica	44
Figura 18. Determinación de antioxidantes totales en pimiento morrón.	47
Figura 19. Secuencia de la preparación de las muestras a deshidratar.	48
Figura 20. Fotografía de horno de convección por gravedad (Quincy Lab AF Model 40)	49
Figura 21. Fotografía de horno con corriente de aire (Yamato, Modelo DKN602C. U.S.A).....	49
Figura 22. Muestras de pimiento morrón deshidratado	51

Figura 23. Medias de sólidos solubles totales de cada uno de los colores del pimiento morrón	54
Figura 24. Variación de la firmeza para el pimiento morrón en sus tres colores	55
Figura 25. Medias de ácido cítrico (%) de cada uno de los colores del pimiento morrón.....	56
Figura 26. Medias de vitamina C (mg /100g) de cada uno de los colores del pimiento morrón	57
Figura 27. Capacidad antioxidante medida en milimoles equivalentes Trolox por gramo (mM) para los extractos de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L) en sus tres diferentes estadios de maduración.	60
Figura 28. Curvas de humedad del sólido vs tiempo de secado: a) Rodajas deshidratadas en horno de convección por gravedad, b) Rodajas deshidratadas en horno por aire forzado, c) Cubos deshidratados en horno de convección por gravedad, d) Cubos deshidratados en horno por aire forzado.	62
Figura 29. Curvas de velocidad de secado de pimiento morrón variedad roja, para técnica de convección por gravedad, a) Cubos y b) Rodajas.	64
Figura 30. Curvas de velocidad de secado de pimiento morrón variedad roja, para técnica por aire forzado, a) Cubos y b) Rodajas.	65

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

Los antioxidantes cumplen una función biológica protectora, contra la formación de radicales libres responsables del daño celular y enfermedades crónico-degenerativas como obesidad, diabetes, cáncer y aquellas relacionadas con el envejecimiento. Un radical libre es una molécula o átomo que presenta un electrón no apareado, que al formarse puede interactuar rápidamente con moléculas orgánicas tales como proteínas, lípidos, carbohidratos e incluso con el ADN, provocando en ellas diversas alteraciones estructurales en la fisiología de las células, la mayoría de estos radicales libres son altamente reactivos, han sido relacionados directamente con el proceso de envejecimiento del individuo; entre los antioxidantes figuran los tocoferoles, el ácido ascórbico, los polifenoles, antocianinas, carotenoides y ácidos fenólicos, que son considerados como antioxidantes naturales, los cuales pueden reducir la incidencia de enfermedades degenerativas (Badui, 2006; Pineda *et al.*, 1999).

El pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) es una planta herbácea anual originaria de Sudamérica, y su fruto, un alimento primordial en la dieta básica de la población, por poseer una excelente “calidad nutracéutica”. En México el principal productor es Sinaloa con una producción anual de 618,110 toneladas que genera ingresos de 262 mdp aproximadamente, debido a lo anterior esta hortaliza es de gran importancia en el país, sus efectos benéficos se le atribuyen a sus altos niveles de vitamina C y compuestos antioxidantes como lo son los carotenoides, flavonoides y ácidos fenólicos (Sukrasno y Yeoman, 1993; Palevitch *et al.*, 1995; Matsufuji *et al.*, 1998; Krinsky, 2001; Daood *et al.*, 2006). Los principales antioxidantes presentes en esta hortaliza son: el ácido ascórbico, los tocoferoles, los flavonoides (robinutina, luteolina, kaempferol, naringenina, quercetina, hesperidina, catequinas, etc.), antocianinas, carotenoides (α -caroteno, β -caroteno, criptoxantina, luteína, zeaxantina) y ácidos hidroxicámicos (ácido ferúlico, cinámico, gálico, clorogénico) (Learson, R; 1997). La capacidad antioxidante total del pimiento morrón varía considerablemente de acuerdo a la variedad genética, etapa de madurez y

condiciones de cultivo, sin embargo también el contenido de estos compuestos fitoquímicos presentes en frutas y vegetales depende de la forma como éstos se consumen, ya sea frescos o procesados (De Querioz *et al.*, 2009).

Distintos métodos de conservación de alimentos pueden ser responsables de un incremento o reducción de la capacidad antioxidante, depende de varios factores, tales como su estructura química, ubicación de la matriz y algunas otras interacciones con otros componentes de los alimentos. Kaur y Kappor (2001) consideran que el someter a un tratamiento térmico a los alimentos, tendrá como consecuencia un cambio en su cuantificación de antioxidantes. Sin embargo existen estudios donde indican que el procesamiento térmico incrementa el valor nutricional de los alimentos por el aumento en la bioaccesibilidad del contenido de antioxidantes (Dewanto *et al.*, 2002).

La complejidad química de los antioxidantes hace difícil la cuantificación de antioxidantes individuales presentes en la matriz de las frutas, vegetales y hortalizas, debido a esto su actividad antioxidante se evalúa directamente de extractos vegetales (Rodrigo-García *et al.*, 2006).

Los métodos más utilizados para la evaluación de la capacidad antioxidante son los que utilizan al catión radical 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS^{•+}) y al radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH[•]), según lo descrito por Kuskoski *et al.*, (2005). Ambos presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones (escasa luminosidad y temperatura ambiente) aunque también muestran diferencias (precisión y estabilidad ante las especies reactivas de oxígeno).

El método empleado para la determinación de la capacidad antioxidante en pimiento morrón es el método ABTS que se basa en la reducción de la coloración verde/azul producida por la reacción del radical 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) con el antioxidante presente en la muestra.

1.1 Justificación

Mientras más avanza el conocimiento en la ciencia de los alimentos, más debemos convencernos de lo que consumimos, actualmente, el consumo de frutas y hortalizas se ha relacionado con una disminución en la incidencia de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo conocidas como crónico-degenerativas; entre ellas figuran la obesidad, la diabetes, algunos tipos de cáncer y aquellas relacionadas con el envejecimiento. Dichos efectos benéficos a la salud han sido atribuidos a los compuestos conocidos como fitoquímicos, encontrados en un gran número de alimentos, los cuales han dado lugar a nuevas tendencias en la ciencia y tecnología de alimentos.

En la actualidad es escasa la evidencia científica que indica que el pimiento morrón posee capacidad antioxidante, sin embargo es suficiente para justificar este trabajo de investigación, el pimiento morrón contiene entre otros nutrientes compuestos bioactivos como el ácido ascórbico, flavonoides, tocoferoles, carotenoides, etc., que son sustancias responsables de brindar color a los pimientos y los hacen muy atractivos, pero su verdadera importancia no radica en el aspecto estético, sino en la capacidad que tienen de regenerar nuestras células y en acabar con los radicales libres y así protegernos contra enfermedades.

Desde la antigüedad, las enfermedades crónico-degenerativas han ido deteriorando la calidad de vida del ser humano, éstas avanzan progresivamente e incluso algunas de ellas terminan con la vida de la personas, sin que exista alguna cura para detenerlas. Algunas de las enfermedades crónico-degenerativas más comunes son el cáncer, la diabetes, la obesidad y la artritis, entre otras.

Existen reportes en donde destacan que el consumo moderado de antioxidantes de origen vegetal ayuda a la prevención de estas patologías, como es el caso del arándano, uva, granada y pimiento morrón, debido a su gran contenido de antioxidantes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del tratamiento térmico (secado en horno de convección por gravedad y secado en horno por aire forzado) sobre la cantidad de vitamina C, ácido cítrico y antioxidantes totales presentes en el pimiento morrón (*Capsicum annum* L.).

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físico-químicamente al pimiento morrón para determinar los parámetros de calidad.
- Someter las tres variedades roja, amarilla y naranja de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) a tratamiento térmico, secado en horno de convección por gravedad y secado en horno por aire forzado.
- Realizar la evaluación del contenido de vitamina C, ácido cítrico y antioxidantes totales del pimiento morrón fresco en sus tres variedades, así como de las muestras obtenidas a partir de los diferentes métodos de secado, mediante un análisis comparativo y estadístico, cuyos resultados permitirán establecer el tratamiento térmico más conveniente.
- Estudiar la cinética de deshidratación de pimiento morrón, a partir del peso inicial, y la variación del peso en función del tiempo de proceso.

1.3 Hipótesis

Ha: Los compuestos presentes en las variedades de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) poseen capacidad antioxidante, que será retenida al someterlos a tratamiento térmico, por lo cual esta hortaliza puede ser considerada una fuente potencial de compuestos antioxidantes.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

A continuación se enlistan algunas definiciones de términos que serán de gran utilidad para el entendimiento de este trabajo:

- ✓ *Antioxidante*: Es toda sustancia que hallándose presente en baja concentración respecto a la de un sustrato oxidable, retarda o previene la oxidación de dicho sustrato (Halliwell, 1990).
- ✓ *Capacidad antioxidante*: Es la capacidad relativa que tiene un alimento de bloquear los radicales libres, es decir, las sustancias nocivas para el cuerpo (García, 2007).
- ✓ *Tratamiento térmico*: Es todo proceso de calentamiento y enfriamiento realizados a propósito para obtener otras propiedades (DeGarmo, 1994).
- ✓ *Secado de alimentos*: Se entiende por secado de alimentos la extracción deliberada del agua que contienen, operación que se lleva en la mayoría de los casos evaporando el agua por adición de su calor latente de evaporación. (Catarina, UNLAP).
- ✓ *Fitoquímicos*: Son sustancias químicas de los vegetales (generadas por la propia planta). Funcionan como antioxidantes poderosos y reguladores del metabolismo que protegen contra el desarrollo de enfermedades crónicas que comienzan en la adultez (Clark, 2003).

2.1 El pimiento morrón (*Capsicum annum* L.)

2.1.1. Generalidades del pimiento morrón

En México, se estima que el área para la producción de hortalizas protegidas en el año 2009, fue de alrededor de 6000 Ha de las cuales el 70 % fueron destinadas para la producción de tomate, 15 % para pimiento morrón y 10 % para otras especies, convirtiéndose así, el pimiento morrón, en la segunda hortaliza más importante (AMHPAC, 2009).

De acuerdo con el IV Informe del Gobierno Federal, 2006 – 2012, en el primer semestre de 2010 se realizaron exportaciones por un valor de nueve mil 457 millones de dólares (MDD). Las exportaciones agroalimentarias y pesqueras en México presentan una tasa de crecimiento anual promedio de 10 %, con un valor comercial de 15 mil 500 MDD. 80 por ciento más que en los tres primeros años del sexenio anterior.

Entre los principales productos que se exportaron en el año 2010 destacan: la cerveza con 1,791 MDD; jitomate con 1,211 MDD; el aguacate con 645 MDD; el tequila y mezcal con 627 MDD y el pimiento representó divisas por 563 MDD. Estos cinco productos representan el 30 por ciento del total de las exportaciones agroalimentarias de México (www.agrointernet.com).

2.1.2 Morfología y estructura

El pimiento morrón pertenece a la Familia de las *Solanáceas* y su especie botánica es *Capsicum annum* L. Es una planta herbácea originaria de América central, cultivada actualmente por muchos países, especialmente por Hungría y otros del sudoeste Europeo. Posee frutos alargados, de interior hueco y sin jugo, está dividido de dos a cuatro costillas verticales interiores que portan las semillas, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Ejemplar de pimiento morrón *Capsicum annum* L.

El fruto es una baya hueca y deprimida, que mide de 6 cm a 12 cm, de largo y 4 cm de base, su color es variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al naranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central; son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm.

2.1.3 Parámetros de calidad del pimiento morrón

2.1.3.1 Color

El color de un fruto es una medida de calidad total y en muchas ocasiones la más importante y/o única a considerar (Nuez, 1995). El color en el pimiento morrón es debido a los carotenos y flavonoides (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003). El color verde del pimiento morrón se debe a la clorofila y algunos carotenos del cloroplasto (Marín *et al.*, 2004). El α y β -caroteno, luteína, son los responsables del color amarillo y naranja del pimiento morrón (Howard *et al.*, 2000), y el color rojo se debe a la presencia de la capsantina, capsorrubina y capsantina 5,6-epóxido.

2.1.3.2 Tamaño

El tamaño es considerado un criterio importante de calidad, el cual se puede determinar fácilmente, se puede medir el diámetro de la circunferencia, la longitud, el grosor, el peso o volumen, existen diversos estándares que dependerán del destino del producto (Wills *et al.*, 1999).

2.1.3.3 Firmeza

La firmeza es un parámetro que mide la resistencia de penetración de los tejidos del vegetal. Es un factor importante ya que la firmeza está relacionada con la sanidad del fruto, la concentración de azúcares, el pH, el sabor y el aroma del fruto, sobre todo con la coloración del mismo. La firmeza se puede determinar por procedimientos destructivos (Kader *et al.*, 1978; Riquelme, 1995).

2.1.3.4 Sólidos solubles totales

Dentro de los compuestos químicos más comunes que se determinan en frutas y hortalizas se encuentran la acidez titulable y los sólidos solubles totales.

La palabra sólidos hace referencia a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de este parámetro mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos).

Debido a la morfología de la planta del pimiento morrón, su sistema radicular es exigente a la humedad del suelo y un exceso de humedad reduce el contenido de sólidos solubles totales (Gámez, 1989). La intensidad de luz percibida por las plantas, produce un incremento en la cantidad de azúcares solubles (Janse, 1984), y también un incremento en ácido ascórbico (Davies y Hobson, 1981).

2.1.4 Composición química y valor nutricional

El pimiento morrón al igual que otros vegetales, tienen un alto valor nutricional dado por su composición, se le considera una buena fuente de vitaminas A, C, E y compuestos polifenólicos, conocidos todos ellos como compuestos con propiedades antioxidantes (Sukrasno y Yeoman, 1993; Palevitch *et al.*, 1995; Matsufuji *et al.*, 1998; Krinsky, 2001; Daood *et al.*, 2006). En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional por cada 100 g de hortaliza.

Tabla 1. *Composición nutricional del pimiento morrón*

Composición	Cada 100 g
Agua	92,1 g
Calorías	113 Kcal
Grasa	0,19 g
Proteína	0,89 g
Hidratos de carbono	6,43 g
Fibra	2 g
Potasio	177 mg
Fósforo	19 mg
Magnesio	10 mg
Calcio	9 mg
Vitamina C	190 mg
Vitamina B2	0,03 mg
Vitamina B6	0,248 mg
Vitamina A	5700 IU
Vitamina E	0,69 mg
Niacina	0,5 mg

Fuente: www.botanical-online.com/pimimientos.htm

2.2 Antioxidantes

Los antioxidantes son un conjunto de moléculas reconocidas por su capacidad para neutralizar los radicales libres; estas sustancias han surgido como una alternativa para combatir las deficiencias asociadas al estrés oxidativo, tales como las enfermedades cardiovasculares, reumáticas y aun evento tan común en el ser humano como el envejecimiento (López y Echeverri, 2007). Un antioxidante puede ser definido como una sustancia que hallándose presente en los alimentos a bajas concentraciones, con respecto a las de un sustrato oxidable, retarda o inhibe significativamente la oxidación de dicho sustrato (Halliwell y Gutteridge, 1998).

Los antioxidantes ayudan a prevenir la degradación de biomoléculas como proteínas, lípidos de membrana, carbohidratos y ácidos nucleicos, así como el ataque de los RL (radicales libres) sobre dichas moléculas biológicas. Un radical libre es aquella especie química, ya sea átomo, molécula o parte de ésta, con existencia

independiente que posee uno o varios electrones desapareados en su orbital más externo (Fridovich, 1978).

Un radical libre es considerado como un agente oxidante, se genera cuando una molécula pierde un electrón, quedando de esta manera con un electrón desapareado, lo que provocara la inestabilidad de la molécula o átomo. Para que dicha molécula se estabilice nuevamente buscara un electrón. La formación de radicales libres en el sistema humano es muy problemático, debido a que muchas moléculas de nuestro cuerpo participan en las funciones esenciales fisiológicas normales del organismo. Muchas de estas moléculas que se encuentran en contacto con los radicales libres terminan siendo destruidas o alteradas (Cox, S. 2001).

Los antioxidantes suministran el átomo de hidrógeno necesario al radical libre para establecer su estructura electrónica como se muestra en la Figura 2.

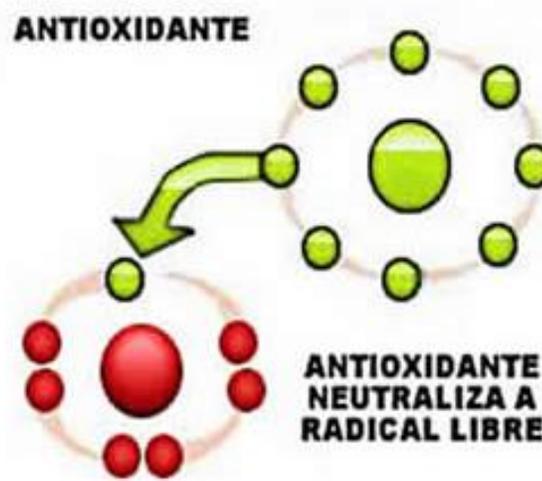


Figura 2. Inhibición del radical libre por donación de un electrón

Fuente: <http://amazing-glutathione.com/que-son-radicales-libres.html>

2.2.1 Clasificación de antioxidantes

Los antioxidantes han sido clasificados de diferentes maneras. Reylli *et al.*, (1990) clasificaron a los antioxidantes según su origen, como se muestra en la Tabla 2. Otra de las clasificaciones citadas por Venereo (2002), es según su sitio de acción (Tabla 3).

La acción de los antioxidantes depende de la función apropiada de otros miembros del sistema antioxidante. La cantidad de protección proporcionada por cualquier antioxidante depende de su concentración, de su reactividad hacia la especie reactiva del oxígeno y del estado de los antioxidantes con los cuales interactúa (Vertuani *et al.*, 2004).

Tabla 2. Clasificación de los antioxidantes, según su origen

ORIGEN	ACCIÓN
EXOGENOS	
Vitamina E	Neutraliza el oxígeno singlete
	Captura radicales libres de hidroxilo
	Captura O ₂
	Neutraliza peróxidos
Vitamina C	Neutraliza oxígeno singlete
	Captura radicales libres de hidroxilo
	Captura O ₂
	Regenera la forma oxidada de la vitamina E
Betacarotenos	Neutraliza al oxígeno singlete
Flavonoides, licopenos	
ENDÓGENOS	
➤ Enzimáticos	Cofactores
Superóxido dismutasa (SOD)	Cobre, sodio, manganeso
Catalasa (CAT)	Hierro
Glutathion Peroxidasa (GPx)	Selenio
➤ No enzimáticos	
Glutathión	Barreras fisiológicas que enfrenta el oxígeno a su paso desde el aire hasta las células
Coenzima Q	
Ácido tiocínico	Transportadores de metales (transferían y Ceruloplasmina)

Reylli et al., 1990

Tabla 3. Clasificación de los antioxidantes según el sitio donde ejercen su acción.

Intracelular	Membrana	Extracelular
Catalasa	Vitamina E	Ceruloplasmina
Peroxidasa	Betacarotenos	Transferinas
DT-deafarasa	Ubiquinol-10	Lactoferinas
Sistemas		Albúminas
Proteolíticos		Haptoglobinas
Proteínas que ligan metales		Vitamina C
Sistemas proteolíticos		Ácido úrico
Vitamina C		Vitamina E

Venereo, 2002

2.2.2 Mecanismos de acción de los antioxidantes

Venereo (2002) describió los siguientes mecanismos de acción de los antioxidantes:

- *Antioxidantes primarios o preventivos:* previenen la formación de nuevos radicales libres (RL) por encima de los niveles normales para el organismo. En este grupo se encuentran diversas proteínas con núcleos enlazados o coordinados a metales.
- *Antioxidantes reparadores:* enzimas que reparan o eliminan las biomoléculas que han sido dañadas por el ataque de RL.
- *Antioxidantes secuestradores:* elimina el exceso de radicales libres (ácido ascórbico, carotenoides, glutathion y la mayoría de las enzimas antioxidantes).

2.2.3 Evaluación de la capacidad antioxidante total

Actualmente se requiere de la evaluación de la capacidad antioxidante para determinar la eficiencia de los antioxidantes naturales, en relación a la protección de productos vegetales contra el daño oxidativo. Pero realmente ¿qué se mide cuando se determina la actividad antioxidante de un alimento? Lo primero a destacar es que la medición de la actividad antioxidante de un alimento supone la cuantificación de todas las moléculas antioxidantes presentes en éste.

La mayor parte de los ensayos empleados para la determinación de la actividad antioxidante de un alimento se basan en la medición de:

- La capacidad que tienen los compuestos antioxidantes para reaccionar con un radical libre determinado.
- El potencial que algunos compuestos tendrían para reducir un complejo formado entre iones Fe y el reactivo TPTZ (2, 4,6-tripirildil-s-triazina).

En años recientes se han desarrollado varios métodos para evaluar la capacidad antioxidante total, sin embargo existe la necesidad de estandarizarlos para diferentes productos y así obtener medidas comparables.

Prior *et al.* (2005) sugirieron tres ensayos para estandarizar la determinación de la actividad antioxidante, a saber, la capacidad de absorbanza del radical oxígeno (*Oxygen Radical Absorbance Capacity; ORAC*) y la capacidad antioxidante equivalente Trolox (*Trolox Equivalen Antioxidant Capacity; TEAC*), que utilizan AAPH (2,2'-Azobis (2-amidino-propane) dihydrochloride) y ABTS (2,2' (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonicacid) como generadores de radicales libres, respectivamente, y el método de Folin-Ciocalteu, cuyo fundamento está sustentado en una reacción de óxido-reducción, por lo que se considera una forma de medir actividad antioxidante en función del contenido de fenoles en productos vegetales.

2.2.4 Métodos para la evaluación de la capacidad antioxidante total

Existen diferentes métodos para obtener dichos compuestos, desde una simple maceración hasta la utilización de fluidos súper cítricos y ultrasonido (Rogalinski *et al.*, 2004).

- Método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) (Pokorny *et al.*, 2005).
- Método del radical DPPH· (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) (Mermelstein, 2008).
- Método FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) (Huang *et al.*, 2005)
- Método TRAP (Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter) (Mermelstein, 2008).
- Captura del anión súper oxido.
- Método del 3-etilbenzotiazoline-6-sulfanato (ABTS).

- Método de n, n-dimetil-fenilenddiamina (DMPD).
- Método de la Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity).

2.2.4.1 Método de la capacidad antioxidante equivalente a trolox (Método ABTS)

Este método es conocido como TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) o método ABTS. Se basa en la inhibición de la absorbancia del catión radical 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato) ($ABTS^{\cdot+}$), el cual tiene un espectro de absorción a una longitud de onda característica mostrando una absorción máxima principal a 415 nm, y una absorción máxima secundaria a 660, 735 y 820 nm. El método original se basó en la activación de metamioglobina, actuando como peroxidasa, con H_2O_2 mediante la formación del radical ferrilmioglobina, el cual entonces oxida el compuesto fenotiazina ABTS, formando el catión radical $ABTS^{\cdot+}$

El uso normal de Trolox, como un estándar permite al ensayo ser llamado TEAC; los resultados son expresados como equivalentes Trolox, que es la concentración de la solución Trolox (mmol/L) con un potencial antioxidante equivalente a 1.0 mmol/L de solución de la sustancia bajo investigación.

Como el catión radical $ABTS^{\cdot+}$ se puede disolver en un medio acuoso y en un medio de etanol acidificado este ensayo es capaz de probar la actividad antioxidante de compuestos hidrofílicos y lipofílicos. Este método se ha utilizado para evaluar los efectos antioxidantes en hortalizas y plantas medicinales chinas, en colectas de albahaca, y en frutos tropicales entre otros cultivos.

Estos ensayos difieren entre sí, en término de sustratos, pruebas, condiciones de reacción y métodos de cuantificación. Es muy difícil comparar los resultados de diferentes ensayos (Kuskosi *et al.*, 2005).

Los antioxidantes pueden reducir radicales libres principalmente por dos mecanismos: transferencia de un electrón y transferencia de un átomo de hidrogeno. ABTS, FRAP y DPPH son métodos que cuantifican la transferencia de un electrón, y ORAC y TRAP cuantifican la transferencia de un átomo de hidrógeno.

2.3 Compuestos y capacidad antioxidante

2.3.1 Antioxidantes naturales

Los antioxidantes en los alimentos pueden originarse de compuestos que se encuentran naturalmente en productos alimenticios o bien de sustancias adicionadas durante su procesamiento.

El cuerpo produce antioxidantes naturales que contrarrestan los efectos negativos de la oxidación. Pero a medida que una persona envejece, produce menos antioxidantes. Por esta causa expertos recomiendan agregar antioxidantes a la dieta. Es conocido que dietas ricas en frutas y vegetales son capaces de prevenir o disminuir el efecto de ciertas enfermedades crónico-degenerativas, incluidas las cardiovasculares y el cáncer.

Debido a esto, muchos científicos han investigado las propiedades fitonutracéuticas de los productos agrícolas, específicamente su capacidad antioxidante natural. Los antioxidantes naturales más ampliamente estudiados son los flavonoides, polifenoles, carotenoides, fibra, vitaminas (A, B, C, E), tocoferoles, calcio y selenio. Estos compuestos y elementos pueden actuar independientemente o en combinación con agentes protectores mediante una variedad de mecanismos.

Actualmente se ha descubierto que muchos metabolitos secundarios sintetizados en las plantas, son una buena fuente de compuestos con capacidad antioxidante; tales como tocoferoles, carotenoides, flavonoides y vitamina C entre otros. Razón por la cual hoy en día se determina el nivel de antioxidantes en frutas, hortalizas, especias, plantas medicinales y en alimentos procesados (Prior y Cao, 1998; Tosun *et al.*, 2003).

A lo largo de los años un gran número de estudios han sugerido que el consumo de frutas, verduras, granos, hierbas y otros alimentos pueden reducir el riesgo de enfermedades crónico-degenerativas, potencialmente atribuidos a los compuestos fenólicos (Proteggente *et al.*, 2002). Estos protegen a las plantas contra lesiones del tejido ya que pueden oxidarse y combinarse con otros componentes, también pueden servir como defensa contra herbívoros. Los compuestos fenólicos

naturales son considerados multifuncionales, ya que pueden actuar como agentes reductores (eliminando radicales libres) y atrapadores del oxígeno singulete (Pratt y Hudson, 1990).

2.3.1.1 Vitamina E (tocoferol)

Evans y Bishop (1922) descubrieron la vitamina E (α -tocoferol) mientras estudiaban la influencia de la nutrición en la reproducción de ratas, observándola como un factor esencial para la reproducción. El nombre tocoferol, viene de “tokos” (parto) y “phorein” (dar a luz) y el sufijo “-ol” fue añadido para indicar la naturaleza fenólica. Hoy en día el término “vitamina E” es un nombre general para todos los derivados tocol y tocotrienol que presentan la actividad biológica del α -tocoferol. Esta vitamina solamente es sintetizada por plantas, está presente en semillas aceitosas, hojas y otras partes verdes de plantas superiores.

En la Figura 3 se muestra la estructura química de la vitamina E. Con el nombre de tocoferoles se conocen varios compuestos con estructura química similar, y esta denominación incluye a los tocotrienoles y sus derivados; los más importantes son los α , β , γ , δ -tocoferol y el α -tocotrienol (Badui, 1999).

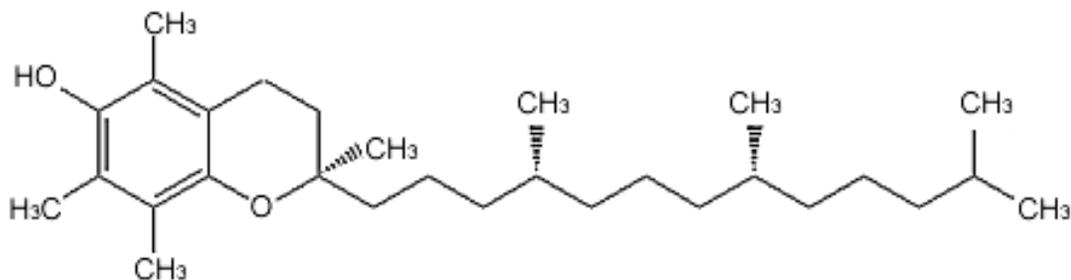


Figura 3. Estructura química del tocoferol

Fuente: Fennema, 2000

Los tocoferoles son estables en ausencia de oxígeno y lípidos oxidables, pues la velocidad de degradación de α -tocoferol incrementa rápidamente con la presencia

de oxígeno molecular y radicales libres en los alimentos. Es el antioxidante liposoluble más importante que suministra una red protectora contra el estrés oxidativo, junto con otro antioxidante como la vitamina C (Horwitt, 1992; Strain, 1992).

La vitamina E es la primer línea de defensa contra la peroxidación de ácidos grasos poliinsaturados contenidos en los fosfolípidos de membranas plasmáticas y celulares. El α -tocoferol es el componente principal de la vitamina E, por lo tanto es el más importante eliminador de radicales libres (sin embargo no el único) en el interior de las membranas y lipoproteínas (Burtor *et al.*, 1990).

El pimiento morrón (*Capsicum annum* L), especialmente en su forma deshidratada, es una excelente fuente de tocoferoles (Vitamina E).

El contenido de α y γ -tocoferol en el pericarpio del chile está ligado a la madurez. El contenido del γ -tocoferol en las semillas generalmente se incrementa cuando se encuentra en la máxima maduración (color rojo); mientras que el contenido de α -tocoferol en el pericarpio incrementa en una etapa verde hacia la maduración máxima (color rojo). Este contenido varía de acuerdo con el contenido de lípidos, etapa de maduración y morfotipo (Howard y Wildman, 2007).

Los tocoferoles son unos perfectos inhibidores contra los radicales libres. Por esta razón, estudios epidemiológicos sugieren que la vitamina E reduce el riesgo de padecer enfermedades crónicas degenerativas como algunos tipos de cáncer, enfermedades coronarias y retardar enfermedades neurológicas.

2.3.1.2 Vitamina C (ácido ascórbico)

El ácido ascórbico o vitamina C es un sinergista que se encuentra ampliamente en la naturaleza, principalmente en frutas, vegetales y frutos secos, entre éstos destacan por su contenido la acerola, grosella y fresa, siguiéndoles los frutos cítricos, que tradicionalmente han sido alimentos de referencia en cuanto al contenido de vitamina C por su elevada contribución al aporte dietético. Este ácido es esencial

para todo tejido vivo ya que es un compuesto reductor importante en el metabolismo celular.

El ácido ascórbico es una cetona cíclica, análoga a los carbohidratos, con seis átomos de carbono; contiene un enol entre los carbohidratos 2 y 3 que la hace una agente ácido y muy reductor, por lo que se oxida fácilmente (Badui, 1999). En la Figura 4 se muestra su fórmula desarrollada.

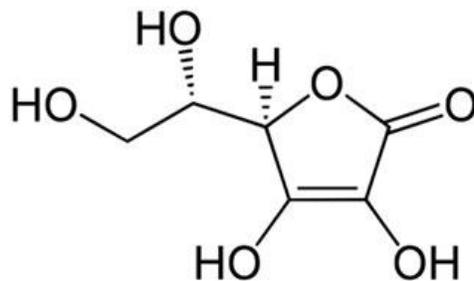


Figura 4. Estructura química del ácido ascórbico

Fuente: Fennema, 1985

El ácido ascórbico es un potente reductor, pierde con facilidad átomos de hidrógeno y se oxida de modo reversible en el organismo hacia el ácido L-dehidroascórbico, que también posee actividad de vitamina C. Sin embargo, si llega a ser hidrolizado se convierte en el ácido 2,3-dicetogulónico perdiendo irreversiblemente su actividad vitamínica (Institute of Medicine IOM, 2000), ver Figura 5. En el cuerpo humano, la regeneración del ácido dehidroascórbico a ácido ascórbico se logra mediante la acción de sistemas enzimáticos (Schlueter *et al.*, 2010).

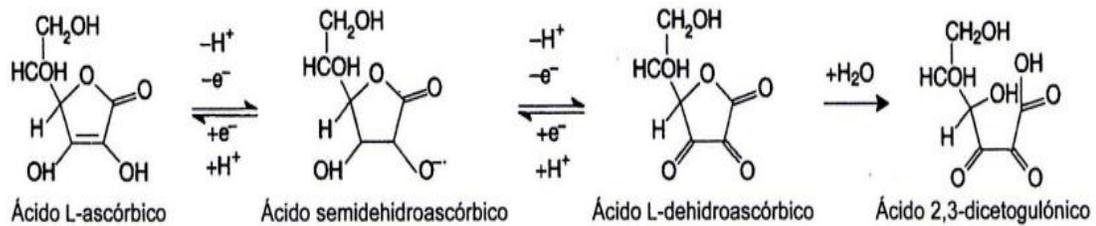


Figura 5. Oxidación del ácido L-ascórbico

Fuente: Fennema, 2010

La vitamina C funciona fisiológicamente como antioxidante debido a su elevado poder reductor, contrarrestando los efectos nocivos de las especies reactivas del oxígeno (Buettner, 1993; Schlueter *et al.*, 2010); su poder reductor está asociado a su capacidad de ceder electrones oxidándose y de esta manera evita la oxidación de otros componentes. También puede actuar como un antioxidante regenerando el α -tocoferol (la vitamina E) desde el radical de α -tocoferoxil, producido por la vía del secuestro de radicales solubles en lípidos.

La vitamina C ha sido reconocida y aceptada por la US Food and Drug Administration (FDA) como uno de los cuatro antioxidantes dietéticos, los otros tres son las vitaminas E, la vitamina A cuyo precursor es el β -caroteno, y el selenio, un componente esencial de las enzimas antioxidantes glutatión-peroxidasa y tioredoxina-reductasa.

El Panel de Antioxidantes Dietéticos y los Compuestos Relacionados con la Comida y Tabla de la Nutrición ha coincidido, en principio, con esta definición, y además tiene en consideración otros carotenoides. Se publicaron las nuevas regulaciones recientemente, en las que la FDA declaró que la vitamina C servía como un efectivo secuestrador de radicales libres para proteger a las células del daño ocasionado por las moléculas de oxígeno reactivo.

La vitamina C es un cofactor para varias enzimas involucradas en la biosíntesis del colágeno, la carnitina, y de neurotransmisores, actúa como cofactor en la

hidroxilación enzimática de la prolina a hidroxiprolina y en otras reacciones de hidroxilación, pero no es específico en estas reacciones y puede sustituirse por otros agentes reductores carentes de actividad antiescorbútica (Lehninger, 1993).

Entre las funciones corporales de la vitamina C cabe mencionar las siguientes: es necesaria para mantener la integridad del tejido conjuntivo, especialmente de las paredes capilares, actúa en la prevención del escorbuto, cataliza las reacciones de hidroxilación en la síntesis del colágeno y de la norepinefrina, participa en la amidación de las hormonas pepticas, en la regeneración de la vitamina E y protege frente al “estrés oxidativo” (Anderson *et al.*, 1987). El ácido ascórbico es el factor más eficaz en la formación del colágeno, más que sus metabolitos, aunque éstos también son activos (Davey *et al.*, 2000). Otra reacción importante de hidroxilación en la que interviene la vitamina C es la síntesis de catecolaminas. La formación y activación de estos neurotransmisores está claramente afectada, a nivel del sistema vascular, por las carencias graves de ácido ascórbico (Gershoff, 1993).

La vitamina C participa en las biosíntesis de carnitina, factor implicado en la β -oxidación a nivel mitocondrial de los ácidos grasos de cadena larga. El 80% de los ácidos grasos de la dieta es de cadena larga, por lo tanto, a pesar de las controversias respecto del papel de la vitamina C en la patología cardiovascular, es obvio que resulta indispensable para la normal oxidación de los ácidos grasos (Anderson *et al.*, 1987; Gershoff, 1993).

El ácido ascórbico se considera uno de los antioxidantes naturales más eficaces y menos tóxicos, se encuentra a elevada concentración en numerosos tejidos, si se compara con los contenidos plasmáticos, y posee las características de lo que podría considerarse un secuestrador ideal de radicales libres. Como tal, es eficaz frente a los radicales superóxido e hidroxilo, el peróxido de hidrógeno y el oxígeno singulete (Slater & Block, 1991; Halliwell *et al.*, 1995).

Entre las hortalizas, el género *Capsicum*, es considerado el que contiene mayor cantidad de ácido ascórbico, con un promedio de 150 mg en fruto (Baudui, 1993). Ibar y Serrat (1989) describen el contenido bromatológico en pimiento fresco y

encuentran que el ácido ascórbico se concentra 120 mg en 100 g de fruto. Castaños (1999), encuentra un total de 242.5 mg en 100 gramos de fruto en la composición nutritiva de pimiento. Navarro *et al.*, (2006) describen que la vitamina C en el pimiento morrón se encuentra en concentraciones desde 40 a 250mg/100 g de pimiento fresco.

Avalos *et al.*, (2007) señalan que el corte que se realice en frutos de pimientos cherry afecta el contenido de ácido ascórbico en este producto, y por lo tanto la capacidad antioxidante, al estudiar frutos refrigerados a 10°C durante 10 días, en las modalidades de enteros, sin corazón y cortados por mitad, en estos últimos perdieron mayor cantidad de vitamina C.

2.3.1.3 Compuestos fenólicos

Son metabolitos secundarios producidos por los vegetales, estos compuestos presentan en su estructura química la presencia de anillos aromáticos con grupos hidroxilos responsables de su actividad antioxidante (Cano *et al.*, 2002). Son solubles en agua porque se encuentran unidos con azúcares formando glicósidos y normalmente se localizan en las vacuolas. Entre los compuestos fenólicos naturales se encuentran los fenoles monocíclicos, los flavonoides, los fenilpropanoides, las quinonas fenólicas y las coumarinas.

En la actualidad, se ha demostrado que el estrés térmico en las plantas incrementa la producción de compuestos fenólicos como flavonoides y fenilpropanoides (Rivero *et al.*, 2001).

2.3.1.4 Flavonoides

Los flavonoides son pigmentos naturales producidos por los vegetales que se encuentran distribuidos en casi todas las partes de la planta y pueden comúnmente poseer actividad antioxidante, este compuesto bioactivo protege al organismo del daño producido por agentes oxidantes, tales como rayos ultravioleta, la contaminación ambiental, sustancias químicas presentes en los alimentos, entre otras. El organismo humano no es capaz de producir estas sustancias, por lo que

deben obtenerse mediante la alimentación o en forma de suplementos. (Martínez *et al.*, 2002).

Hoy en día el interés sobre los flavonoides se debe a su amplia actividad farmacológica, ya que poseen actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, antialérgicas, antitumorales. Entre todas, las propiedades biológicas de mayor interés han sido sus efectos antioxidantes, los cuales han sido objeto de un sinnúmero de estudios principalmente de interés clínico y nutricional (Pérez, 2003; Martínez *et al.*, 2002).

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular formados por una estructura de tres anillos con varias sustituciones. Son estas características estructurales las que aparecen como necesarias para la mejor actividad, especialmente la función antioxidante (Bast *et al.*, 1991). Su esqueleto básico de difenilpropano (C₆-C₃-C₆) consta de dos grupos fenilo (A y B) unidos por un puente de tres carbonos que forma un anillo heterocíclico oxigenado (anillo C), como se aprecia en la Figura 6.

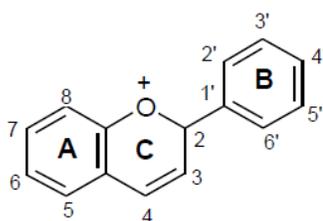


Figura 6. Estructura de los flavonoides

Fuente: Shahidi y Naczki, 1995

El pericarpio del chile es particularmente rico en flavonoides, los compuestos de mayor importancia en éste son una flavona (luteolina) y un flavonol (quercetina), además a esta clase de flavonoides se le confieren propiedades benéficas que ayudan a combatir enfermedades crónicas degenerativas tales como el cáncer de pulmón y las enfermedades coronarias (Howard y Wildman, 2007).

A continuación se muestran los principales flavonoides presentes en el Chile (Figura 7).

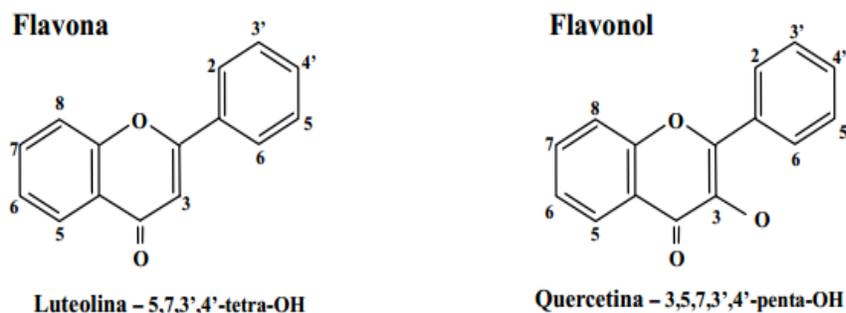


Figura 7. Estructura química de flavonoides presentes en el Chile

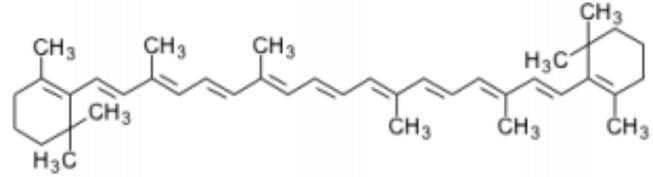
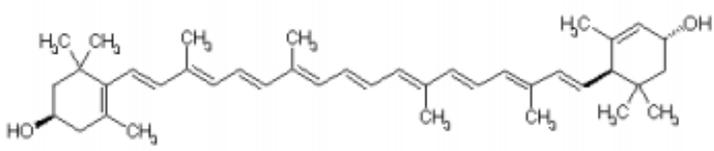
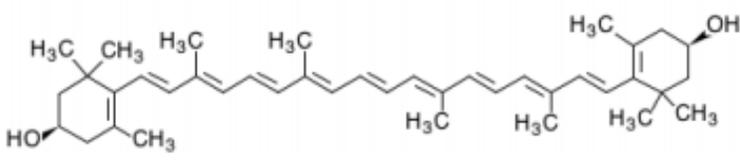
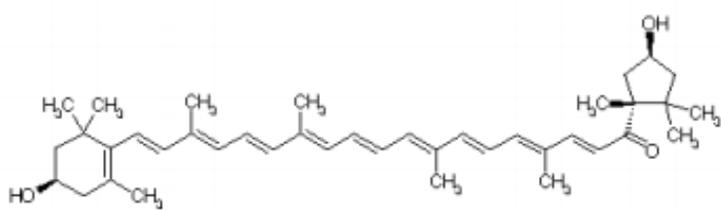
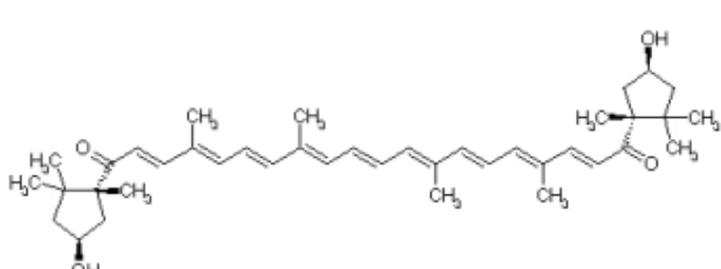
Fuente: Howard y Wildman, 2007

2.3.1.5 Carotenoides

Los carotenoides son un grupo de fitoquímicos que de manera natural se encuentran como pigmentos y son sintetizados invariablemente en los cloroplastos de las plantas superiores (Delgado-Vargas y Paredes- López, 2003). También se encuentran en las algas, bacterias, hongos y levaduras. Se estima que la naturaleza produce aproximadamente 100 millones de toneladas de carotenoides al año (Rodríguez, 1999; Che Man y Tan, 2003).

Estructuralmente los carotenoides consisten en ocho unidades de isopreno y son hidrocarburos que pueden ser lineales o con anillos cíclicos en uno o en ambos extremos terminales de la cadena hidrocarbonada. Los carotenoides hidrocarbonados son los llamados carotenos, donde se derivan los que tienen funciones oxigenadas, las cuales son llamadas xantofilas (Ong y Choo, 1997; Rodríguez, 1999; Che Man y Tan, 2003) Pueden presentar grupos oxo, hidroxilo y epoxi en diferentes posiciones (Tabla 4).

Tabla 4. Principales estructuras de carotenos y xantofilas presentes en el pericarpio del chile.

Estructura	Nombre
	B-caroteno
	Luteína
	Zeaxantina
	Capsantina
	Capsorubina

Fuente: http://www.genome.jp/kegg-bin/highlight_pathway?scale

Los carotenoides, son responsables de la coloración amarillo, naranja y rojo de las flores, frutas y vegetales (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003). Además muestran un potente efecto protector frente a varios tipos de cáncer, en la prevención de úlceras gástricas, estimulación del sistema inmune, prevención de enfermedades cardiovasculares, y protección frente a degeneración macular y cataratas (Krinsky y Johnson, 2005), a la vez que son requeridos para la diferenciación celular humana (Byers *et al.*, 1992).

El color verde del chile es debido a la clorofila y carotenoides típicos de los cloroplastos (Marín *et al.*, 2004). El color amarillo-anaranjado es formado por el α y β -caroteno, zeaxantina, luteína y β -criptoxantina (Howard, 2001). El color rojo es debido a la presencia de pigmentos de carotenoides de capsantina, capsorubina y capsantina 5,6-epóxido. Por lo tanto, los diferentes colores de los chiles pueden deberse a los diferentes niveles de estos compuestos. Los diferentes estados de madurez del chile pueden tener diferente actividad antioxidante (Sun *et al.*, 2007).

Matsufuji *et al.*, (2007) hacen mención que el chile maduro (rojo, amarillo, anaranjado) presenta mayores contenidos de carotenoides que los frutos inmaduros. La concentración de carotenoides en tejidos vegetales depende de las condiciones agronómicas, especialmente exposición a la luz y aporte de nitrógeno. Los principales carotenoides presentes en alimentos son α - y β -caroteno, luteína, licopeno, β -criptoxantina y zeaxantina. Los carotenoides del tipo amarillo β -caroteno y β -criptoxantina son la principal fuente de vitamina A (Wall *et al.*, 2001).

2.4 Secado

2.4.1 Aspectos generales sobre el secado

El secado es una de las técnicas ampliamente utilizada para la conservación de alimentos. Se define como la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover por evaporación el mayor contenido de agua presente en los alimentos (Hui, 1992; Rahman, 1999). El obtener un secado exitoso dependerá de:

- Suficiente calor para extraer la humedad, sin cocinar el alimento.
- Aire seco para absorber la humedad liberada.
- Circulación de aire adecuado para eliminar la humedad.

Cuando se sequen los alimentos, la clave está en quitar la humedad lo más rápidamente posible a una temperatura que no afecte el sabor, textura y color de los alimentos. Si la temperatura es demasiado baja, los microorganismos pueden sobrevivir y crecer incluso antes de que el alimento se seque adecuadamente. Si la temperatura es alta, los alimentos pueden endurecerse en la superficie, esto hace

que la humedad no se escape y el alimento no se seque correctamente (P. Kendall & J. DiPersio, Colorado State University)

Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos deshidratados, ya que al reducir el contenido de agua, se inhibirá el crecimiento de microorganismos y la actividad enzimática, lo que permitirá extender la vida media de los alimentos. Además el secado de los alimentos permite reducir su peso y en muchos casos el volumen, lo que incluye una reducción importante, en los costos de empaque, almacenamiento y transporte (Hui, 1992; Rahman, 1999). Un producto seco permite ser almacenado a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo (Barbosa y Vega, 2000). Sin embargo el secado causa deterioro de la calidad alimentaria y el valor nutricional de los alimentos (Hui, 1992; Rahman, 1999).

Hoy en día el aire caliente, sigue siendo el método de deshidratación más usado en la industria alimentaria (Hatamipour & Mowla, 2002).

La estabilidad del producto, es seriamente afectada por las condiciones de secado (Chou & Chu, 2001). El daño cometido en un alimento durante el secado es directamente proporcional a la temperatura y tiempo (Lin *et al.*, 1998). Una temperatura alta y un secado largo están asociados con el daño que afecta la textura, el color, sabor y valor nutricional de los productos (Zanoni *et al.*, 1999).

Gregory (1996) menciona que la pérdida de la calidad nutricional, durante el procesado y el almacenamiento de alimentos es un problema importante; desde que se descubrieron las vitaminas básicas, se han hecho un sin fin de esfuerzos para la optimización de los nutrientes durante el manejo de post-cosecha, proceso comercial, distribución, almacenamiento y preparación (Gregory, 1996; citado por Erenturk *et al.*, 2004).

Normalmente se utiliza al ácido ascórbico (Vitamina C) como un índice de calidad nutritiva, debido a su naturaleza débil comparada con otros nutrientes presentes en el alimento. La degradación de este ácido ascórbico depende de varios factores que incluyen; al oxígeno, luz y temperatura (Rojas & Gerschenson, 2001).

Los flavonoides son más estables ante el calor y las reacciones de oxidación que las antocianinas y resisten la mayoría de los tratamientos térmicos que se emplean en la manufactura de los alimentos enlatados.

El efecto de la temperatura sobre las antocianinas es muy importante ya que en presencia de calor en el procesamiento y almacenamiento degrada a las antocianinas.

Los tratamientos térmicos influyen en la destrucción de las antocianinas. Existe una relación logarítmica entre la retención del color y la temperatura de los procesos de estabilización o almacenamiento (Badui, 2006). Por lo tanto, para mejorar la retención de pigmentos hay que aplicar tratamientos térmicos de alta temperatura y corto tiempo, como también almacenamiento a bajas temperaturas.

Diferentes autores han señalado que si aplicamos un tratamiento térmico a los alimentos, éstos se podrán ver beneficiados por un incremento en la actividad antioxidante. Chen *et al.*, (2000) aseguraron que existe un aumento de la actividad antioxidante en el tomate tras ser sometido a distintos tratamientos térmicos (fritura, hervido y aplicación de microondas) en comparación al contenido en el fruto fresco. Por otra parte Nicoli *et al.*, (1999) en un estudio de tomate, plantearon que los tratamientos térmicos pueden dar lugar a la formación de nuevos compuestos como melanoidinas, las cuales podrían incrementar las propiedades antioxidante de este fruto.

En los alimentos frescos, las gotitas de lisosomas, lípidos o membranas se encuentran protegidas contra el acceso de oxígeno del aire, por las capas de proteínas hidratadas. Cuando se someten a proceso de deshidratación, estas capas son deterioradas. Por lo tanto, los lípidos y las estructuras no lipídicas están expuestas al oxígeno, y así se da la oxidación de lípidos (también de esteroides) y estructuras no lipídicas más rápido que en alimentos frescos. Una alta concentración de radicales libres implicará una mayor pérdida de antioxidantes.

Uno de los cambios más relativos en la actividad antioxidante se encuentra relacionado con la remoción de agua, si la evaporación del agua es moderada y el

tiempo de remoción es mínima; los antioxidantes no serán dañados durante el proceso de secado (Pocorny & Schmidh, 2001).

El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso, que permita además obtener un producto de buena calidad (Olivas *et al.*, 1999).

2.4.2 Mecanismo de secado

Cuando el aire caliente se hace pasar sobre el alimento húmedo, el calor es transferido a la superficie, y el calor latente de vaporización causa la evaporación del agua. Este vapor se dispersa a través de la superficie para después llegar a la corriente de aire (Rahman, 1999).

El agua es removida de la superficie por el siguiente mecanismo.

- a) Movimiento del líquido por fuerzas capilares.
- b) Difusión del líquido, causado por diferencia en la concentración de solutos en las diferentes regiones del alimento.
- c) Difusión del líquido a la corriente de aire, el cual es absorbido en el límite de la superficie de los componentes sólidos del alimento.
- d) La difusión del vapor de agua en los espacios vacíos dentro del alimento, causado por la existencia de un gradiente de presión de vapor.

2.4.3 Cinética de secado (curvas de velocidad de secado)

En la Figura 8, se muestra una curva de la velocidad de secado típica. Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A, la sección AB representa un periodo de calentamiento de sólidos. La sección BC, representa el periodo de velocidad constante de secado. El punto C, es donde concluye la velocidad constante y comienza a descender la velocidad de secado, este punto se conoce como contenido crítico de humedad y representa el punto en que toda la superficie expuesta está completamente insaturada y marca el principio de la porción del ciclo de secado durante el cual la velocidad del movimiento de la humedad interna controla la velocidad de secado.

La línea curvada CD en la Figura 8, se define como el primer periodo de secado con velocidad decreciente, y a la porción DE, como el segundo periodo de velocidad decreciente.

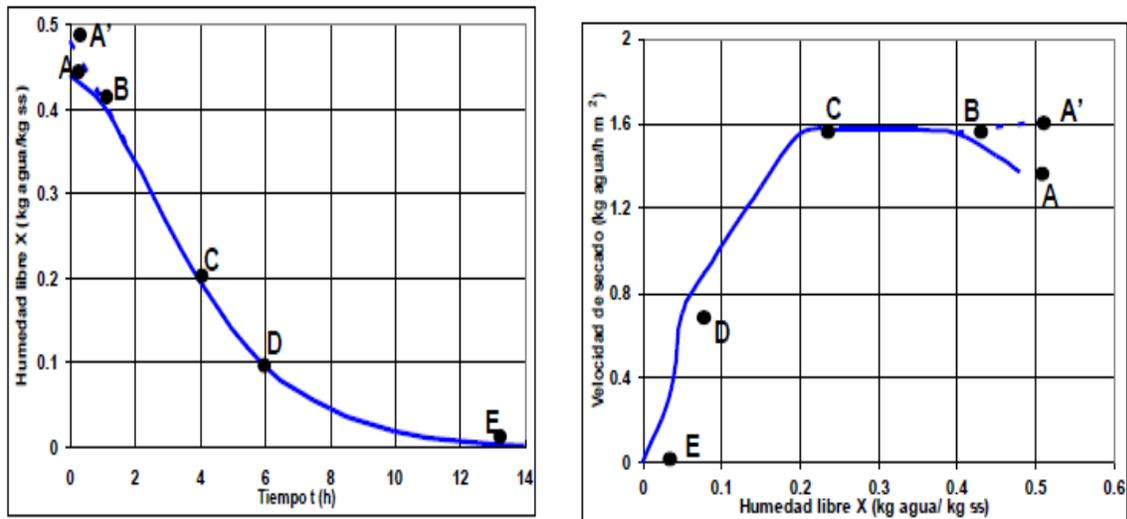


Figura 8. Graficas de la velocidad de secado constante: a) Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo, b) Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre (Geankoplis, 1998).

En el secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes casi siempre están presente las dos zonas principales de la curva de secado: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente.

2.4.3.1 Periodo de velocidad constante

En este periodo, la superficie del sólido está muy húmeda al principio, sin embargo el movimiento de la humedad dentro del sólido es lo bastante rápido para mantener una condición saturada en la superficie, y la velocidad de secado controla por medio de la velocidad de la transmisión de calor a la superficie de evaporación. El secado se desarrolla por difusión de vapor desde la superficie saturada del material, pasando por una capa de aire estancado hasta el medio que lo rodea. La velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transmisión de calor, y la temperatura de la superficie saturada permanece constante (Perry, 1992; Treybal, 2002).

2.4.3.2 Periodo de velocidad decreciente

Como anteriormente se mencionó el punto C de la Figura 8, corresponde al contenido crítico de humedad al concluir el periodo de velocidad constante.

Este periodo se divide en dos zonas:

- 1) *La de secado de superficie no saturada.*
- 2) *Aquella en que el movimiento interno de la humedad es el que ejerce el control.*

En la primera zona, no toda la superficie de evaporación se puede mantener saturada por el movimiento de la humedad dentro del sólido. La velocidad de secado disminuye en la porción no saturada y por ende, la velocidad de la superficie total se reduce. En general, la velocidad de secado depende de factores que afectan la difusión de humedad en una dirección que se aleja de la superficie de evaporación, y los que afectan el movimiento interno de la humedad (Perry, 1992).

Acorde prosigue el secado del alimento, se llega al punto donde la superficie de evaporación es insaturada. El punto de evaporación se desplaza dentro del sólido y el proceso de secado entra en el segundo periodo de velocidad decreciente. La velocidad de secado ahora está regida por la velocidad del movimiento interno de la humedad, y la influencia de las variables externas va en disminución. Cuando se efectúa un secado a contenidos reducidos de humedad, este periodo predomina casi siempre en el tiempo total de secado (Treybal, 2002).

2.4.4 Factores que afectan a la velocidad y al tiempo total del secado

Existen varios factores que afectan la velocidad de secado, sin embargo estos varían dependiendo del tipo de secador a utilizar, los siguientes factores son los que tienen más relevancia:

1. *Características del producto:* en cuanto a su composición química y ruptura de la estructura celular que genera un secado rápido.
2. *Tamaño de partícula:* si se corta o trocea los alimentos se facilita el proceso de secado (Maupoey *et al.*, 2001; Colina 2010).

3. *Temperatura del aire*: es otro factor que influye en el secado. A mayor temperatura, mayor velocidad de secado (Casp y Abril, 2003).
4. *Temperatura del bulbo húmedo*: humedad relativa o presión parcial de vapor de agua en el aire.

2.4.5 Secado por aire caliente

Hoy en día la mayor parte de los productos deshidratados, especialmente frutas y hortalizas, se obtienen por medio de esta técnica, es más sencilla y económica.

Este tipo de secado se efectúa en el interior de una cámara cerrada a temperatura elevada; se hace pasar por el medio de secado, aire caliente a una temperatura y humedad controlada sobre el producto, colocado en bandejas abiertas. Se les conoce también como secadores directos o por convección (Casp y Abril, 2003).

2.4.5.1 Secado en horno de convección por gravedad

Es considerado el más simple y consta de un pequeño recinto en forma paralelepípedica de dos pisos (Figura 9). El aire de secado se calienta en un quemador del piso inferior y atraviesa por convección natural o forzada el segundo piso perforado en el que se asienta el lecho de producto a secar.

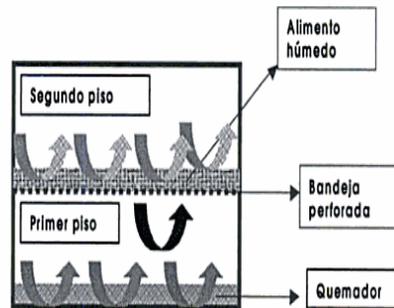


Figura 9. Esquema de un secador de horno o estufa

Fuente: Introducción al secado de alimentos por aire caliente (2001)

2.4.5.2 Secado en horno por aire forzado

El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común para secar alimentos (Doymaz, 2007). En este método de secado, el aire es el responsable de

remover el agua libre que se encuentra sobre la superficie de los productos (Schiffmann, 1995). El secado mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire empleado (Mulet *et al.*, 1999).

Doymaz (2007) descubrió que al incrementar la temperatura del aire forzado de 55 a 70°C, el tiempo de deshidratación se reduciría de 35.5 a 24 horas. La disminución de la velocidad del aire caliente (60°C) de 1.5 a 0.13 m/s incrementó el tiempo de deshidratado de 28 a 65 h (Tsamo *et al.*, 2006; Doymaz 2007).

Por lo general en este método de deshidratación se utilizan altas temperaturas, que generan desventajas como: cambios en el sabor, color, contenido de nutrientes y componentes aromáticos, entre otros (Maskan, 2001).

El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente o en paralelo. Generalmente la deshidratación con aire caliente a contracorriente es más eficiente que la que se logra con el flujo de aire en paralelo. Debido a que la transferencia de calor es más eficiente al existir un contacto más estrecho debido al movimiento en sentidos opuestos (Unadi *et al.*, 2002).

2.4.6 Efectos del secado en productos biológicos

- a) *Deformación y reducción de tamaño:* las células que conforman la pared del tejido del alimento se encuentran sometidas a esfuerzos de tensión y de compresión. El material celular exterior posee resistencia y elasticidad, pero a la magnitud de la tensión que sobrepasa un valor determinado cede irreversiblemente. Esta deformación se presenta en la mayoría de los alimentos deshidratados. Si el material es deshidratado lentamente la deformación es mínima, en cambio si es rápidamente, el material experimenta una gran reducción de volumen generando pérdidas de rendimiento mayores que la anterior.
- b) *Cambio de color por acción del calor:* se dice que es el más indeseable de los cambios irreversibles que pueden acompañar el secado de alimentos, este tipo de alteración está asociado directamente al pardeamiento.
- c) *Pérdida de sólidos:* el agua se encuentra en el tejido activo del alimento, formando soluciones con numerosos constituyentes, algunos de los cuales

son pequeñas moléculas de azúcares simples, en tanto otras tienen complejas estructuras altamente hidratadas. Durante el secado las sustancias migran, desplazándose con el agua. También se produce este fenómeno, por el encogimiento del material, el cual origina una compresión sobre las capas internas; induciéndose con esto un flujo de líquido hacia el exterior a través de poros, grietas y capilares.

- d) *Endurecimiento de la superficie*: la migración de sólidos hacia la superficie de las partes secas, causa en ocasiones una dificultad operacional que se conoce como endurecimiento.
- e) *Pérdida de constituyentes volátiles*: cuando el agua es evaporada de productos alimenticios, el flujo de aire húmedo que abandona el secador invariablemente arrastra, trazas de algún constituyente volátil del alimento fresco. Este efecto se traduce en una desventaja e irreversible pérdida de sabor (Benavides, 1973).

2.4.7 Antecedentes del secado de pimiento morrón (*Capsicum annum L.*)

El pimiento es uno de los productos hortofrutícolas que mejor es secado mediante aire caliente, por presentar una razonable resistencia a las alteraciones por el calor, dentro de ciertos límites de temperatura (Zapata *et al.*, 1992), este método de secado sigue siendo el más utilizado en la industria del pimiento seco (Nuez *et al.*, 1996).

En la Tabla 5 se presentan algunos de los trabajos reportados de secado de pimiento morrón, en donde obtuvieron coeficientes de difusión desde 0.72×10^{-10} hasta $11.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ trabajando en secadores de charola y con tiempos de secado a 60° C de 7-10 horas y 80° C de 5-7 horas, también reportan contenidos de humedad en equilibrio a 60° C de 0.129-0.04 g agua/ g ss y a 80° C de 0.054- 0.021 g agua/ g ss.

Tabla 5. Trabajos reportados de secado de pimiento morrón

AUTOR	TRABAJO
Vega et al., 2007	Modelaron la cinética de secado del pimiento (<i>var. Lamuyo</i>) a diferentes temperaturas de aire de secado (50, 60, 70, 80° C. Determinando una difusividad de 3.2×10^{-9} , 6.9×10^{-9} y 11.2×10^{-9} m ² /s, la humedad de equilibrio fue de 0.064, 0.04, 0.032 y 0.021 g agua/g ss. respectivamente.
Vega et al., 2008	Modelaron la cinética de secado del pimiento (<i>var. Lamuyo</i>) a diferentes temperaturas de aire de secado (50, 60, 70, 80, 90° C). Determinando una difusividad de 0.72×10^{-10} , 1.459×10^{-10} , 1.621×10^{-10} , 2.702×10^{-10} y 3.783×10^{-10} m ² /s.
Nogueira et al., 2005	Secaron pulpa de <i>Capsicum sp.</i> , a temperaturas de 45-65°C y la velocidad de aire de 0.5-1.5 m/s. En el mejor proceso obtuvieron un contenido de Capsantina de 1.462 ± 0.032 g/kg ss (65°C y una velocidad de 1.0 m/s).

El análisis de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso de secado, que permita obtener un producto de calidad (Olivas *et al.*, 1990 citado por Vega *et al.*, 2005).

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Descripción de sitio experimental

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Sede Saltillo, en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, en los laboratorios de: Bioprocesos y Tecnología de Alimentos I, ubicada en la Ciudad de Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son: 25° 21' 03" latitud Norte y 101° 01' 34" longitud Oeste del meridiano Greenwich, a una altura de 1743 msnm.

3.2 Material vegetativo

Pimiento morrón *Capsicum annum* L, variedad roja, amarilla, naranja adquirida en la central de abastos de Saltillo, Coahuila.

3.3 Equipos y reactivos

En la Tabla 6 y 7 se muestra la lista de equipos y reactivos empleados para la realización del trabajo de tesis.

Tabla 6. Reactivos empleados

<i>Reactivos</i>
Ácido clorhídrico al 2 % (HCl 2%)
Reactivo de Thielman (0,2 gr de 2,6-Dicloroindofenol)
Hidróxido de sodio NaOH 0.1 N
Agua destilada H ₂ O ₂
Agua desionizada
Solución buffer
Fenolftaleína
Kit "Total Antioxidant Status Kit Assay" Cat. No. 615700 Calbiochem
<ul style="list-style-type: none"> • Estándar • Cromógeno • Sustrato diluido • Solución buffer de fosfato pH 7

Tabla 7. Equipos y materiales empleados

Equipo y materiales	Modelo	Marca
Balanza analítica	Adventurer	Ohaus
Colorímetro	CR400	Konica Minolta
Penetrometro (equipo para determinar la firmeza de la fruta)	Modelo FHT200	EXTECH Instruments
Vernier		TRUPER
Refractómetro	Pocket Pal-1	ATAGO
Horno de convección por gravedad	AF Model 40	Quincy Lab
Horno por aire forzado	DKN602C	Yamato
Micropipetas 10-1000 µL		
Espectrofotómetro	Genesys 10UV	Thermo electron corporation
Celdillas para espectrofotómetro		
Termobalanza	XM50	Precisa
Microcentrífuga	Micro-MB	Thermo IEC
Micropipetas 10 – 100 µ		
Micropipetas 100-500 µ		
Material de vidrio de laboratorio		Kimax

3.4 Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó en tres etapas la primera de ellas fue la determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón fresco, la segunda, someter a proceso de secado al pimiento morrón, para poder continuar con la última etapa donde se realizó un análisis de vitamina C, ácido cítrico y capacidad antioxidante total del pimiento morrón deshidratado (Figura 10). Una vez terminada la metodología experimental se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

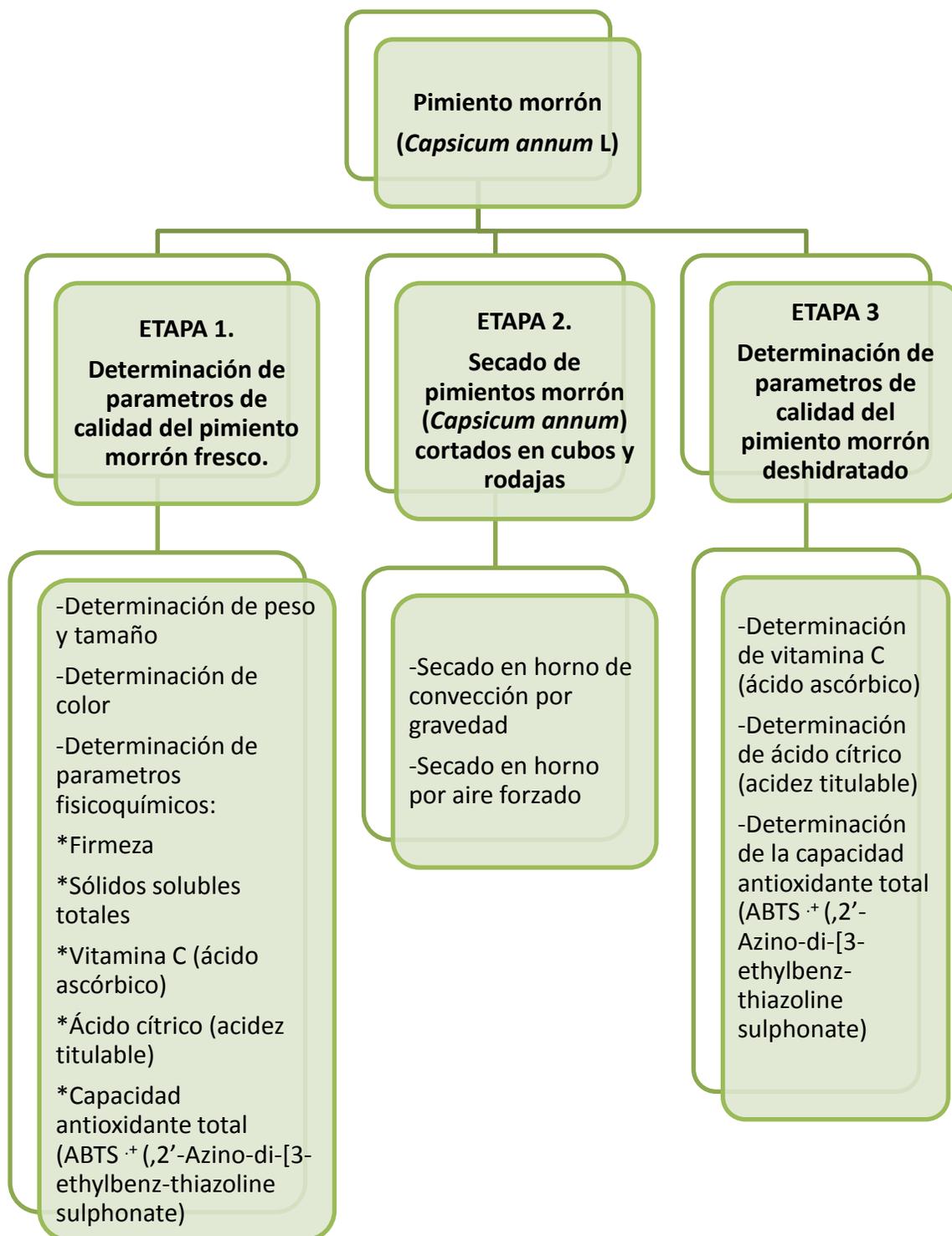


Figura 10. Diagrama de flujo del desarrollo experimental

3.4.1 Determinación de los parámetros de calidad del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) fresco.

3.4.1.1 Determinación de peso y tamaño del fruto

El peso se determinó para cada uno de los pimientos en una balanza analítica Ohaus Adventurer de Laboratorio. Los resultados de peso de los frutos se expresaron en gramos (g).

El tamaño se midió tomando el diámetro ecuatorial y el diámetro polar de los pimientos. Estas medidas se realizaron con un Vernier. Los resultados se reportaron en centímetros (cm), como se muestra en la siguiente Figura:



Figura 11. Determinación de tamaño y peso del pimiento morrón

3.4.1.2 Determinación de color del fruto

Se determinó el parámetro de color mediante un colorímetro Konica Minolta Modelo CR-400, mediante el sistema CIEL*a*b* (International Commission on Illumination, Viena 1976. Figura 13), que ha sido empleado por las industrias de alimentos de los EUA para medir color en los productos alimenticios (Pérez-Margarió & Gonzáles-SanJosé, 2003); en donde valores positivos del parámetro a* indican la dirección de los rojos y valores negativos en la dirección de los verdes. El valor b* es

un parámetro que define el componente amarillo-azul, valores positivos para amarillo y negativos para azul. L^* es el parámetro del brillo, indica la luminosidad y sus valores van del 0 al 100, sin reflexión para el negro $L^*=0$ y para una reflexión total blanco $L^*=100$.

En la Figura 12, se muestra como se llevó a cabo la medición de color en pimiento morrón.



Figura 12. Determinación de color mediante un Colorímetro Konica Minolta Modelo CR-400

La determinación consistió en tomar pimientos frescos y colocarlos frente al haz de luz del equipo, se realizaron dos lecturas por muestra en puntos opuestos sobre el ecuador en el espacio de color requerido ($L^*a^*b^*$).

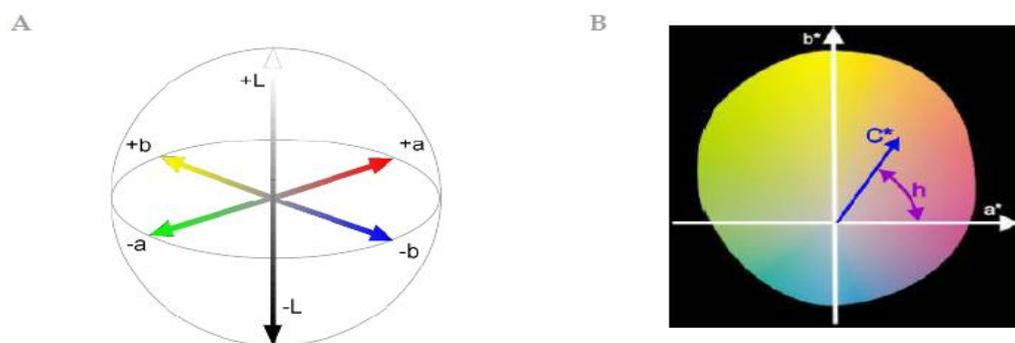


Figura 13. Parámetros de color CIELab: A) Representación tridimensional de los parámetros cromáticos y B) Coordenadas de color CIEL ab en el plano.

3.4.1.3 Determinación de parámetros físicoquímicos

3.4.1.3.1 Firmeza

Se determinó la firmeza de cada una de las caras de las muestras de pimiento con un penetrómetro EXTECH Model FHT200 (Figura 14), equipado con una puntilla de 3 mm. La forma de efectuar este método fue la siguiente:

- Se eliminó parte de la epidermis del pimiento en dos puntos opuestos del ecuador, mediante el empleo de un pelador.
- El fruto se tomó firmemente para introducir el penetrómetro de un solo impulso hasta la marca en cada uno de los puntos.
- Se toma la lectura indicada en Kg/cm².



Figura 14. Determinación de firmeza

3.4.1.3.2 Sólidos solubles totales

Fueron medidos con un refractómetro digital marca ATAGO modelo PAL-1, con escala de 0.0 a 53.0 % Brix. Para esta evaluación se colocaron dos gotas de jugo de la muestra (pimiento) en la superficie del prisma y se presionó el botón START, enseguida el resultado se expresó como porcentaje (%) de sólidos solubles. (Ver Figura 15).



Figura 15. *Determinación de sólidos soluble totales (° Brix)*

3.4.1.3.3 Acidez titulable

El método consiste en neutralizar los ácidos orgánicos presentes en una porción determinada de muestra, con una solución valorada de álcali NaOH 0.1 N, usando como indicador fenolftaleína en solución alcohólica al 1 %. Se consideró finalizada la valoración cuando las muestras cambian de color y éste permanece por más de 30 segundos, (Figura 16).

Procedimiento para la determinación:

1. Se maceraron 10 g de muestra con 100 ml de agua destilada.
2. Se filtró el jugo a través de un embudo de filtración utilizando un filtro.
3. Se tomó una alícuota de 10 ml de jugo y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
4. Se añadieron 3 gotas de fenolftaleína al 1 % a cada muestra.
5. Se colocó en una bureta un volumen conocido NaOH 0.1 N (hidróxido de sodio) y se procedió a la titulación hasta que la muestra cambie de color.
6. Se reportaron los ml de NaOH, gastados durante la valoración.
7. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.



Figura 16. *Determinación de ácido cítrico (acidez titulable)*

Los resultados pueden ser expresados en términos de un ácido particular, para el caso del pimiento morrón el ácido cítrico es el que se encuentra en mayor proporción en la hortaliza y por esta razón la acidez se expresa como porcentaje de ácido cítrico, el cual fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez titulable (\% de ácido cítrico)} = \frac{T * N * Z * V * 100}{P * M}$$

En donde: T, representa el gasto de NaOH durante la titulación, en mililitros; N, la normalidad de la solución de NaOH (0.1 N); Z, el peso miliequivalente del ácido cítrico (0.064); V, el volumen total de la mezcla (100 ml); P, el peso de la muestra (g); y M, la alícuota de la muestra (10 ml).

3.4.1.3.4 Vitamina C (ácido ascórbico) por titulación volumétrica de óxido-reducción.

La titulación volumétrica es un método de análisis cuantitativo en el que se mide el volumen de una disolución de concentración conocida (disolución patrón o titulante patrón) necesario para reaccionar completamente con un compuesto en disolución de concentración desconocida.

El método está basado en la cuantificación del exceso de 2,6-dicloroindofenol, el cual disminuye la intensidad de su color debido al ácido ascórbico presente en el pimiento.

En esta parte experimental determinamos el contenido de vitamina C presente en el pimiento morrón mediante una titulación volumétrica de óxido-reducción, la vitamina C tiene carácter reductor y utilizamos 0,2 gr de 2,6-dicloroindofenol por litro como agente oxidante que constituye el titulante patrón. En la Figura 17 se muestra el procedimiento para la determinación de ácido ascórbico.

Procedimiento experimental:

1. Se pesaron 10 g de pimiento morrón y se colocaron en un mortero frío.
2. Se añadieron 10 ml de HCL al 2 %, macerando cuidadosamente.
3. Se agregaron 100 ml de agua destilada y se homogenizó perfectamente.
4. Se filtró el contenido del mortero a través de una gasa y se recibió el filtrado en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se midió el volumen exacto.
5. Se tomó un alícuota de 10 ml de filtrado y se colocó en un vaso precipitado.
6. En una bureta se colocó un volumen conocido de reactivo de Thielman.
7. Se procedió a la titulación del jugo hasta la aparición de una coloración rosa que se mantuvo estable por 30 segundos y se anotó el volumen gastado de reactivo de Thielman. (Ver Figura 17).
8. Se calculó el contenido de vitamina C, presente en el pimiento morrón mediante la siguiente fórmula:

$$m * 100g \text{ de Vitamina C} = \frac{VRT * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

En donde: VRT, representa el volumen gastado en ml del reactivo de Thielman; 0.088, son los miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 ml de reactivo de Thielman; VT, es el volumen total en ml de filtrado de vitamina C en HCl; VA, es el volumen en ml de la alícuota valorada; P, es el peso de la muestra en gramos.



Figura 17. Determinación de vitamina C, por titulación volumétrica

3.4.1.3.5 Capacidad antioxidante total

3.4.1.3.5.1 Método ABTS

Se determinó el contenido de antioxidantes totales mediante el uso del Kit “Total Antioxidant Status Assay Kit” de Calbiochem Cat. No. 615700. El cual consta de una solución buffer (de fosfato salino), cromógeno (metamioglobina y ABTS™ (2,2'-Azino-di-[3-ethylbenz-thiazoline sulphonate])), sustrato (peróxido de hidrogeno estabilizado) y como solución estándar se utilizó el análogo de la vitamina E Trolox (6-Hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametil croman-2-ácido carboxílico) con una concentración de 1.87 y 2.5 mM.

Esta técnica registrada por Miller *et al.*, 1993, se basa en el principio de la formación del radical catión 2,2'-azino-di (3-etilbenzotiazohin sulfonato (ABTS⁺) debido a la acción de la metamioglobina/ H₂O₂. Este radical presenta una coloración verde azulada que se mide a 600 nm. La presencia de antioxidante en la mezcla produce una supresión de la formación del radical y por ende de la coloración, siendo la misma proporcional a la actividad antioxidante. El método utiliza el Trolox (derivado de la vitamina E) como patrón.

Preparación de reactivos

- **Cromógeno:** agregar 10 ml de buffer a cada frasco de cromógeno necesario para cada ensayo. (Estabilidad de 2 días a 4°C u 8 horas a T^a).
- **Sustrato:** diluir cada frasco de sustrato necesario para la prueba, añadiendo 7.5 ml de buffer. (Estabilidad de 24 horas a 4°C).
- **Estándar:** agregar 1 ml de agua destilada por cada frasco estándar necesario para la prueba. (Estabilidad de 2 días a 4°C o 1 mes a -20°C).

Procedimiento:

1. Colocar el mortero de porcelana y el material vegetativo (pimiento morrón) en un balde de hielo.
2. Estabilizar a 37°C la solución buffer, cromógeno, estándar y sustrato.
3. Pesar 1.25 gramos de muestra y colocarlos en un mortero de porcelana previamente frío, agregar 5 ml de buffer de fosfatos pH=7, triturar vigorosamente.
4. Pasar a un tubo eppendorf y centrifugar a 3000 rpm por 10 minutos.
5. Calibrar a cero el espectrofotómetro a 600 nm contra el aire.
6. Una vez obtenido el sobrenadante agregar a cada celdilla:

	Blanco	Estándar	Muestra
Agua desionizada o bidestilada	10 µl	-----	-----
Estándar	-----	10 µl	-----
Muestra	-----	-----	10 µl
Cromógeno	500 µl	500 µl	500 µl

7. Mezclar bien y leer absorbancia inicial (A_0).
8. Adicionar 100 µl de sustrato diluido a cada celdilla.
9. Mezclar y tomar el tiempo de inicio simultáneamente.
10. Leer la absorbancia exactamente después de 3 minutos (A).
11. Calcular la capacidad antioxidante total.

Para obtener las concentraciones de antioxidantes en las muestras, se realizaron los siguientes cálculos:

- Se determinó el gradiente de A para las muestras, el estándar y el blanco:

$$\text{Gradiente de } A = A - A_0$$

- Después se calculó la capacidad antioxidante en cada muestra, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Antioxidantes Totales (mM)} = \frac{\text{Concentración del Estándar} \times (\text{Gradiente A Blanco} - \text{Gradiente A Muestra})}{(\text{Gradiente A Blanco} - \text{Gradiente A Estándar})}$$

Nota: La concentración del estándar es específica para cada lote de producto, ver etiqueta del Kit.

El resultado de cada muestra se expresó como mM equivalente Trolox.

A continuación se muestra en la Figura 18, el método para la determinación de antioxidantes totales presentes en el pimiento morrón.



Figura 18. *Determinación de antioxidantes totales en pimiento morrón.*

3.4.2 Secado

3.4.2.1 Preparación de las muestras

Para llevar a cabo esta parte experimental del trabajo, es necesario considerar las características del pimiento que se va a secar, pues de éstas depende la calidad final del pimiento deshidratado, para ello se seleccionaron pimientos sanos, sin magulladuras; con uniformidad de tamaño y color (rojo, amarillo y naranja). Los pimientos se sometieron a un proceso de limpieza. Posteriormente se les retiraron el pedúnculo y las semillas y fueron cortados en cubos de 5 mm y rodajas de 5 mm de espesor, sobre una tabla de plástico rígido, empleando un cuchillo de acero inoxidable previamente lavado.

En la Figura 19 se muestra de manera esquemática la operación de las muestras a deshidratar.



Figura 19. *Secuencia de la preparación de las muestras a deshidratar.*

3.4.2.2 Pruebas experimentales

Se efectuaron dos procedimientos de secado para técnicas diferentes y por ende condiciones diferentes:

1. La primera prueba se realizó en un horno de convección por gravedad (Figura 20 Quincy Lab AF Model 40) a 60°C durante 6 horas.
2. La segunda prueba se hizo en un horno por aire forzado (Figura 21 Yamato, Modelo DKN602, USA) a 60°C, durante 4 horas.



Especificaciones técnicas:

Horno de convección por gravedad Model 40 AF

Dimensiones internas: 18x19.8x14

Dimensiones externas: 20x35x16.3

Capacidad: 81 L

Temperatura máx.: 232 °C

Figura 20. Fotografía de horno de convección por gravedad (Quincy Lab AF Model 40)



Especificaciones técnicas:

Horno de circulación forzada Model DKN602C

Construido en su interior de acero inoxidable y en su exterior de acero acabado en epoxy y resina melanina horneada.

Dimensiones internas: 600x500x500

Dimensiones externas: 710x651x870

Capacidad: 150 L y Temperatura máx.: 260°C

Figura 21. Fotografía de horno con corriente de aire (Yamato, Modelo DKN602C. U.S.A)

3.4.2.3 Determinación de las curvas de secado

1. El secador se encendió 15 minutos antes de iniciar el proceso con el fin de garantizar la homogeneidad de la temperatura en la cámara de secado.
2. Se pesó la cantidad inicial de las muestras en cubos y rodajas del pimiento a deshidratar.

3. Se inició el proceso de secado, se registró cada 30 minutos la pérdida de peso en una termobalanza digital (Precisa, Modelo XM50).
4. Se calculó la pérdida de peso. El proceso de secado se detuvo cuando el producto llegó a peso constante.
5. Se graficaron los datos, obteniendo dos curvas: una curva de secado y una curva de velocidad de secado.

3.4.2.3.1 Determinación de las curvas de velocidad de secado

1. Se calculó el valor de la humedad al tiempo t con la siguiente ecuación:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$$

Donde: X_t , representa la humedad del alimento al tiempo (g de agua / g de sólido seco); W , el peso del sólido húmedo (g totales de agua); y W_s , el peso del sólido seco (g de sólido seco).

2. Se realizó una gráfica de la humedad del alimento (g H₂O / g de sólido seco) vs tiempo (min), con los valores obtenidos en la ecuación anteriormente mencionada.
3. La velocidad de secado se determinó a partir de la gráfica, midiendo las pendientes de las tangentes a la curva, con lo cual se obtuvieron valores de dX/dt (velocidad de secado).

3.4.3 Determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón deshidratado (acidez titulable, vitamina C y capacidad antioxidante total).

Para el análisis de estos parámetros de calidad en el producto después del proceso de secado (Figura 22.) se siguió la misma metodología descrita en el apartado 3.4.1.3.3 (acidez titulable), 3.4.1.3.4 (vitamina C) y 3.4.1.3.5.1 (capacidad antioxidante total) del presente proyecto.



Figura 22. Muestras de pimiento morrón deshidratado

3.4.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó por medio del programa computacional Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

Las variables de ácido cítrico, vitamina C y antioxidante totales se trabajaron con un diseño factorial para determinar el análisis de varianza y una prueba de Duncan para determinar las diferencias de medias.

Se empleó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, para las variables de firmeza y sólidos solubles totales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se reflejan los resultados del trabajo de investigación.

4.1 Determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.)

4.1.1 Peso y tamaño

Los frutos de pimiento morrón frescos presentaron una variación de peso entre (158.91165 y 166.4355 g). Al relacionar los diámetros con el peso, se observó que existe una relación directa entre estas variables, a medida que va aumentando el diámetro ecuatorial y polar del pimiento también lo hace el peso del mismo, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de peso y dimensión del fruto para pimiento morrón fresco

Propiedad	Variedad		
	Rojo	Amarillo	Naranja
Peso (g)	158.91165	151.8379	166.4355
Diámetro ecuatorial (cm)	7.993	7.247	8.124
Diámetro polar (cm)	8.82	8.869	9.068

Los valores de la tabla son la media de cinco repeticiones con un submuestreo por unidad experimental.

4.1.2 Color

Una manifestación de maduración en frutas y vegetales es el cambio de color, el cual se presenta por la degradación de la clorofila y la síntesis de otros pigmentos (Mercado-Silva *et al.*, 1998).

Tabla 9. Resultados de color (L^* , a^* , b^*) del pimiento morrón fresco

Color del pimiento	L^*	a^*	b^*
Amarillo	53.148	-1.074	43.046
Naranja	46.06	19.89	35.53
Rojo	34.96	26.68	13.01

Los valores de la tabla son la media de cinco repeticiones con un submuestreo por unidad experimental.

En la Tabla 9, se presentan las coordenadas CIE-L*a*b* en pimiento morrón; como puede observarse, la coordenada a* (variación de color rojo-verde) cambió de un valor negativo cercano a cero $a^*=-1,074$ en el pimiento amarillo a una lectura de $a^*=26,68$ en el color rojo, por tanto conforme avanza el estadio de maduración del pimiento, este parámetro aumenta, pasando de valores bajos (amarillo), a valores más altos (rojo), debido a la degradación de la clorofila y al aumento progresivo de la concentración de carotenos en los cromoplastos (Gómez-Ladrón de Guevara y Pardo-González, 1996).

Mientras que la coordenada b* (variación amarillo-azul), presentó valores relativamente altos en la muestra de pimiento morrón amarillo pero conforme la maduración del fruto se va dando se presenta una disminución de este parámetro hasta llegar a un valor $b^*=13,01$.

Respecto a los valores obtenidos para el parámetro L* (luminosidad) presentó una diferencia $\Delta L^*=18,18$ entre el color rojo y amarillo, indicando la tendencia en la piel del fruto hacia colores oscuros a medida que avanza la maduración. Los cambios de color están directamente relacionados con la temperatura e iluminación a la que está expuesto el vegetal.

4.1.3 Sólidos solubles totales

Uno de los factores físicoquímicos más relevantes en la calidad del fruto o vegetal es la concentración de los sólidos solubles totales, el cual se relaciona con el estado de madurez. El análisis estadístico (Ver Anexo 1) presentó diferencias significativas, para el contenido de sólidos solubles entre los tres diferentes colores: el pimiento morrón color rojo presentó significativamente más contenido de SST que el color amarillo. En la Figura 23 se puede observar que los sólidos solubles totales incrementan conforme avanza la maduración.

Se estableció una diferencia no significativa entre el color rojo y naranja puesto que ambas presentan un mayor estado de madurez.

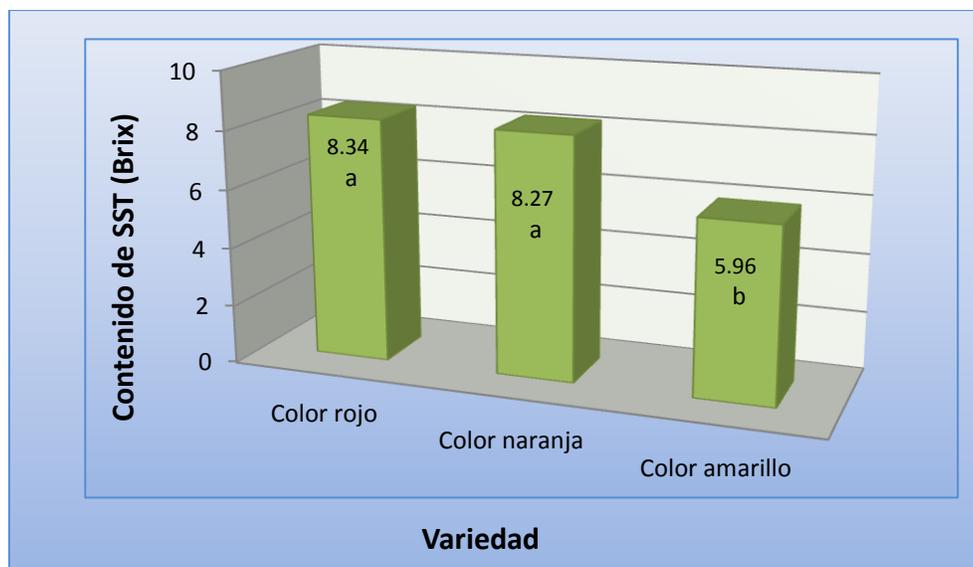


Figura 23. Medias de sólidos solubles totales de cada uno de los colores del pimiento morrón

4.1.4 Firmeza

La Figura 24 muestra los valores de firmeza para los pimientos, se realizó un análisis de varianza completamente al azar con cinco repeticiones (Ver Anexo 2) donde se determinó que estadísticamente existe diferencia significativa entre los tres colores siendo el color amarillo el que presenta una mayor firmeza, mientras que los colores naranja y rojo son estadísticamente iguales, esto explica que el estado de madurez afecta significativamente la firmeza del vegetal, la disminución de este parámetro puede deberse a las enzimas que actúan a nivel de la pared celular, la cual brinda la característica de firmeza, las enzimas que se han postulado como las principales responsables del proceso de ablandamiento en las frutas son las poligalacturonasa o pectinasa y la pectin metil esterasa (Will, 1997).

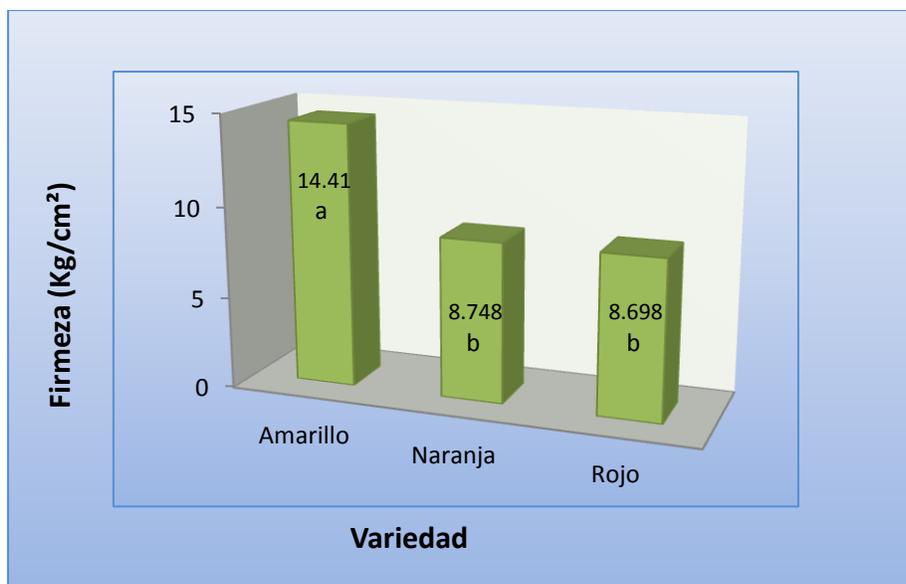


Figura 24. Variación de la firmeza para el pimiento morrón en sus tres colores

4.1.5 Ácidos orgánicos

Se encontraron diferencias altamente significativas en el contenido de ácidos orgánicos (ácido cítrico), según las técnicas de secado. Por ejemplo, para muestras de pimiento deshidratadas en un horno por aire forzado, se encontró en promedio un mayor contenido de ácido cítrico (6.27 %). Existe interacción entre la técnica de secado y el color, es decir, la cuantificación de ácido cítrico se modifica con la técnica de secado. En cuanto al color y el corte no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Ver Anexo 3).

Bashir H, *et al.*, 2003 y Nelson, 1994 reportan que en los estados tardíos de maduración del fruto, cuando ha cesado su crecimiento, el contenido de ácidos orgánicos disminuye con el incremento de azúcares. Esto no puede observarse en los materiales del presente estudio, por la naturaleza que presenta el pimiento morrón en no convertir los ácidos orgánicos que contiene en azúcares. Figura 25. Algunos autores señalan que la disminución de los ácidos orgánicos se debe a su participación como sustratos respiratorios o a su conversión a azúcares durante la madurez del fruto (Cañizares A, *et al.*, 2003).

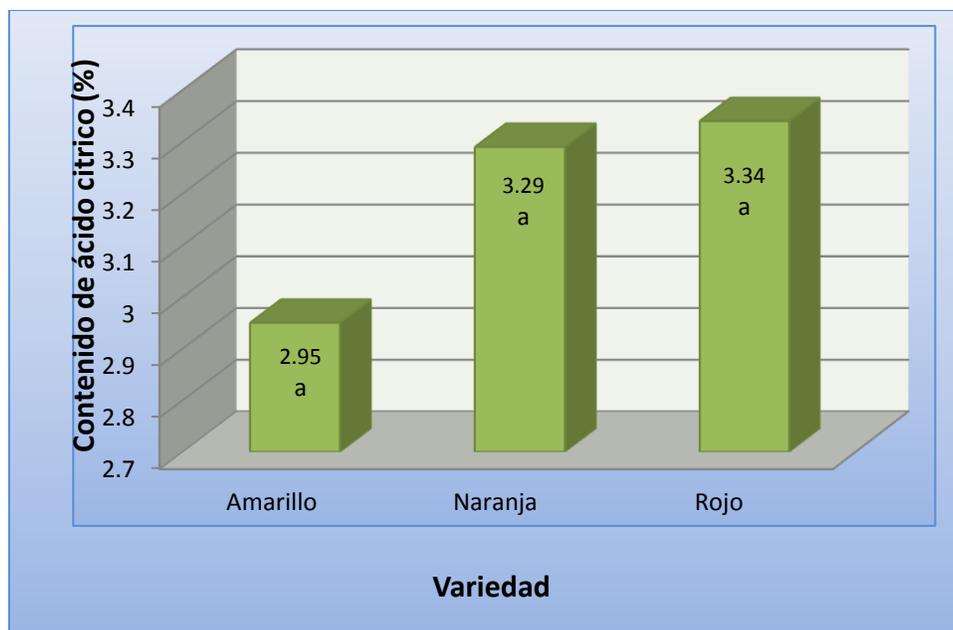


Figura 25. Medias de ácido cítrico (%) de cada uno de los colores del pimiento morrón

4.1.6 Vitamina C

El análisis de vitamina C en pimiento morrón por volumetría mostró diferencias altamente significativas entre los tres materiales de pimiento (Ver Anexo 4). El mayor contenido de ácido ascórbico se presentó en los pimientos que fueron deshidratados en el horno por aire forzado (Tabla 10).

Tabla 10. Contenido de vitamina C en muestras de pimiento morrón (*Capsicum annum* L), bajo dos métodos de deshidratado y en fresco

Tipo de material	Vitamina C (mg/100 g)
Deshidratado en Horno por aire forzado	870 a
Deshidratado en Horno convencional	439 b
En fresco	106 c

Los valores de la tabla son la media de 5 repeticiones. Los datos que aparecen con diferentes letras mostraron diferencias significativas para el atributo evaluado (Test Duncan).

También se encontraron diferencias significativas en el contenido de ácido ascórbico entre el color del producto; el contenido de vitamina C aumentó de 387,18 mg/100 g para pimiento amarillo a 550,2 mg/100 g para pimiento rojo, lo que refleja

un aumento del 45% en el contenido de vitamina C (Figura 26), resultados que concuerdan con los descritos por Siller-Cepeda *et al.*, (2005) donde mencionan que el contenido de vitamina C o ácido ascórbico, es mayor en frutos de pimiento morrón color rojo y amarillo en comparación con el verde.

Smirnoff y Wheeler (2000) explican que este incremento puede estar asociado con el papel del ascorbato como agente protector, ya que la cantidad de luz durante el crecimiento de la planta influirá en el nivel de ácido ascórbico del fruto (Lee y Kader, 2000). Si exponemos nuestro vegetal mayor cantidad de horas frente a la luz, esto podría explicar el aumento en el contenido de ácido ascórbico de pimiento morrón rojo frente a pimiento amarillo, es decir, el aumento del contenido de vitamina C con la maduración.

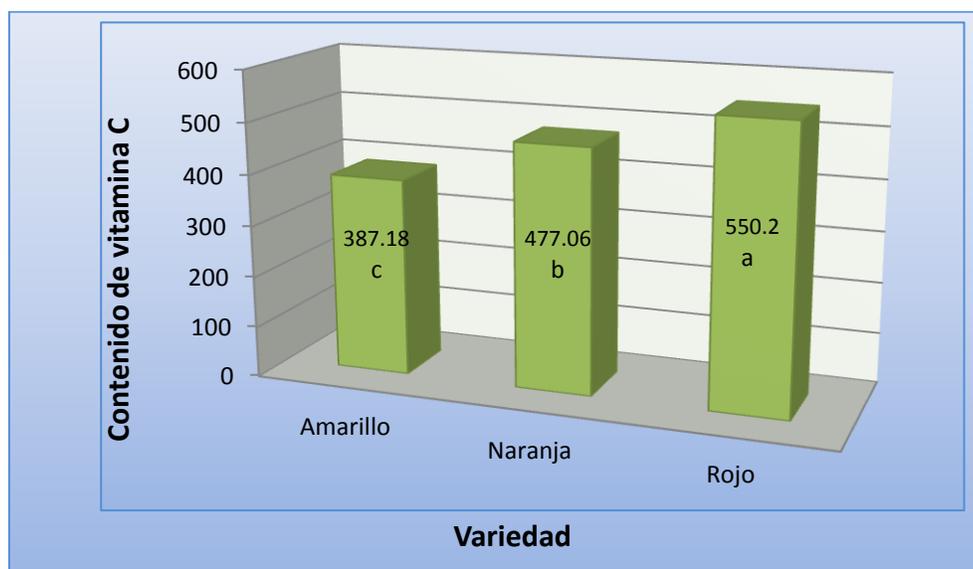


Figura 26. Medias de vitamina C (mg/100g) de cada uno de los colores del pimiento morrón

Por otra parte también se comparó el contenido de vitamina C del pimiento morrón bajo condiciones de deshidratación en cubos o en rodajas, con el fin de determinar si el tamaño de partícula influye en dicho parámetro. Como se puede apreciar en la Tabla 11, el nivel de vitamina C en pimientos deshidratados con el corte en cubos fue más alto que el encontrado en pimientos deshidratados en rodajas.

Tabla 11. Contenido de vitamina C en muestras de pimiento morrón (*Capsicum annum* L) deshidratadas en diferentes tamaño de partícula; cubos y rodajas.

Corte	Vitamina C (mg/100g)
Cubos	702 a
Rodajas	606 b

Los valores de la tabla son la media de 5 repeticiones. Los datos que aparecen con las mismas letras no mostraron diferencias significativas para el atributo evaluado (Test Duncan)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, observamos que existe interacción entre la técnica de secado y el color, pero no existe interacción entre el color y el corte, ni interacción entre la técnica de secado y el corte, y además podemos concluir que el estadio de maduración del vegetal, afecta los niveles de vitamina C en pimiento morrón.

4.1.7 Capacidad antioxidante total

En lo que respecta a la capacidad antioxidante total a través de la técnica ABTS⁺ el análisis de varianza (ANVA) arrojó diferencias estadísticas y numéricas significativas, para poder determinar en que radican estas diferencias, se presentan los cuadros de medias por variables (Anexo 5).

En la Tabla 12 se presenta el resultado de la capacidad antioxidante del pimiento morrón en fresco y deshidratado bajo las dos técnicas de secado, donde se observa que el material que mostró mayor potencial antioxidante fueron las muestras de pimiento deshidratadas en el horno de convección por gravedad con 5.00 mM equivalentes a trolox, seguidas de las muestras en fresco con un total de 2.64 mM equivalentes a trolox y al final encontramos a las muestras con menor potencial antioxidante que fueron las que se deshidrataron en el horno por aire forzado con un total de 0.05 mM equivalentes a trolox.

Diferentes autores han señalado que si aplicamos un tratamiento térmico a los alimentos, éste se podrá ver beneficiado por un incremento en la actividad antioxidante. Chen *et al.*, (2000) aseguraron que existe un aumento de la actividad antioxidante en el tomate tras ser sometido a distintos tratamientos térmico en

comparación al contenido en el fruto fresco. Por otra parte Nicoli *et al.*, (1999) plantearon que los tratamientos térmicos pueden dar lugar a la formación de nuevos compuestos como melanoidinas, las cuales podrían incrementar las propiedades antioxidantes del tomate.

Tabla 12. Determinación de la capacidad antioxidante total del pimiento morrón (*Capsicum annum L.*)

Tipo de material	Potencial antioxidante total (mM equivalentes a Trolox)
Deshidratado en Horno de convección por gravedad	5.0 a
En fresco	2.64 b
Deshidratado en Horno por aire forzado	0.5 c

Los datos que aparecen con diferentes letras mostraron diferencias significativas para el atributo evaluado.

La medición de antioxidantes individuales por separado no permite conocer con certeza la capacidad antioxidante total de una preparación o compuesto, por los efectos sinérgicos que puedan establecerse entre los antioxidantes (Chiselli *et al.*, 1995). Es por ello que se hizo una cuantificación total de antioxidantes presentes en el pimiento morrón; carotenoides, compuestos fenólicos, vitamina C, etc., bajo el método ABTS. Existen cambios relativos en la actividad antioxidante relacionados con la remoción de agua, es decir si la evaporación del agua es moderada y el tiempo de remoción es mínimo; los antioxidantes serán dañados durante el secado, así lo describe Pocorny y Schmidt (2001).

Kim *et al.*, (2006) mencionan que en el pimiento morrón la capacidad antioxidante esta mayormente ligada al ácido ascórbico que al contenido de compuestos fenólicos. Los resultados que se obtuvieron en este trabajo concuerdan con lo que mencionan estos autores, se consiguieron valores altos de vitamina C en las dos muestras deshidratadas y en fresco, sin embargo en la cuantificación total de antioxidantes este ácido ascórbico sufrió un decremento porque ayudó a prevenir la oxidación de los carotenoides. De acuerdo a la literatura, los carotenoides son relativamente estables cuando el secado transcurre a temperaturas bajas (40-60°C), pero muy sensibles a temperaturas más altas (70-90°C), aunque en ambos

experimentos se deshidrató bajo la condición de 60°C, observamos un valor diez veces menor (0.50 mM equivalentes a trolox) en la cuantificación de antioxidantes en muestras deshidratadas con aire forzado en comparación con las muestras deshidratadas en el horno convencional, el aire forzado tuvo un efecto negativo en la oxidación de los carotenoides presentes en el pimiento, es por ello que la capacidad antioxidante del pimiento morrón se le atribuye al resto del contenido total de vitamina C que se encuentra en la parte interna de la matriz, y a los demás compuestos bioactivos presentes en el pimiento morrón.

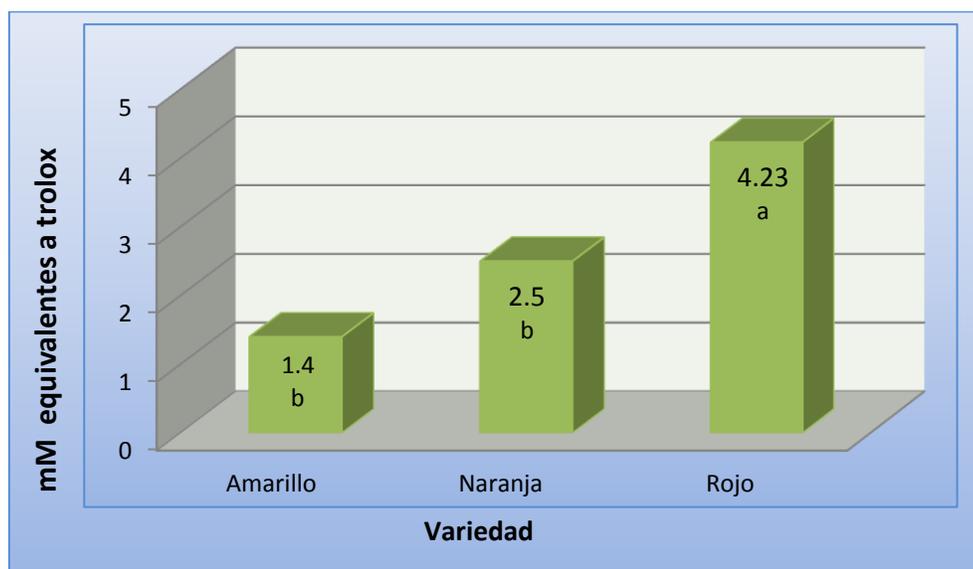


Figura 27. Capacidad antioxidante medida en milimoles equivalentes Trolox por gramo (mM) para los extractos de pimiento morrón (*Capsicum annum*) en sus tres diferentes estadios de maduración.

En la Figura 27 se puede apreciar la capacidad antioxidante de los tres pimientos morrón estudiados: el pimiento rojo (4.23 mM equivalentes a trolox) tiene mayor capacidad antioxidante en comparación a los otros; le sigue el pimiento naranja (2.5 mM equivalentes a trolox) y finalmente el pimiento amarillo con un valor de 1.4 mM equivalentes a trolox. Los resultados obtenidos muestran una relación directa entre el color y el contenido de antioxidantes es decir la variedad roja muestra una capacidad antioxidante tres veces mayor que la variedad amarilla, estos resultados corroboran que la capacidad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de pigmentos del pimiento morrón. Sun *et al.*, (2007) mencionan

que los diferentes estados de madurez del chile pueden tener diferente actividad antioxidante.

Navarro *et al.*, (2006) realizaron un estudio sobre la actividad antioxidante bajo estrés salino en distintas etapas de maduración del pimiento morrón; donde se concluyó que a una salinidad moderada se presenta un incremento significativo en las propiedades antioxidantes (ABTS⁺) de los chiles conforme incrementa la maduración del fruto. Por lo tanto la concentración de antioxidantes totales será mayor en frutos con mayor índice de madurez.

Por último se realizó la cuantificación de antioxidantes en muestras deshidratadas en cubos y rodajas, para ver el efecto del tamaño de partícula sobre la capacidad antioxidante del pimiento morrón. De acuerdo a los resultados representados en la Tabla 13 existe diferencia significativa entre los diferentes tamaños de partícula. Se encontró un valor ligeramente mayor cuando se trabajó con la fracción en rodajas con 3.23 Mm equivalentes a Trolox.

Tabla 13. Determinación de la capacidad antioxidante total del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en base al tamaño de partícula

Corte	Potencial antioxidante total (mM equivalentes a Trolox)
Cubos	2.27 a
Rodajas	3.23b

Los datos que aparecen con diferentes letras mostraron diferencias significativas para el atributo evaluado.

4.2 Secado

4.2.1 Determinación de las curvas de secado

Una vez realizadas las técnicas de secado y la recopilación de datos de cada una, se graficó el contenido de humedad (gramos H₂O /gramos sólido seco) contra el tiempo de secado (minutos) bajo condiciones de secado constantes, con el fin de establecer la cinética de secado.

En la Figura 28 se muestra la variación del contenido de humedad del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en rodajas y cubos en función del tiempo de secado, para los dos métodos utilizados.

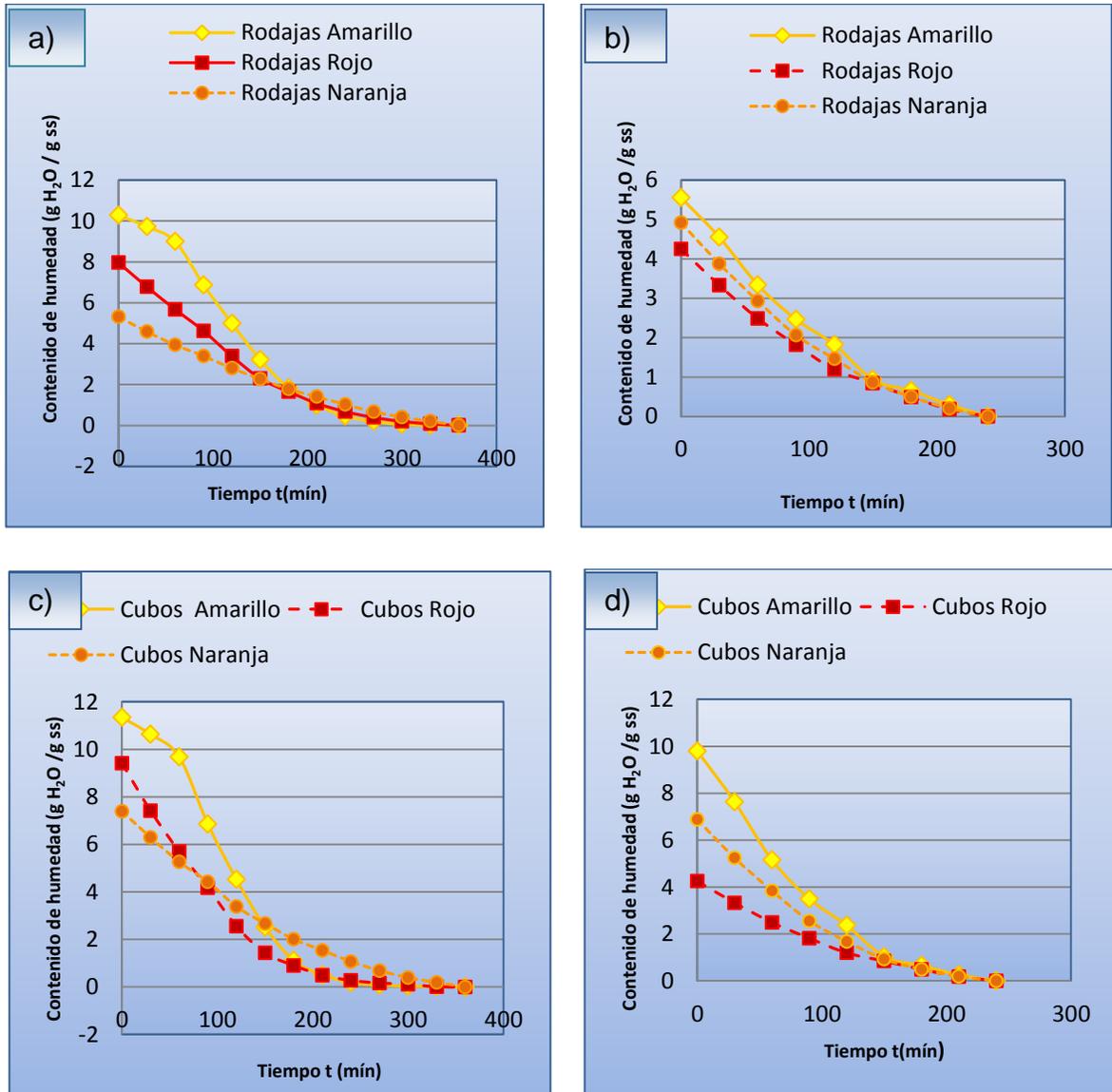


Figura 28. Curvas de humedad del sólido vs tiempo de secado: **a)** Rodajas deshidratadas en horno de convección por gravedad, **b)** Rodajas deshidratadas en horno por aire forzado, **c)** Cubos deshidratados en horno de convección por gravedad, **d)** Cubos deshidratados en horno por aire forzado.

Analizando las curvas de secado en la Figura 28, se observa que la cinética fue influenciada por el tipo de secado, y que el empleo del horno por aire forzado redujo significativamente el tiempo necesario para secar las muestras de pimiento morrón,

hasta llegar a peso constante. También se puede observar que la pérdida de agua es más rápida al inicio del proceso de secado.

4.2.1.1 Impacto del tamaño de partícula

Para evaluar el impacto que tiene el tamaño de partícula en el secado se compararon los resultados obtenidos al secar las muestras de pimiento en rodajas y cubos (Figura 28). Las curva de secado **c)** y **d)** muestran que los cubos de pimiento morrón pierden más rápidamente el contenido de humedad, comparados con las muestras de pimiento en rodajas.

La deshidratación de los cubos es más rápida por dos razones. Primero porque una mayor área superficial produce más contacto con la fuente calorífica y una superficie mayor por la que la humedad puede salir y segundo porque los cubos reducen la distancia que el calor tiene que recorrer para alcanzar el centro del alimento y la humedad para llegar a la superficie y escapar.

4.2.2 Determinación de curvas de velocidad de secado

A continuación se muestran las curvas de velocidad de secado para la variedad roja que fue la que presentó mayor contenido de capacidad antioxidante total en comparación a las variedades amarillo y naranja.

En función a los resultados, se deduce que la cinética de secado de *Capsicum annum* L. es dependiente de la técnica de secado y el tamaño de partícula de las muestras como se puede ver en las Figuras 29 y 30. Se observa que en el secado de *Capsicum annum* L. en el horno de convección por gravedad para la variedad roja (Figura 29) se genera una velocidad de secado de 0.0666 g H₂O / g sólido seco / minuto. Para la geometría en cubos, que resulta significativamente superior a la velocidad de secado alcanzada en rodajas que es de 0.0335 g H₂O / g sólido seco / minuto. En base a lo anterior se observan diferencias significativas de velocidad de secado entre cubos y rodajas, lo cual demuestra que la primer geometría posee mayor área de intercambio de energía y masa con el aire de secado, resultados que

coinciden con Fioreze y Morini (2000) en el secado con cortes y temperaturas diferentes de ñame (*Discorea sp.*).

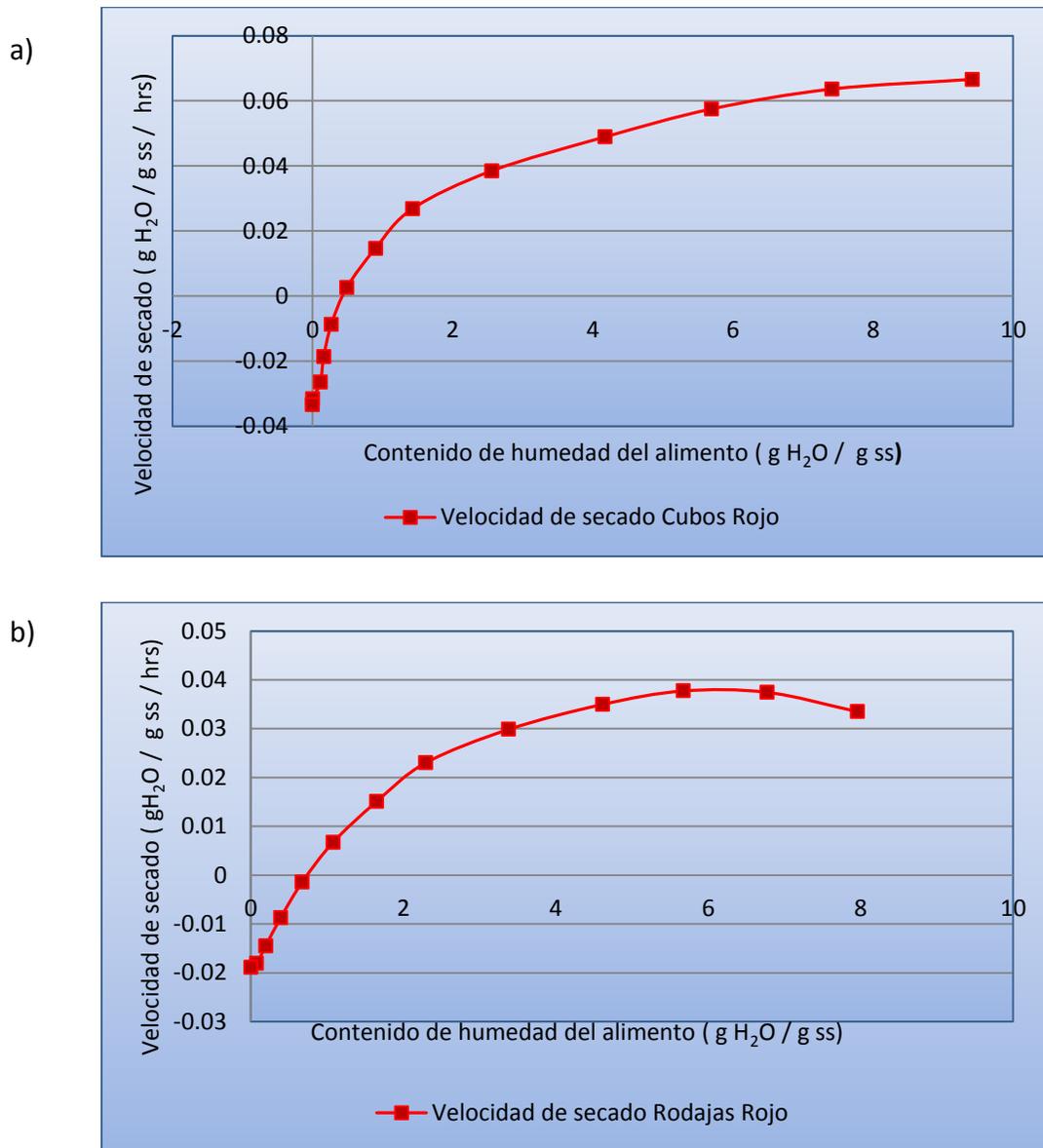


Figura 29. Curvas de velocidad de secado de pimiento morrón variedad roja, para técnica de convección por gravedad, **a)** Cubos y **b)** Rodajas.

Por otro lado, las curvas de velocidad de secado obtenidas para la técnica por aire forzado (Figura 30), muestran diferente comportamiento a las curvas generadas por la técnica de convección por gravedad Figura 29.

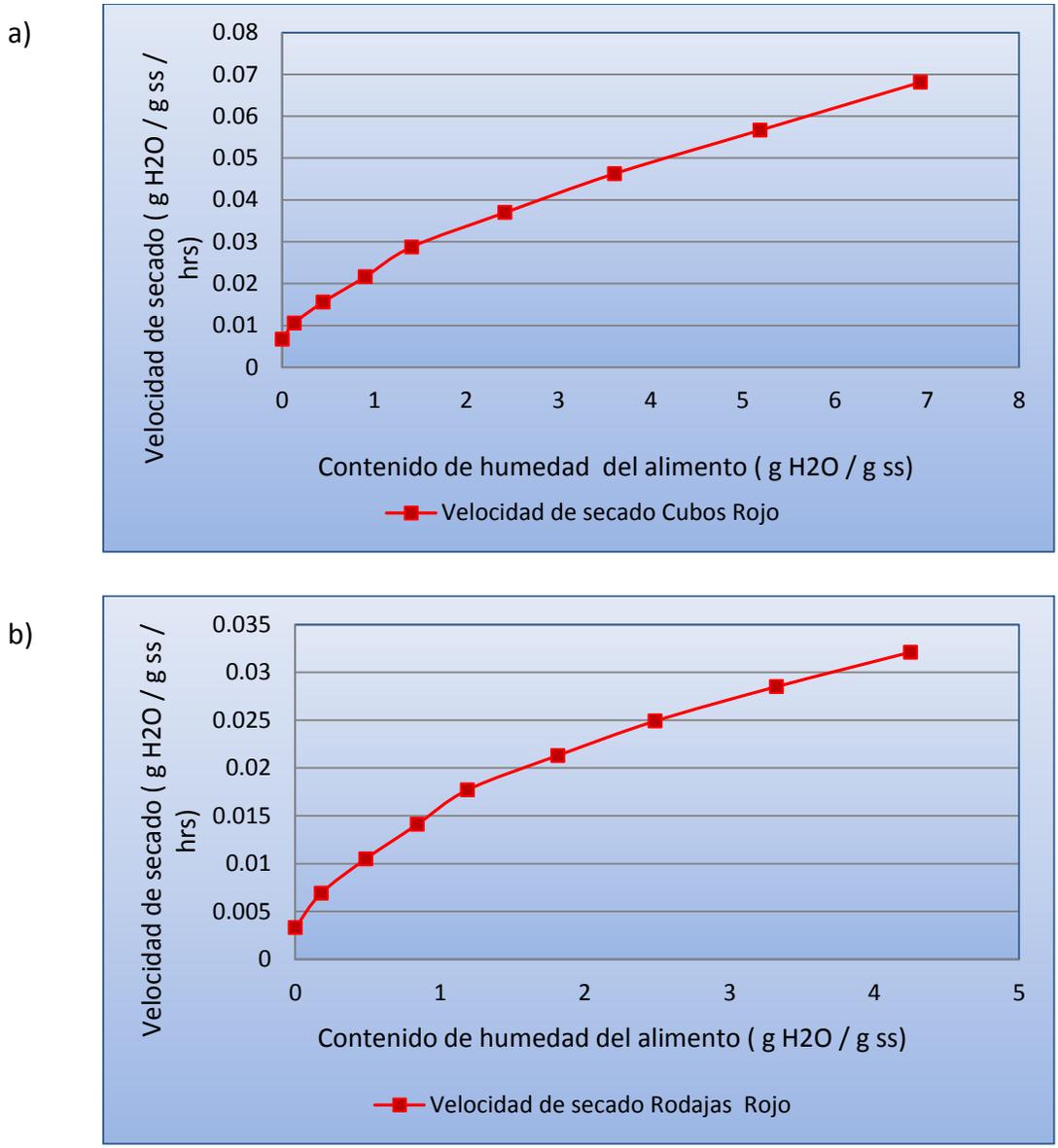


Figura 30. Curvas de velocidad de secado de pimiento morrón variedad roja, para técnica por aire forzado, **a)** Cubos y **b)** Rodajas.

Los puntos representan el contenido de humedad cada 30 minutos y el desarrollo del secado procede de derecha a izquierda.

Con respecto al análisis de las curvas de secado, se puede observar en este método que también el tamaño de partícula es un factor importante que acelera la velocidad del proceso de secado.

Se realizó un análisis de las Figuras 29 y 30, para determinar si las curvas de velocidad de secado muestran el comportamiento a lo descrito en la revisión de literatura como se menciona en el apartado 2.4.3, así observamos que los gráficos de la Figura 30, se caracterizan por una ausencia de los periodos de estabilización (inducción) y de velocidad constante y un comportamiento muy variable en la zona de la velocidad decreciente que domina el proceso de secado por aire forzado. Sacilik *et al.*, 2006; Rajkumar *et al.*, 2007 reportan no observar este periodo debido a que las lecturas de pérdida de peso se realizaron cada 30 minutos.

4.2.2.1 Determinación de los parámetros de proceso

Para obtener una descripción del comportamiento del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) variedad roja durante el secado se determinaron los parámetros del proceso: tiempo crítico, humedad crítica y velocidad de secado que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros de caracterización del proceso determinados a partir de las curvas de velocidad de secado

Ensayo Variedad roja	HORNO DE CONVECCIÓN POR GRAVEDAD			HORNO DE AIRE FORZADO		
	Punto Critico		Velocidad	Punto Critico		Velocidad
	Tiempo Critico (t_{cr}) min	Humedad Critica (X_{cr})	(dx/dt) Kg _{H2O} /Kg ss min	Tiempo Critico (t_{cr}) min	Humedad Critica (X_{cr})	(dx/dt) Kg _{H2O} /Kg ss min
Cubos	150	1.42	0.0268	120	1.40	0.0287
Rodajas	180	1.64	0.0150	120	1.18	0.0177

En la Tabla 14 se muestran los parámetros de proceso, que se determinaron en la curva de velocidad de secado.

Punto crítico t_{cr} , X_{cr} : se observa que la humedad crítica para la geometría en cubos en ambos métodos tienen casi el mismo valor 1.40 gramos H₂O / gramos ss.

Con respecto al tiempo crítico, éste es diferente entre las dos técnicas de secado, sin embargo es igual en la técnica de aire forzado para las dos geometrías evaluadas (cubos y rodajas).

Velocidad: al comparar los datos entre cubos y rodajas se distingue que la velocidad de secado está influenciada por el tamaño de partícula, es decir, es más rápida la velocidad de secado de muestras en cubos.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la etapa experimental permitieron plantear las siguientes conclusiones:

- ✚ La utilización de la técnica de secado en horno de convección por gravedad a 60°C por 6 horas, tiene influencia positiva al retener una mayor concentración de antioxidantes totales presentes en el pimiento morrón, comparados con el testigo. Por lo tanto se acepta la hipótesis planteada al inicio de este trabajo.
- ✚ El estado de madurez en el pimiento morrón influye de forma directa con su contenido de compuestos bioactivos, lo que a su vez repercute en que la capacidad antioxidante sea mayor en el fruto mientras va madurando.
- ✚ El mayor contenido de ácido ascórbico lo tuvo el pimiento morrón variedad roja en fresco (550.2 mg/100g) y las muestras deshidratadas en el horno por aire forzado (870 mg/100g).
- ✚ Los resultados confirman que, el pimiento morrón, constituye una buena fuente de ácido ascórbico. Los hallazgos permiten afirmar que el pimiento morrón variedad roja, presenta mayor capacidad antioxidante, probablemente debido a la influencia de los carotenoides.
- ✚ Los resultados obtenidos muestran que el pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) procesado bajo la técnica de secado en horno de convección, es un alimento con una buena capacidad antioxidante, lo cual convierte a este alimento en un excelente complemento para la dieta diaria aportando sustancias con potencial antioxidante.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Realizar una caracterización de los fitoquímicos presentes en el pimiento morrón, para saber cuál se encuentra en mayor proporción y poder atribuir a ese fitoquímico la capacidad antioxidante del pimiento morrón.

Analizar el efecto de los tratamientos térmicos analizados bajo diferentes condiciones de operación como: el tiempo y temperatura.

Estudiar el comportamiento de muestras durante el almacenamiento, por lagos periodos.

Evaluar el empaque que permitirá la conservación de la mayor cantidad de compuestos antioxidantes en los productos obtenidos a partir de la deshidratación.

CAPÍTULO VII

7. LITERATURA CITADA

Avalos Llano K.R., Sgroppo S.C y Chaves A.R. (2012). Pimientos cherry cortados. Evaluación de fenoles y ácido ascórbico durante el almacenamiento. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agro exportaciones.

Anderson I., Dibble M.V., Turkki P.R., Mitchell H.S., Rynbergen H.J. (1987). Nutrición y Dieta de Cooper. Ed. Interamericana.

Baudui Dergal, S. (1993). Química de los alimentos. Editorial Alambra mexicana. México D.F.

Badui Dergal, S. (1999). Química de los alimentos. 3ª edición. Editorial Pearson. México.

Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. Cuarta edición. Ed. Pearson, México, 251-260p.

Barbosa G y Vega H. (2000). Deshidratación de los alimentos. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza-España.

Bashir H.A., Abu-Goukh A.B. (2003). Compositional changes during guava fruit ripening. Food Chem. 80:557-563.

Bast A., Haenen G.R., y Doelman C.J. (1991). Oxidants and antioxidants: State of the Art. American Journal of Medicine. 91(suppl. 3C): 2-13.

Buettner G.R. (1993). The pecking order of free radicals and antioxidants: lipid peroxidation, alphanatocopherol, and ascorbate. Archives of Biochemistry and Biophysics 300: 535 – 543.

Burton G.W., Traber M. G. (1990). Vitamin E: antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. Annual Review of Nutrition. 10:357-382.

Byers T., Perry G. (1992). Dietary carotenes, vitamina C and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Ann. Rev. Nutri.* 12:139-159.

Cañizares A., Laverde D., Puesme R. (2003). Crecimiento y desarrollo de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santa Bárbara, estado de Monagas, Venezuela. *Revista Udo Agrícola*. 2003. 3(1):34-38.

Cano A., Alcaraz O., Acosta M., y Arnao M.B. (2002). On-line antioxidant activity determination: comparison of hydrophilic and lipophilic antioxidant activity using the ABTS⁺ assay. *Redox Report*. 7:103-109.

Castaños M., C. M. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 520 p.

Casp A y April J. (2003). Procesos de conservación de alimentos, secado y deshidratación de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Che Man, Y. B. y Tan C. P. 2003. Carotenoids. En: Gunstone, F. D. (Ed) *Lipids for functional foods and nutraceuticals*, Oily Press, Bridgwater, pp 25 – 52.

Chen R.Y., Wu J.J., Tsai M.J., and Liu M.S. (2000). Effect of storage and thermal treatment on the antioxidant activity of tomato fruits. *Journal of the Chinese Agriculture Chemical Society (Taiwan)*. 38:353-360.

Chiselli A., Serafini M., Maiani G., Azzini E., Ferro-Luzzi A. (1995). A fluorescence-based method for measuring total plasma antioxidant capability. *Free Rad Biol Med*. 18(1):29-36.

Clark N. (2003). *Sports Nutrition Guidebook*. Estados Unidos: Human Kinetics.

Colina M.L. (2010). *Deshidratación de alimentos*. Editorial Trillas. México.

Cox E.S. (2001). Lycopene analysis and horticultural attributes of tomatoes. Thesis the Degree of Master of Science. Colorado State University. Fort Collins, Colorado. U.S.A.

Daood H.G, Kapitány J, Biacs P and Albrecht K. (2006). Drying temperature, endogenous antioxidants and capsaicinoids affects carotenoid stability in paprika (red pepper spice). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86(14):2450-2457.

Davey M.V., Van Montagu M., Inzé D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirnoff N., Benzoe I. J.J., Strain J.J., Favell D., Flectcher J. (2000). Review: Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the science of food and agriculture*. 80: 825-860.

DeGarmo J.T., Black R.A. (1994). *Materiales y procesos de fabricación*. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. España.

Delgado-Vargas F. & Paredes-López O. (2003). *Natural colorants for Food and nutraceutical uses*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. pp 257-305.

De Queiroz Y, Manólio Soares R, Dias V, Ferraz de Silva E, Gomes J. (2009). Efeito do processamento na atividade antioxidante do grão de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria) *Archivos Lationamericanos de Nutrición*. 59(4):419-23.9.

Dewanto V, Wu X.Z, Adom K.K, Liu R.H, (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(10):310-314.

Doymaz I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*. 78(4):1291-1297.

Erenturk S., Gulaboglu S.M., and Gultekin S. (2004). Los efectos de corte y secado de soporte en el contenido de vitamina C de rosa mosqueta durante el secado. *Journal of Food Engineering*. 68(4):513-518.

Estrada Velázquez Luis Miguel. (2006). *Tipo de secado y características de algunos alimentos*. Monografía de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.

Fennema R.O. (1985). *Introducción a la Ciencia de los Alimentos*. Editorial Reverté. Zaragoza. España.

Fennema R.O. (2000). *Química de los Alimentos*. Segunda Edición. Zaragoza. España. Pag. 238-239.

Fennema R.O. (2010). *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia. 3ª Edición. Zaragoza. España.

Fiozeze R., Morini B. (2000). Yam (*Dioscorea sp.*) drying with different cuts and temperatures: experimental and simulated results. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 20(2):262-266.

Fito Maupoey P., Andrés Grau A.M., Barat Baviera J.M., y Albors Sorolla A.M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial de la UPV. Valencia.

Fridovich I. (1978). The biology of oxygen radicals. *Science*. 201(4359):875-880.

García J. (2007). *Espicias deliciosas exóticas*. Intermón Oxfam. Barcelona.

Geankopolis C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3ª Edición. Ceca. México. D.F. Pag. 1008.

Gershoff S.N. (1993). Vitamin C (ascorbic acid): new roles, new requirements. *Nutr Rev.* 51(11):313-326.

Gómez-Ladrón de Guevara R., Pardo-González J.E. (1996). Evolution ripening of selected varieties of Páprika pepper (*Capsicum annum L.*). *Journal Agric. Food Chem.* 44:2049-2052.

Halliwel B. (1990). How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Res (Vol.9)*. Commun.

Halliwel B, Gutteridge MC. (1998). *Free Radicals in Biology and Medicine*. 3rd Ed. Oxford Science Publications. Oxford. 936 pp.

Halliwel B. (1996). Free radicals, proteins and DNA: oxidative damage versus redox regulation. *Biochemical Society Transactions*. 24:1023-1027.

Hatamipour M.S y Mowla D. (2002). Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *Journal of Food Engineering*. 55(3):247-252.

Horwitt M. (1991). Data supporting supplementation of humans with vitamin E. *The Journal of Nutrition*, 121, 424-429.

Howard L.R, Talcott S.T, Brenes C.H and Villalon B. (2000). Changes in Phytochemical and Antioxidant Activity of Selected Pepper Cultivars (*Capsicum* Species) As Influenced by Maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(5):1713-1720.

Howard L.R y Wildman R.E.C. (2007). Isoflavones: source and metabolism. *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. Boca Raton, Fla. CRC Press p 165.191.

<http://amazing-glutathione.com/que-son-radicales-libres.html>.

http://www.genome.jp/kegg-bin/highlight_pathway?scale

Huang D., Ou B., and Prior R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*. 53(6):1841-1856.

Hui Y.H. (1992). *Encyclopedia of Food Science and Technology*. A. Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc. Vol 1. Tomo A-D.

Ibar A., L. y Serrat B., J. (1987). *Tomates, pimientos y berenjenas*. Editorial Aedos. Barcelona 40:28-31.

Institute of Medicine 2000. *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Washington, DC: The National Academy of Sciences. 5:95-166.

Kader, A. A.; Morris, L. L.; Chen, P. (1978). Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103:70-73.

Kaur C, Kappor HC. (2001) Antioxidants in fruits and vegetables-the millenniums health. *International Journal of Food Science & Technology*. 36(7):703-725.

Kendall P., DiPersio P y Sofos J. (2012). *Drying Vegetables*. Food and Nutrition Series.

Krinsky, N. I. (2001). Carotenoids as antioxidants. *Nutrition*, 17:815-817.

Krinsky N.I., Johnson E.J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Mol. Aspects Medic*. 26(6):459-516.

Kuskoski E.M, Asuero A.G, Troncoso A.M, Mancini-Filho J and Fett R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 25(4):727-728.

Learson, R, (1997). *Naturally occurring antioxidants*. CRC Press LLC. Pag. 116.

Lee K., y Kader A.A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*. 20:207-220.

Lehninger A.L. (1993), "Bioquímica". 2ª Ed., Ediciones Omega.

Lin T.M., Durance T.D and Scaman C.H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*. 31(2): 111-117.

López R. R., Echeverri F. (2007). ¿Son seguros y efectivos los antioxidantes? *Scientia Et Tehnica*.8 (33): 41-44

López M.C., López H y Olea M.F. (2012). *Las vitaminas: Toxicología alimentaria*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid.

Marín A, Ferreres F, Tomás-Barberán FA, Gil M.I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annum* L). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(12):3861-3869.

Martínez-Flores S., González-Gallego J., Culebras J.M., y Truñon M.J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*. 17(6):271-278.

Maskan M.(2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48(2):177-182.

Matsufuji H., Ishikawa K., Nunomura O., Chino M., y Takeda M.(2007). Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*. 42:1482-1488.

Matsufuji, H., Nakamura, H., Chino, M. y Takeda, M. (1998). Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annum*). *J. Agric. Food Chem*. 46: 3468- 3472.

Mermelstein C, (2008). Determining Antioxidant Activity. *Food Technology Magazine*.

Mulet A., Sanjuán N., Bon J., and Simal S. (1999). Drying model for highly porous hemispherical bodies. *European Food Research Technology*. 210:80-83.

Navarro J.M., Flores P., Garrido C., Martínez V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruit at different ripening stages as affected by salinity. *Food Chemistry*. 96:66-73.

Nelson N. (1994). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem*. 153:375-380.

Nicoli M.C., Anese M., and Parpinel M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 10(3):94-100.

Nogueira R.I., Cornejo F.E.P. (2005). Effects of drying parameters on pepper (*Capsicum* sp) quality. 2° Mercosur Congress on Chemical Engineering y 4 ° Mercosur Congress on process Systems Engineering.

Nuez, F. (1995). El cultivo del tomate. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 793 p.

Nuez F., Gil R., y Costa J. (1996). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Ong, A.S.H. y Choo, Y.M. (1997). Carotenoids and tocopherols from palm oil. En Natural Antioxidants, F. Shahidi (Ed) Cap.8, p 133 – 149, AOCS Press Champaign Illinois USA.

Palevitch, D. y Craker, L. E. (1995). Nutritional and medicinal importance of red pepper (*Capsicum* ssp.). J. Herbs Spices Med. Plants 3:55-83.

Pérez T.G. (2003). Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 22(1):48-57.

Pérez-Margariño S., González-SanJosé M.L. (2003). Application of Absorbance values used in wineries for estimating CIELab parameters in red wines. Food Chemistry. 81:301-306.

Perry H. Robert. (1992). Manual del Ingeniero Químico. 6a Ed. Tomo 2. Mc Graw Hill, México pp 20-84.

Pineda A, Salucci M, Lázaro R, Maiani G, Ferro-Luzzi A. (1999) Capacidad antioxidante y potencial de sinergismo entre los principales constituyentes antioxidantes de algunos alimentos. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos: Instituto Nacional de Nutrición de Italia. Revista Cubana de Alimentación y Nutrición. 13(2):104-111.

Pocorny J., Schmidt S. (2001). Natural antioxidant functionality during food processing. Wood head publishing limited Cambridge England. Part. 4.

Pokorny J, Yanishlieva N and Gordon M. (2005). Antioxidantes de los alimentos aplicaciones prácticas. Acribia S.A, Zaragoza, España.

Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., and Mainland M. (1998) Antioxidant capacity as influenced by

total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of agricultural and food chemistry*. 46(7): 2686-2693.

Prior R.L., Wu X., and Schaich K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*. 53, 4290-4302.

Proteggente A.R., Pannala A.S., Paganga T., Van Buren L., Wagner E., Wiseman S., Van de Put F., Dacombe C., and Rice-Evans C.A. (2002). The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radicals Research*. 36(2):217-233.

Rahman M.S. (1999). *Handbook of Food Preservation*. Marcel Dekker. Inc. New York. Pp 173-217.

Rajkumar P., Kulanthaisami S., Raghavan G.S.V., Gariép Y., Orsay, V. (2007). Drying kinetics of tomato slices in vacuum assisted solar and open sun drying methods. *Drying Tech.*, 25, 1349-1357.

Reilly P.M., Schiller H.J., Bulkey G.B. (1991). Pharmacologic approach to tissue injury mediated by free radicals and other reactive oxygen metabolites. *An J of Surg*. 161:488-503.

Riquelme, F. (1995). Poscosecha. In: *El Cultivo del tomate*. Nuez, F. (ed.) Edit. Mundi Prensa. Madrid, España. 793 p.

Rivero R.M., Ruiz J.M., García P.C., López-Lefebvre L.R., Sánchez E., y Romero L. (2001). Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*. 160:315-321.

Rodrigo-García J, Álvarez-Parrilla E, De la Rosa L, Mercado G, Herrera B. (2006). Valoración de la capacidad antioxidante y actividad polifenol oxidasa en duraznos de diferentes áreas de producción. I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos y Cortados. San Pedro, SP Brasil. 112-113.

Rodríguez-Amaya, D.B. (1999). Latin American Food sources of carotenoids. Arch. Latinoam. Nutr. 49: 74S – 84S.

Rogalinski T., Del Valle J, M., Bruner G y Zetzi C. Extraction of Boldo (*Peumus boldus* M.) Leaves With Hot Pressurized Water And Supercritical CO₂. 1-6.

Rojas A., Gerschenson L. (2001). Ascorbic acid destruction in aqueous model systems: an additional discussion. Journal of the science of Food and Agriculture. 81(15):1433-1439.

Sacilik K., Keskin E.A., Konuralp R. (2006). Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. J. Food Eng. 73:231-238.

Shahidi F., y Naczki M. (1995). Food Phenolics: sources, chemistry, effects and applications. Technomic Publishing. Inc. p.247-260.

Schiffman R.F. (1995). Microwave and dielectric drying, In: Handbook of Industrial Drying, 2nd Edition. Vol.1. Dekker, New York.

Schlueter A.K., Johnston C. (2010). Vitamin C: Overview and Update. Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine 16 (1): 49 – 57.

Siller-Cepeda J., Báez-Sañudo M., Muy-Rangel P., Contreras-Martinez R., Contreras-Angulo L. (2005). Carotenoides, ácido ascórbico y otros nutrimentos en chiles morrones rojos, amarillos y anaranjados producidos en invernadero. Centro de Investigación y Desarrollo. Sinaloa. México. Second world pepper Convention.

Strain J.J., Mulholland C.W. (1992). Vitamin C and vitamin E- synergistic interactions in vivo? Free Radicals and Aging. 62, 419-422.

Sukrasno, N. y Yeoman, M.M. (1993). Phenylpropanoid metabolism during growth and development of *Capsicum frutescens* fruit. Phytochemistry. 32: 839 – 844.

Sun T., Xu Z., Wu C.T., James M., Prinyawiwatkui W., y No H.K. (2007). Antioxidant activities of different colored sweet peppers (*Capsicum annum* L.). Journal of Food Science. 72(2):98-102.

Tsamo C.V.P., Bilame A.F., Ndjouenkeu R. (2006). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*). *International Journal of Food Properties*. 9(4):877-888.

Tosun I., Ustun S. (2003). An investigation about antioxidant capacity of fruit nectars. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2(3): 167-169.

Treybal R.E. (2002). *Operaciones de Transferencia de masa*. 2ª Edición. Editorial McGraw Hill. México, pp 23-42, 723-758.

Unadi A., Fuller R.J., y Macmillan R.H. (2002). Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator. *Drying Technology*. 7:1407-1425. Pérdida de constituyentes volátiles: cuando el agua es evaporada de productos alimenticios, el flujo de aire húmedo que abandona el secador invariablemente arrastra, trazas de algún constituyente volátil del alimento fresco. Este efecto se traduce en una desventaja e irreversible pérdida de sabor (Benavides, 1973).

Vega G.A., Fito P., y Lemus M.R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*. 79:1460-1466.

Vega G.A., Lemus M.R., Bilbao S.C., Yagnam F., y Rojas A. (2008). Mass transfer kinetics during convective drying of red pepper var. Hungarian (*Capsicum annum* L.). Mathematical modeling and evaluation of kinetic parameters. *Journal of Food Process Engineering*. 31:120-137.

Venereo Gutiérrez, J.R. (2002). Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Rev Cubana Med Milit*. 31(2):126-133.

Vertuani S., Angusti A., Manfredini S. (2004). The antioxidants and pro-antioxidants network: an overview. *Curr Pharm Des*. 10(14):1677-1694.

Wall M.M., Wandell C.A., y Bosland P.W. (2001). Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of capsicum. *Hort Science*. 36(4):746-749.

Willis R. H. H., Lee, T. H., McGlasson W. B., Hall, E. G., Graham, D. (1999). Introducción a la fisiología y manipulación de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. 2ª Edit. Acribia. Zaragoza, España. 240 p.

www.botanical-online.com/pimientos.htm

www.agrointerntet.com.

Zanoni B., Peri C., Nani R., and Lavelli V. (1998). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. Food Research International. 31(5):395-401.

Zapata M., Bañon S., y Cabrera P. (1992). El pimiento para pimentón. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

CAPÍTULO VII

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza de la variable sólidos solubles totales (SST).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	36.68466667	18.34233333	31.17	<.0001
Error	27	15.88900000	0.58848148		
Total correcto	29	52.57366667			

Prueba de Duncan para la variable sólidos solubles totales respecto al color del producto.

A	8.3400	10	2
A	8.2700	10	1
B	5.9600	10	0

Anexo 2. Análisis de varianza de la variable firmeza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	215.9290400	107.9645200	7.42	0.0027
Error	27	393.0239600	14.5564430		
Total correcto	29	608.9530000			

Prueba de Duncan para la variable firmeza respecto al color del producto.

A	14.414	10	0
B	8.748	10	1
B	8.698	10	2

Anexo 3. Resumen de los análisis de varianza para la variable ácido cítrico.

	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Técnica	2	468	234	137	0.0001
Color	2	2.75	1.37	0.81	0.44
Corte	1	1.92	1.92	1.16	0.28
Técnica x Color	4	33.87	8.46	4.99	0.0012
Color x Corte	2	7.9	3.95	2.39	0.09
Técnica x Corte	1	0.41	0.41	0.25	0.61

Separación de medias para la variable de ácido cítrico, prueba Duncan.

Técnica		Color		Corte	
Horno con aire forzado	6.27 A	Rojo	3.34 A	Cubos	4.56 A
Horno de convección	2.49 B	Naranja	3.29 A	Rodajas	4.2 A
Fresco	0.82 C	Amarillo	2.95 A		

Anexo 4. Resumen de los análisis de varianza para la vitamina C.

	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Técnica	2	8822018	4411009	271.2	0.0001
Color	2	400051	200025	12.3	0.0001
Corte	1	139515	139515	9.66	0.0026
Técnica x Color	4	1566929	391732	24	0.0001
Color x Corte	2	43330	21665	1.5	0.22
Técnica x Corte	1	22678	22678	1.57	0.21

Separación de medias para la variable vitamina C, prueba Duncan.

Técnica		Color		Corte	
Horno con aire forzado	870 A	Rojo	550.2 A	Cubos	702 A
Horno de convección	439 B	Naranja	477.06 B	Rodajas	606 B
Fresco	106 C	Amarillo	387.18 C		

Anexo 5. Resumen de los análisis de varianza para la variable capacidad antioxidante total.

	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Técnica	2	304.77	152.38	32.06	0.0001
Color	2	121.83	60.91	12.83	0.0001
Corte	1	13.65	13.65	4.12	0.047
Técnica x Color	4	196.35	49.08	10.33	0.0001
Color x Corte	2	6.3	3.15	0.68	0.51
Técnica x Corte	1	5.95	5.95	1.28	0.26

Separación de medias para la variable capacidad antioxidante total, prueba Duncan.

Técnica		
Horno de convección	5.00	A
Fresco	2.64	B
Horno con aire forzado	0.50	C

Color		
Rojo	4.23	A
Naranja	2.5	B
Amarillo	1.4	B

Corte		
Rodajas	3.23	A
Cubos	2.27	B