

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN HORNO POR AIRE FORZADO
SOBRE EL CONTENIDO DE VITAMINA C Y PROVITAMINA A DEL PIMIENTO
MORRÓN AMARILLO (*Capsicum annum L.*).**

Por:

ALEJANDRA REBOLLAR GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN HORNO POR AIRE FORZADO SOBRE EL
CONTENIDO DE VITAMINA C Y PROVITAMINA A DEL PIMIENTO MORRÓN
AMARILLO (*Capsicum annum* L.)

TESIS

Por:

ALEJANDRA REBOLLAR GARCÍA

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:



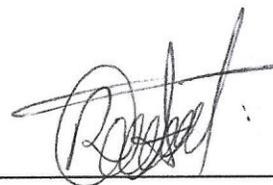
M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Presidente del Jurado



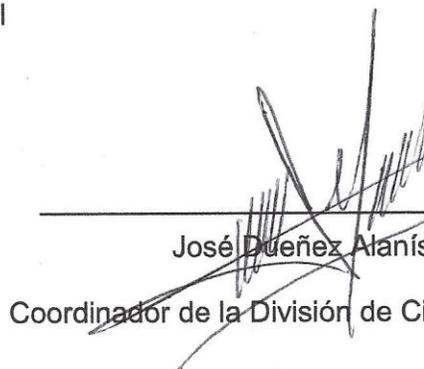
Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Sinodal



Dr. Armando Robledo Olivo

Sinodal



José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Mayo de 2017.

DEDICATORIAS

A mis padres

Ignacio Rebollar Sánchez

Padre gracias por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por esos ejemplos de constancia y perseverancia que lo han caracterizado, pero sobre todo por el amor, cariño y confianza que ha puesto sobre mí.

Padre hoy puedo decir que ha valido la pena el sacrificio, el dolor y la tristeza por las despedidas.

Juana García Vilchis

Madre eres una mujer extraordinaria, el pilar fundamental en todo lo que soy, gracias por darme la vida, por estar conmigo en todo momento, por esos consejos de madre que me han ayudado a seguir mi camino y conseguir lo que me propongo, has creído en mí, ahora este logro te lo dedico a ti.

A mis hermanas

Ana, July, Fely y Flor

Por tomar su papel de hermanas mayores y sin tantas palabras me han dado una importante lección de vida que ha sido con su ejemplo de salir adelante, luchar por lo que se quiere y por enseñarme el camino de la superación, gracias a ustedes he logrado una meta más en la vida.

A mis hermanos

Mauro, Santiago y Juan.

Por estar conmigo en las buenas y en las malas, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por esas palabras de aliento en momentos difíciles, por esos ejemplos de superación, los quiero mucho.

A mi novio

Ignacio L.E.

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo en las buenas y en las malas en todo el trayecto de la carrera, estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. El camino no fue fácil pero con tu apoyo y cariño todo fue posible.

A mis amigas

Zulma, Llesmin, Liliana, Adelaida.

Compartimos muchas experiencias bonitas pero también duras, aún recuerdo esas noches de estudio y desvelo, fueron momentos difíciles, pero la satisfacción que hoy queda es que valió la pena.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en toda la trayectoria de mi vida, por darme la fortaleza y la sabiduría para poder llegar hasta este momento y cumplir con mi objetivo.

*A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi **Alma Mater** por ser mi segundo hogar, gracias por todos los conocimientos adquiridos y las experiencias vividas a lo largo de toda la carrera, fueron momentos que jamás olvidaré y que se quedan grabados en el corazón, por todo mil gracias.*

A mi directora de tesis

M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Por su gran apoyo, motivación y tolerancia para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de este proyecto de tesis, le agradezco infinitamente por su tiempo compartido, por los sabios conocimientos que me transmitió para mi formación profesional.

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Por la orientación, apoyo y tiempo que me ha brindado para la elaboración de este proyecto, además de sus sugerencias y observaciones que han sido muy constructivas para mi formación profesional.

Dr. Armando Robledo Olivo

Por su interés mostrado y el apoyo que me brindó para poder llevar a cabo este trabajo, muchas gracias.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la cantidad de sustancias antioxidantes (vitamina C y provitamina) presentes en pimiento morrón amarillo (*Capsicum annum L.*) fresco y sometido a un tratamiento térmico por aire forzado. El experimento se llevó a cabo en una estufa de aire forzado (marca yamato, modelo DKN602C) del laboratorio de Bioprocesos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila.

Los resultados estadísticos indican que existe una diferencia altamente significativa entre el material fresco y seco, la muestra procesada aumenta la concentración de vitamina C en un 80 %, mientras que el contenido de provitamina A es 64% mayor con respecto a la cantidad presente en muestra fresca; lo que demuestra que hay un efecto positivo del tratamiento térmico sobre la capacidad antioxidante del pimiento morrón amarillo.

La curva de secado obtenida, permite establecer un tiempo crítico de 5 horas para eliminar el 80 % de agua presente en el vegetal a una temperatura de 60°C.

Como conclusión se establece que el tratamiento térmico por aire forzado es una alternativa eficaz para deshidratar pimiento morrón amarillo y establecerlo como un producto con potencial antioxidante.

Palabras clave: pimiento morrón, tratamiento térmico, vitamina C, provitamina A, curva de secado.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE TABLAS | X |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XI |
| 1. 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. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Origen, taxonomía y distribución..... | 5 |
| 2.1.1. Parámetros de calidad | 6 |
| 2.1.2. Color..... | 6 |
| 2.1.3. Tamaño | 7 |
| 2.1.4. Firmeza | 7 |
| 2.1.5. Sólidos solubles totales (°Brix)..... | 7 |
| 2.1.6. Composición química | 8 |
| 2.2. Antioxidantes..... | 8 |
| 2.2.1. Vitamina C..... | 9 |
| 2.2.2. Propiedades físico-químicas | 9 |
| 2.2.3. Contenido de vitamina C en pimiento morrón | 10 |
| 2.2.4. Beneficios que aporta a la salud | 10 |
| 2.2.5. Carotenoides..... | 11 |
| 2.2.6. Propiedades químicas..... | 11 |
| 2.2.7. Clasificación | 11 |
| 2.2.8. Carotenoides en pimiento morrón y beneficios que aporta a la salud | 12 |
| 2.3. Secado..... | 13 |
| 2.3.1. Secado por aire forzado | 13 |
| 2.3.2. Cinética de secado..... | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.3. Proceso de secado en alimentos | 15 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |
| 3.1. Ubicación del sitio experimental | 16 |
| 3.2. Material biológico | 16 |
| 3.3. Equipos y reactivos..... | 16 |
| 3.4. Metodología | 17 |
| 3.4.1. Determinación de los parámetros de calidad del pimiento morrón (Capsicum annum L.) fresco | 18 |
| 3.4.1.1. Peso..... | 18 |
| 3.4.1.2. Tamaño..... | 18 |
| 3.4.1.3. Firmeza | 18 |
| 3.4.1.4. Color | 19 |
| 3.4.1.5. Sólidos Solubles Totales (°Brix)..... | 19 |
| 3.4.2. Determinación de sustancias antioxidantes | 19 |
| 3.4.2.1. Ácido Ascórbico (Vitamina C) | 19 |
| 3.4.2.2. Carotenoides (Provitamina A) | 21 |
| 3.4.3. Proceso de secado..... | 23 |
| 3.4.3.1. Curvas de secado | 23 |
| 3.4.4. Análisis estadístico..... | 24 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| 4.1. Determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón | 25 |
| 4.1.1. Peso, tamaño y firmeza..... | 25 |
| 4.1.2. Color | 26 |
| 4.1.3. Sólidos Solubles Totales..... | 27 |
| 4.2. Determinación de antioxidantes | 28 |
| 4.2.1. Vitamina C | 28 |
| 4.2.2. Carotenoides..... | 30 |
| 4.2.3. Secado | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 5. CONCLUSIONES | 33 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 34 |
| 7. ANEXOS | 41 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Clasificación taxonómica del pimiento morrón..... | 5 |
| Tabla 2. Composición química del pimiento morrón. | 8 |
| Tabla 3. Equipos empleados | 16 |
| Tabla 4. Materiales empleados..... | 17 |
| Tabla 5. Reactivos empleados..... | 17 |
| Tabla 6. Valores promedio de peso diámetro y firmeza del pimiento morrón amarillo en fresco..... | 25 |
| Tabla 7. Resultados promedio de color (5 repeticiones) (L^* , a^* , b^*) del pimiento morrón amarillo en fresco | 26 |
| Tabla 8. Contenido promedio de sólidos solubles totales en muestras de pimiento morrón fresco. | 27 |
| Tabla 9. Contenido de vitamina C en muestras de pimiento morrón fresco y sometido a tratamiento térmico. | 28 |
| Tabla 10. Contenido de carotenoides en muestras de pimiento morrón fresco y sometido a tratamiento térmico..... | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Estructura química de la vitamina C..... | 10 |
| Figura 2. Estructura química de licopeno y luteína..... | 11 |
| Figura 3. Estructura química del β -caroteno. | 12 |
| Figura 4. Gráfica de secado, datos de humedad libre en función del tiempo..... | 14 |
| Figura 5. Determinación de peso del pimiento morrón amarillo. | 18 |
| Figura 6. Determinación de firmeza del pimiento morrón..... | 19 |
| Figura 7. Determinación de Ácido ascórbico (Vitamina C) en pimiento morrón. | 20 |
| Figura 8. Determinación de carotenoides (provitamina A) en pimiento morrón... | 22 |
| Figura 9. Pimiento morrón amarillo seco mediante horno de aire forzado. | 23 |
| Figura 10: <i>Espacio de color CIELAB</i> | 27 |
| Figura 11. Contenido de vitamina C (mg /100g) en pimiento fresco y sometido a tratamiento térmico. | 28 |
| Figura 12. Contenido de Carotenoides (mg /100g) en pimiento fresco y sometido a tratamiento térmico. | 31 |
| Figura 13. Curva de secado del pimiento morrón amarillo | 32 |

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El pimiento morrón (*Capsicum annum L.*), es una planta herbácea perteneciente a la familia de la solanáceas y es considerada como una hortaliza de gran importancia ya que su producto es consumido mundialmente como fruto fresco o procesado (dulce, picante o especia).

Es originario de Bolivia, Perú y México, siendo en éste último su cultivo una de las actividades más importantes en el sector hortícola pues tiene gran importancia económica en los Estados de Sinaloa, Sonora y Baja California Sur ya que su producción es exportada, mientras que al mercado nacional es abastecido principalmente por los estados de Sinaloa y Morelos.

Uno de los principales países a los que se exporta es a Estados Unidos el cual compra a México el 98.9% de morrón, 81.2% de ancho y 92.1% de los preparados (SAGARPA, 2014), otra forma de exportar estos chiles han sido en seco o deshidratado, el cual también ha ido en aumento en los últimos años. Información de la FAO indica que las importaciones de chiles secos durante 2012 fueron de 357,494 toneladas. Los principales países importadores de chiles secos son Estados Unidos, Malasia, México, España y Tailandia. Según la FAO México se clasifica un poco arriba del rendimiento mundial (15.30 ton/ha), con un rendimiento promedio de 18.17 ton/ha en la producción de chile fresco.

El consumo de pimiento ayuda a la prevención de enfermedades, como problemas cardiovasculares, cerebrovasculares, envejecimiento y cáncer, ya que presentan una amplia variabilidad sensorial y nutricional, muchos de ellos con unas marcadas propiedades antioxidantes e importantes efectos biológicos (Howard, et al., 2000). Entre los caracteres sensoriales destacan la textura, tamaño, color, grosor de la pared y cantidad de semillas. Respecto a los niveles de los compuestos antioxidantes, en el fruto destacan los niveles de tocoferoles, flavonoides (quercitina, robinutina, luteolina, kaempferol, naringenina, catequinas, hesperidina), ácidos fenólicos (ácidos cafeico, ferúlico, gálico, clorogénico),

(Learson, 1997) y carotenoides que son responsables de la coloración del fruto teniendo la capacidad para actuar como provitamina A (Rodríguez- Amaya, 1989).

El ácido ascórbico o bien conocido como vitamina C es un antioxidante y captador de radicales libres, esencial para mantener la integridad del organismo, es importante ya que actúa en la formación y reparación de los tejidos así como en la formación de colágeno (Pardo Arquero, 2004). Las propiedades de la vitamina C la convierten en el antioxidante ideal, por lo que es vital para evitar el envejecimiento prematuro y proteger la membrana de los vasos sanguíneos.

Los antioxidantes son compuestos químicos que el cuerpo humano utiliza para eliminar radicales libres, son una especie de oxígeno reactivo que introducido en las células producen la oxidación de sus diferentes partes, alteraciones en el ADN y cambios diversos que aceleran el envejecimiento del cuerpo (Mohammad Rahimi-Madishe, et al., 2016)

Para la determinación de dichos antioxidantes existen diferentes técnicas tales como la espectrofotometría, uno de los métodos de análisis más usados por ser muy eficaz y simple ya que puede determinar con gran exactitud una amplia gama de analitos; este análisis se basa en la relación que existe entre la absorción de luz por parte de un compuesto colorido y su concentración (James & Prichard, 1975).

Para la determinación del contenido de ácido ascórbico se emplea la titulación volumétrica, método de análisis cuantitativo en el que se mide el volumen de una disolución de concentración conocida necesario para reaccionar completamente con un compuesto en disolución de concentración desconocida.

Para conocer cuándo se ha llegado al final de la titulación, en la disolución problema se agrega un indicador que sufre un cambio físico apreciable tal como el color. (Ciancaglini, 2001).

1.1. Justificación

La alimentación y el estilo de vida han cambiado en los últimos años, generando consecuencias en la salud de los consumidores ya sea modificables o no modificables; entre las primeras se encuentran la obesidad, altos niveles de colesterol, presión arterial alta, alcoholismo y tabaquismo; entre las no modificables encontramos enfermedades crónico degenerativas, como la diabetes; factores a los cuales estamos expuestos día a día como la contaminación ambiental, exposición excesiva a rayos ultravioleta, entre otros que afectan también a la salud. Estos factores están asociados a la presencia o desarrollo excesivo de radicales libre en el organismo, lo que ha traído como consecuencia enfermedades tales como cáncer, problemas cardiovasculares, cerebrovasculares, estrés crónico y envejecimiento.

Por tanto el consumo de antioxidantes es importante ya que éstos se caracterizan por impedir o retrasar la oxidación de las células, actuando algunos a nivel intracelular en los sustratos biológicos (proteínas, lípidos y ácidos nucleicos) y otros en la membrana de las células.

Los antioxidantes los podemos encontrar en frutas, verduras, legumbres y hortalizas, una de las principales hortalizas rica en antioxidantes es el pimiento morrón ya que contiene ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas y carotenoides, los cuales ofrecen una especial protección amortiguadora en el organismo.

El contenido de antioxidantes de este fruto depende de diferentes factores como: tipo de cultivo, estado de maduración y almacenamiento, de manera que en la presente investigación se pretende determinar la cantidad de antioxidantes en la variedad de pimiento amarillo, que se encuentran en una etapa de pre-maduración, en estado fresco y sometido a un tratamiento térmico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- ✓ Determinar la cantidad de sustancias antioxidantes presentes en pimiento morrón (*Capsicum annum L.*) en fresco y sometido a un tratamiento térmico por aire forzado.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar físicamente el pimiento morrón para determinar parámetros de calidad (peso, diámetro, color y firmeza).
- ✓ Someter el pimiento morrón amarillo a tratamiento térmico en horno de aire forzado a una temperatura de 60 °C por 4 horas.
- ✓ Evaluar y comparar el contenido de provitamina A y vitamina C presente en pimiento fresco y en el pimiento sometido a tratamiento térmico.
- ✓ Determinar la velocidad de secado y el tiempo crítico de secado.

1.3. Hipótesis

El tratamiento térmico por aire forzado no afecta negativamente la capacidad antioxidante del pimiento morrón amarillo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Origen, taxonomía y distribución.

El pimiento ha sido utilizado como alimento desde el año 7,200 A.C (Pickersgill, 1966). Los primeros chiles domesticados en el Nuevo Mundo se encontraron en una cueva en el Valle de Tehuacán (centro-sur de México 6,500 A.C). Esta hortaliza fue rápidamente introducida y extendida desde Europa hasta alcanzar la India.

Los indígenas Americanos conocían el fruto por el nombre de chili, sin embargo los españoles y portugueses lo bautizaron como pimiento y pimiento de Brasil.

Esta hortaliza es una especie herbácea perenne, cultivada de forma anual para el consumo humano de sus frutos; es una variedad gruesa, carnosa, de gran tamaño, piel brillante, lisa, firme, sabor suave y de tallo rígido. .

En la tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica del pimiento morrón.

Tabla 1: Clasificación taxonómica del pimiento morrón.

| | |
|------------------|-----------------------|
| Reino: | <i>Plantae</i> |
| División: | <i>Tracheophyta</i> |
| Clase: | <i>Magnoliopsida</i> |
| Subclase: | <i>Astaranae</i> |
| Orden: | <i>Solanales</i> |
| Familia: | <i>Solanaceae</i> |
| Género: | <i>Capsicum L.</i> |
| Especie: | <i>Capsicum annum</i> |

FUENTE: http://tomatecherry.es/index.php?option=com_content&view=article&id=279:taxonomia-cultivo-del-pimiento&catid=106:pimiento&Itemid=87

La familia de las *Solanáceas* engloba una serie de especies caracterizadas por la coincidencia floral y conocidas por su riqueza en alcaloides, entre los que

destacan por su interés agrícola y farmacéutico; pimiento, tomate, patata, petunia, tabaco, belladona, estroncio o beleño (Serrano Martínez, 2009).

El género *Capsicum* representa a un diverso grupo de plantas, desde el conocido pimiento de carne gruesa o pimiento dulce, cultivado en la región de Murcia, hasta el pimiento habanero, conocido por ser el más picante de los cultivados en México (Bosland, 1996). El pimiento morrón es una de las especies hortícolas de gran importancia a nivel mundial, ya que ocupa el 5º lugar en la producción y superficie cultivada de las principales hortalizas (Guzmán, et al., 2000).

La mayor parte de producción de pimiento morrón en México es empleado para la exportación; se estima que aproximadamente 5,800 hectáreas en todo el país son utilizadas para la siembra de esta hortaliza, el 90 % de la producción es destinada principalmente a Estados Unidos y Canadá, por medio del cual se captan divisas que influyen en el desarrollo regional (Hernández-Fuentes, et al., 2010), la exportación a estos países ha venido en ascenso llegando a un máximo de 240,000 toneladas en 2006 (Castellanos & Borbón, 2009).

2.1.1. Parámetros de calidad

Son aquellas que sirven para caracterizar el tamaño y la forma del fruto. Son peso, longitud, espesor de pared, curvatura de fruto, diámetros ecuatoriales y axiales. Todos son parámetros que van a conformar y caracterizar la geometría del fruto u hortaliza en estudio, es decir, masa, forma, calibre y homogeneidad en el tamaño (Domene Ruiz & Seguro Rodríguez, 2014).

2.1.2. Color

El color es considerado el atributo óptico más importante en los alimentos; es el síntoma externo más evidente de la maduración en la mayoría de las frutas y hortalizas, esto se debe en primera instancia, a la degradación de la clorofila (desaparición del color verde) y a la síntesis de los pigmentos específicos de la especie (Camelo López, 2003).

El color del pimiento es responsabilidad de los carotenoides y flavonoides (Delgado Vargas & Paredes López, 2003). El α y β -caroteno, así como la luteína, son los responsables del color amarillo y naranja del pimiento morrón (Howard, et al., 2000).

2.1.3. Tamaño

El tamaño es un parámetro muy importante de calidad, el cual se puede determinar fácilmente midiendo el diámetro de la circunferencia, la longitud, el grosor o volumen; Camelo López (2003) menciona que el tamaño es un indicador del momento de cosecha y en muchos casos está directamente relacionado a otros aspectos de calidad como sabor o textura, estándares que dependerán del destino del producto (Willis R, et al., 1999).

2.1.4. Firmeza

La firmeza es un indicativo de la calidad de los frutos frescos y procesados, está relacionada con la estructura de la pared celular y estado de madurez, su determinación es fundamental para la aceptabilidad y almacenamiento de frutas y hortalizas; esta depende de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células que conforman la pared celular, además de la presencia de tejidos de sostén o soporte en la composición del fruto. Los componentes de las paredes celulares que contribuyen a la firmeza son la hemicelulosa, la celulosa y la pectina (Domene Ruiz & Seguro Rodríguez, 2014).

Un aspecto muy importante que se debe tomar en cuenta es que dicho parámetro va disminuyendo con el tiempo y no todos los frutos evolucionan con igual velocidad.

2.1.5. Sólidos solubles totales (°Brix)

Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua, presentes en los jugos de las células de un fruto. Frecuentemente se consideran los grados Brix como equivalentes de los SST porque el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de los frutos son azúcares y es expresado en porcentaje de sacarosa (Avello & Suwalsky, 2006).

2.1.6. Composición química

El principal componente del pimiento es el agua, seguida de los carbohidratos, lo que hace que sea una hortaliza con bajo aporte calórico. Es buena fuente de fibra, al igual que el resto de las verduras, tiene un contenido proteico bajo y apenas aporta grasas. En la tabla 2 se muestra la composición química por cada 100 g de pimiento.

Tabla 2. *Composición química del pimiento morrón.*

| Composición de los pimientos por 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 |

Referencia: <http://www.botanical-online.com/pimimientos.htm>

2.2. Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que, a bajas concentraciones, actúa previniendo o retardando en gran medida la oxidación de materiales fácilmente oxidables como las grasas. Frente al estrés oxidativo de un organismo, éste responde mediante la defensa antioxidante, aunque en determinadas ocasiones puede ser insuficiente, desencadenando diferentes procesos fisiológicos y fisiopatológicos. Por ello, el

efecto protector de los antioxidantes en contra de estas reacciones oxidativas nocivas son de gran interés, sobre todo en términos de biología, medicina y nutrición (Magalhaes , et al., 2008), por lo que son esencialmente importantes para el organismo por la capacidad que tienen de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo.

El uso de antioxidantes sintéticos en la industria alimentaria es examinado constantemente por razones toxicológicas por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (Magalhaes , et al., 2008). Por tanto, el interés en las fuentes de antioxidantes naturales ha aumentado constantemente, por su gran aporte benéfico al sector de la tecnología alimentaria, ya que desempeñan un papel importante en la prevención de diversas enfermedades y su protección contra el deterioro químico (Roussis, et al., 2007).

2.2.1. Vitamina C

La vitamina C o ácido ascórbico es una conocida vitamina hidrosoluble a la que se han atribuido múltiples efectos y aplicaciones, tanto a través de su uso tópico como sistémico (Valdés, 2006).

2.2.2. Propiedades físico-químicas

La vitamina C se caracteriza por ser una sustancia de color blanca, estable en su forma seca, pero en solución se oxida con facilidad, especialmente a elevadas temperaturas (Nelson , et al., 2006).

Es una vitamina hidrosoluble (Figura 1) derivada del metabolismo de la glucosa que actúa como agente reductor y es necesaria para la síntesis de las fibras de colágeno a través del proceso de hidroxilación de la prolina y de la lisina; es fundamental en forma de ácido L-ascórbico, esencial para evitar el escorbuto.

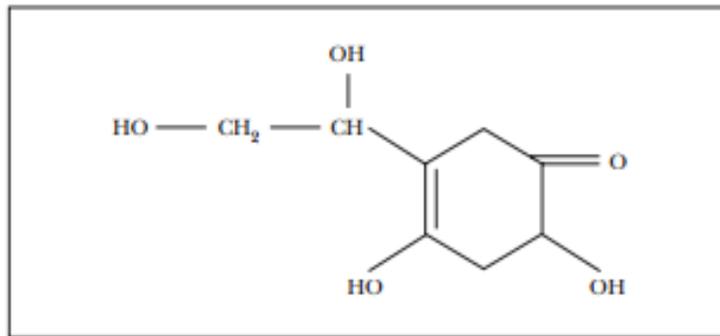


Figura 1. Estructura química de la vitamina C.

2.2.3. Contenido de vitamina C en pimiento morrón

Esta vitamina es reconocida como uno de los agentes antioxidantes más potentes que existen en los productos vegetales, como en el caso del pimiento morrón cuyo contenido en ácido ascórbico suele ser muy alto siendo uno de los factores de calidad nutricional más importantes en *C. annuum* y especies relacionadas (Rodríguez-Burruezo , et al., 2006).

El contenido en ácido ascórbico aumenta con la maduración del fruto, encontrándose en grandes cantidades en plena madurez (Bosland & Votava, 2000).

2.2.4. Beneficios que aporta a la salud

La vitamina C es importante en la formación y conservación del colágeno, la proteína que sostiene muchas estructuras corporales y que representa un papel muy importante en la formación de huesos y dientes. Interviene en el metabolismo de las proteínas y actúa como antioxidante y cicatrizante (Pardo Arquero, 2004). Protege al organismo del daño causado por los radicales libres (Valdés, 2006) y favorece la absorción de hierro procedente de los alimentos de origen vegetal.

Así mismo parece prevenir la formación de nitrosaminas, compuestos que producen tumores o cáncer en seres humanos (Pardo Arquero, 2004).

2.2.5. Carotenoides

Los carotenoides son compuestos naturales presentes en diversas estructuras de algas, bacterias, hongos, animales, hortalizas y frutos (Meléndez-Martínez & Heredia , 2007); siendo pigmentos responsables de su coloración.

2.2.6. Propiedades químicas

Los carotenoides son tetraterpenos constituidos por cuarenta átomos de carbono (Figura 2) derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geranil-geranil-pirofosfato (Chasquibol S., et al., 2006).

Su estructura en los enlaces dobles y simples determinan la función biológica que pueda tener, por ejemplo la absorción de excesiva de energía de otras moléculas o dar lugar a un efecto antioxidante (Swaminathan & Priya, 2008).

2.2.7. Clasificación

Existen dos tipos de carotenoides: los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales, ejemplo β caroteno, licopeno (figura 3) y las xantofilas que contienen oxígeno en sus anillos terminales (ejemplo luteína).

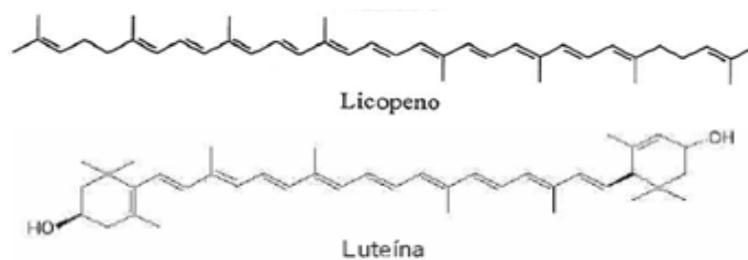


Figura 2. Estructura química de licopeno y luteína.

β -caroteno

Es un carotenoide con actividad de provitamina A ya que ayuda a la prevención en enfermedades coronarias y cáncer (Paramo & Orbe , 2001). Su estructura se presenta en la figura 4.

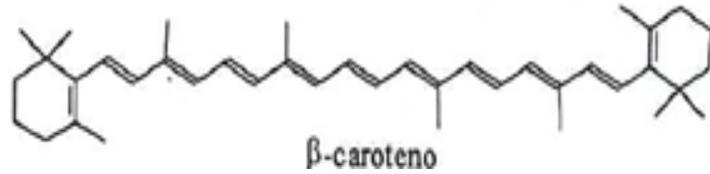


Figura 3. Estructura química del β -caroteno.

Licopeno

La principal función del licopeno y otros compuestos relacionados con los carotenoides en los vegetales es la de absorber la luz durante la fotosíntesis, protegiendo a la planta contra la fotosensibilización (Waliszewski & Blasco , 2010).

Luteína

A diferencia de los carotenos, las xantofilas no poseen actividad pro vitamina A. Se halla en verduras de hoja verde, brócoli, maíz, guisantes y pimientos.

En un estudio reciente se demostró que la suplementación oral y tópica con carotenoides (luteína y zeaxantina) durante 12 semanas mejoraba la hidratación de la piel, así como la actividad foto-protectiva y la peroxidación lipídica de la piel (Palombo & Fabrizi , 2007).

2.2.8. Carotenoides en pimiento morrón y beneficios que aporta a la salud

Se ha reconocido que los frutos maduros de *C. annuum* son ricos en carotenoides, a los que se atribuye actividad antioxidante y anticancerígena, destacando cuantitativamente la capsantina y la capsorubina, entre los de tipo rojo, y zeaxantina, β -caroteno y β -criptoxantina, entre los de tipo amarillo, siendo estos dos últimos la principal fuente de vitamina A (Wall , et al., 2001), su contenido es empleado como parámetro indicador de la calidad nutricional en las frutas y verduras que lo contienen (Nicolle, et al., 2004).

Los factores que influyen en la presencia de carotenoides son el manejo pre cosecha, estado de madurez, así como las operaciones de procesado y conservación. Entre éstos la temperatura e intensidad de la luz tienen una gran

influencia en el contenido de los carotenoides (Gracia Bacallao & García Gómez , 2001).

El consumo de alimentos ricos en carotenoides se ha asociado a una disminución en el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer (Giovannucci , et al., 1995) y otras enfermedades degenerativas y crónicas. Además de proporcionar un efecto favorable para el sistema inmunológico y proteger la piel contra radiación ultravioleta.

2.3. Secado

El secado es un método de conservación que ha sido usado desde hace miles de años. (Chávez & Valdivia, 2009)

En el secado de frutas y hortalizas, se aplica calor para evaporar el agua y removerla después de su separación de los tejidos del fruto (Nonhebel & Moss, 1979). Esta separación generalmente se consigue evaporando el líquido en una corriente gaseosa por lo que en una operación de secado deben considerarse mecanismos tanto de transmisión de calor como de transferencia de masa.

2.3.1. Secado por aire forzado

El secado por aire forzado es el procedimiento más común para secar productos alimenticios, (Doymaz, 2007). Este método, remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos (Schiffmann, 1995).

El incremento en la velocidad del aire y la turbulencia generada alrededor del alimento provoca una reducción de la tensión en la capa de difusión, causando una deshidratación eficiente (Cárcel, et al., 2007).

En general, en este método de secado es común el uso de altas temperaturas, lo cual representa su principal desventaja (Sharma & Prasad, 2001), puesto que causa cambios drásticos en el sabor, color, contenido de nutrientes, componentes aromáticos, densidad, capacidad de absorción de agua y concentración de solutos (Maskan, 2001).

El flujo del aire caliente puede ser a contracorriente o en paralelo. Generalmente el secado con aire caliente a contracorriente es más eficiente que la que se logra con el flujo de aire en paralelo. (Unadi, et al., 2002).

El equipo empleado para la presente investigación genera una corriente de aire caliente en flujo paralelo en donde la dirección del flujo del gas es paralela a la superficie de la fase sólida, el lecho de sólidos se encuentra generalmente en condición estática (Hernandez, 2010).

2.3.2. Cinética de secado

El comportamiento de los sólidos en el secado es medido como la pérdida de humedad en función del tiempo, pudiendo establecerse 4 etapas que se describen a continuación.

Etapa A-B: Período de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido, normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad.

Etapa B-C: Período de velocidad constante, se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En esta período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico.

Etapa C-D: Primer período de velocidad decreciente.

Etapa D-E: Segundo período de velocidad decreciente. En ambas regiones la humedad del alimento disminuye menos rápido como se muestra en la figura 5 (Nonhebel G., 1979):

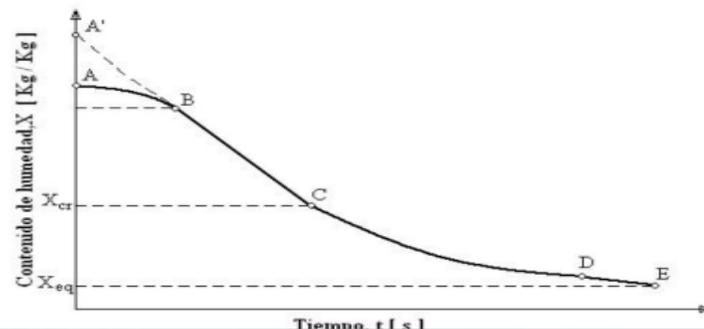


Figura 4. Gráfica de secado, datos de humedad libre en función del tiempo.

El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso, que permita obtener un producto de buena calidad (Pedraza , 2014), además de conocer el comportamiento del sólido durante el secado.

2.3.3. Proceso de secado en alimentos

La gran variedad de alimentos secos que hoy en día están disponibles en el mercado como botanas, sopas, frutas y verduras deshidratadas, han despertado el interés sobre las especificaciones de calidad y conservación de energía, enfatizando la necesidad de entendimiento de los procesos de secado y su influencia en el contenido nutricional.

Crapiste, (1991) menciona que las frutas y vegetales, durante el secado pueden lograr una reducción en volumen entre 75% y 85%, dependiendo de la porosidad del alimento; así mismo Noshad, Mohebbi, Shahidi, & Mortazavi, (2012) indican también que estos alimentos pueden sufrir diferentes reacciones como el deterioro de sus propiedades organolépticas o microestructurales, así mismo la degradación que conlleva a una pérdida de color y nutrientes.

King & de Pablo, (1987) señalan que uno de los nutrientes más débiles presentes en vegetales son las vitaminas ya que son dañadas en mayor o menor grado por una variedad de factores como la temperatura, luz, oxígeno, agentes reductores, agentes oxidantes, iones metálicos, entre otros.

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), ya que estas vitaminas juegan un papel muy importante al ser consumidas, tal es el caso de la vitamina C y provitamina A, capaces de prevenir enfermedades degenerativas por su poder antioxidante.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio experimental

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de: Bioprocesos y Bromatología del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila.

3.2. Material biológico

El pimiento morrón amarillo (*Capsicum annum L*) fue adquirido en la central de abastos de Saltillo, Coahuila.

3.3. Equipos y reactivos

En las tablas 3, 4 y 5, se muestran los equipos, materiales y reactivos empleados para la ejecución del presente proyecto de tesis.

Tabla 3. Equipos empleados

| Equipo | Modelo | Marca |
|---|---------------|-----------------------------|
| Balanza analítica | Adventurer | Ohaus |
| Colorímetro | CR400 | Konica Minolta |
| Penetro metro (equipo para determinar la firmeza de la fruta) | Modelo FHT200 | EXTECH Instruments |
| Refractómetro | Pocket Pal-1 | ATAGO |
| Horno por aire forzado | DKN602C | Yamato |
| Espectrofotómetro | Genesys 10UV | Thermo electron corporation |

Tabla 4. Materiales empleados

| Materiales |
|----------------------------------|
| Celdillas para espectrofotómetro |
| Vasos de precipitado |
| Matraz de aforación |
| Probeta |
| Pipeta |
| Buretas |
| Embudo de separación |
| Embudo de vidrio |
| Mortero |
| Pizeta |
| Agitador de vidrio |
| Espátula de acero inoxidable |
| Gasa |
| Aluminio |
| Regla de aluminio |

Tabla 5. Reactivos empleados

| Reactivos |
|--|
| Ácido Clorhídrico (HCl) 2% |
| Reactivo de Thielmann (2,6-Dicloroindofenol) |
| Hidróxido de sodio (NaOH) 40% |
| Sulfato de Sodio (Na ₂ SO ₄) 10 % |
| Agua destilada (H ₂ O) |
| Fenolftaleína 1% |
| Acetona |
| Hexano |

3.4. Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto de tesis se llevó a cabo una determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón fresco, así como del contenido de vitamina C y carotenoides. Posteriormente se llevó a cabo un proceso de secado y determinación de sustancias antioxidantes.

Una vez terminada la metodología experimental se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

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

3.4.1.1. Peso

Se determinó el peso a cada uno de los pimientos en una balanza analítica expresando los resultados en gramos (g) como se muestra en la figura 6.

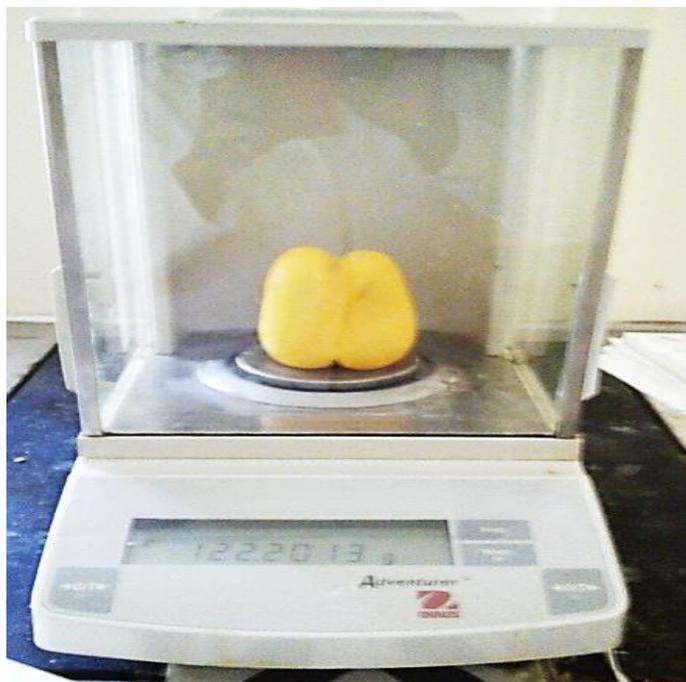


Figura 5. Determinación de peso del pimiento morrón amarillo.

3.4.1.2. Tamaño

El tamaño se midió con una regla de treinta centímetros, tomando el diámetro ecuatorial y el diámetro polar de los pimientos, expresando los resultados en (cm).

3.4.1.3. Firmeza

En la determinación de firmeza se tomó el material vegetativo firmemente a fin de introducir el penetrómetro en cuatro caras del fruto con una puntilla de 3 mm de diámetro en un solo impulso (Figura 7) para finalmente tomar los resultados que fueron expresados en Newton.



Figura 6. Determinación de firmeza del pimiento morrón.

3.4.1.4. Color

La determinación del color consistió en tomar los pimientos frescos y colocarlos frente al haz de luz del equipo para tomar las coordenadas de cromaticidad a^* y b^* , así como la luminosidad (L^*) con un colorímetro triestímulo.

3.4.1.5. Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Los sólidos solubles totales se midieron con un refractómetro digital colocando una gota de jugo del pimiento en la superficie del prisma previamente calibrado, posteriormente se presionó el botón de inicio para obtener los resultados que fueron expresados como % Brix.

3.4.2. Determinación de sustancias antioxidantes

3.4.2.1. Ácido Ascórbico (Vitamina C)

La determinación de vitamina C fue llevada a cabo por el método de titulación; primero se pesaron 10 g de muestra a los que se añadieron 10 ml de HCl 2% para macerar, posteriormente se agregaron 100 ml de H₂O destilada agitando constantemente a fin de obtener una mezcla homogénea, se filtró con gasa

recibiendo el líquido en probeta de 250 ml donde se midió el volumen recuperado, de esta disolución se tomó una alícuota de 10 ml que se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 ml con la finalidad de titular con el reactivo Thielmann que fueron incorporados en una bureta, cuando la muestra cambió de color por 30 segundos se consideró finalizar la valoración como se muestra en la figura 8.



Figura 7. Determinación de Ácido ascórbico (Vitamina C) en pimiento morrón.

Se registraron los mililitros gastados de reactivo y se llevó a cabo la determinación del contenido de vitamina C expresando los resultados en mg/100g, mediante la siguiente fórmula:

$$mg \text{ de vitamina C} * 100 \text{ g de muestra} = \frac{VRT * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

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

3.4.2.2. Carotenoides (Provitamina A)

La determinación de la provitamina A se llevó a cabo por el método de espectrofotometría, donde se pesaron 10 gramos de materia vegetativa que se colocó en matraz Erlenmeyer de 250 ml para agregar acetona hasta cubrir la muestra, posteriormente cada matraz fue envuelto con papel aluminio a fin de proteger el contenido de la luz y se dejó reposar por 24 horas.

Trascurrido el tiempo se colocó cada muestra en mortero para triturar y transferir el líquido por medio de gasa a un embudo de separación, en donde se lavó con 20 ml de acetona 4 veces, recibiendo el desecho en matraz Erlenmeyer; nuevamente al concentrado se le agregaron 20 ml de hexano y 100ml de H₂O destilada mezclando suavemente para separar capas, desechando la parte inferior; se repitieron los tres pasos anteriores 2 veces más.

Al finalizar se añadieron al extracto con carotenoides 50 ml de H₂O destilada mezclando suavemente a fin de desechar la parte inferior para repetir dos veces más dicho paso, al líquido resultante se le adicionaron 2 ml de NaOH al 40% para homogenizar, colocando 2 gotas de fenolftaleína que dio como resultado que el contenido se tornara de color rosa; la muestra se lavó con porciones de 50 ml de H₂O destilada hasta eliminar por completo el color, culminando este paso se agregaron a la disolución 20 ml de sulfato de sodio al 10% mezclando suavemente para desechar la parte inferior y repetir dos veces más.

Al término, el contenido se filtró a través de gasa con sulfato de sodio anhidro recuperando el líquido en probeta para medir volumen (figura 9) y colocar una porción en celdilla con el propósito de medir absorbancia a 454 nanómetros, utilizando como blanco hexano.



Figura 8. Determinación de carotenoides (provitamina A) en pimiento morrón.

Los resultados se expresaron en mg de carotenoides /100 g de muestra.

Para la determinación del contenido de carotenoides se utilizó la siguiente formula:

$$mg \text{ de carotenoides} * 100 \text{ g de muestra} = \frac{ABS * 3.857 * VT * 100}{P}$$

En donde: ABS, absorbancia medida a 454 nanómetros; VT, volumen total en ml de filtrado de carotenoides; P, peso de la muestra en gramos.

3.4.3. Proceso de secado

Para llevar a cabo esta parte experimental del proyecto se sometió a los pimientos a un proceso de limpieza, en donde se les retiró el pedúnculo y las semillas para ser cortados en cubos de 0.5 cm de ancho y largo empleando una tabla de plástico rígido con un cuchillo de acero inoxidable previamente lavado. Posteriormente se pesó la cantidad inicial de muestra y charola para ser introducido al horno (aire forzado) que fue encendido 10 minutos antes para su calentamiento a 60 °C.

Al iniciar el proceso de secado y cada hora se registró el peso de la muestra hasta alcanzar un peso constante, una vez logrado se detuvo el proceso (figura 10) expresando los resultados mediante una curva de secado y velocidad de secado.



Figura 9. Pimiento morrón amarillo seco mediante horno de aire forzado.

3.4.3.1. Curvas de secado

Para generar la curva de secado se graficó la humedad del alimento (Kg vapor de agua/Kg sólido seco) vs el tiempo de secado (horas); donde la humedad fue obtenida al pesar la muestra cada hora durante el proceso de secado y el tiempo fue el que tardó la muestra en llegar a su peso constante.

En la gráfica obtenida se identificó el tiempo crítico, el cual fue el tiempo promedio que tardó el alimento en perder la mayor cantidad de agua libre.

3.4.4. Análisis de estadístico

Para determinar cada variable, se evaluaron cinco repeticiones por tratamiento y la unidad experimental consistió en cinco frutos de la misma variedad de pimiento.

Para interpretar los resultados, se realizó el análisis de varianza bajo un diseño experimental completamente al azar, utilizando el programa estadístico SAS (Statistics Análisis System), y una comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel de significancia $P \leq 0.05$.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de parámetros de calidad del pimiento morrón

A continuación se reportan los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente proyecto de investigación en cuanto a los parámetros que determinan la calidad del producto, tales como: peso, tamaño, firmeza y color.

4.1.1. Peso, tamaño y firmeza

En la tabla 6 se presentan las características físicas de peso, diámetros y firmeza, donde el peso fresco está relacionado con el tamaño (diámetros) del fruto, siendo esta una característica de la variedad que determina el rendimiento; de acuerdo a los datos obtenidos se puede observar que a medida que aumenta el peso, los diámetros (ecuatorial y polar) y firmeza son menores, este comportamiento está relacionado con el tipo de cultivo, cosecha, tiempo de almacenamiento y variedad (Cruz Huerta, et al., 2009).

Tabla 6. Valores promedio de peso diámetro y firmeza del pimiento morrón amarillo en fresco

| Propiedad | Promedio |
|---------------------------------|----------|
| Peso (g) | 133.128 |
| Diámetro ecuatorial (cm) | 6.8 |
| Diámetro polar (cm) | 8.16 |
| Firmeza (N) | 1.453 |

Investigaciones realizadas en México indican que el peso para pimientos morrón cambia dependiendo de la variedad, tipo de cultivo y lugar de producción (Villamil García, 2015).

En la tabla 6 se reporta un peso de 133.128 gramos, dato que fue comparado con lo establecido por Moreno Pérez, et al., (2011) y Villamil García (2015), al estudiar pimientos de invernadero y obtener 178.7 y 121.63 gramos respectivamente, lo que ha demostrado que el peso del material vegetal evaluado en el presente trabajo se encuentra dentro del rango reportado por los investigadores antes

mencionados, así mismo Villamil García (2015) menciona que los pesos menores de 100 g corresponden por lo general a frutos picantes y los pesos mayores a frutos dulces.

Con respecto al tamaño, los valores obtenidos son de 6.8 cm y 8.16 cm para diámetro ecuatorial y polar, respectivamente; los resultados previos están dentro del rango publicado con 6-9 cm y 7-10 cm para pimientos dulces por INIFAP-SAGARPA, (2013)

Los resultados de firmeza para pimiento morrón amarillo en este trabajo (1.453 N) están dentro del rango publicado por Penchaiya, et al., (2009) (1.42-3.87 N); Figueroa Cares, et al., (2015) menciona que esta característica depende principalmente del estado de madurez en que se cosecha el fruto, ya que a medida que esta se retrasa más allá del momento en que el fruto alcanza el color final característico de la variedad, la consistencia del fruto disminuye.

4.1.2. Color

En la tabla 7 se ven reflejadas las coordenadas CIE-L*a*b* al evaluar pimiento morrón amarillo.

Tabla 7. Resultados promedio de color (5 repeticiones) (L^* , a^* , b^*) del pimiento morrón amarillo en fresco

| | Promedio |
|-------|----------|
| L^* | 54.142 |
| a^* | 2.54 |
| b^* | 44.204 |

Para el parámetro L^* (luminosidad), el resultado fue de 54.142, dato que superó a lo reportado por López, et al., (2013) al obtener $L^*=39$ por lo que se establece que el material estudiado presentó mayor brillo o luminosidad probablemente debido a su estado de maduración, ya que los cambios de color están directamente relacionados con la temperatura e iluminación a la que está expuesto el vegetal (Sabater, 1977).

En cuanto a los parámetros cromáticos a^* y b^* , los resultados promedio son de 2.54 y 44.204 respectivamente, datos que fueron superiores con respecto a lo reportado por López, et al.,(2013) al obtener -13.1 y 16.3 respectivamente. Relacionando ambos resultados en el diagrama de cromaticidad (figura 11) se observa que el vegetal evaluado en el presente proyecto se encuentra en el rango amarillo mientras que la muestra contraria se ubica en el rango verde; lo que manifiesta que el color de cada variedad de *Capsicum* en la etapa de maduración depende de su capacidad para sintetizar carotenoides e incluso para retención de pigmentos de clorofila (Collera-Zúñiga, et al., 2005)

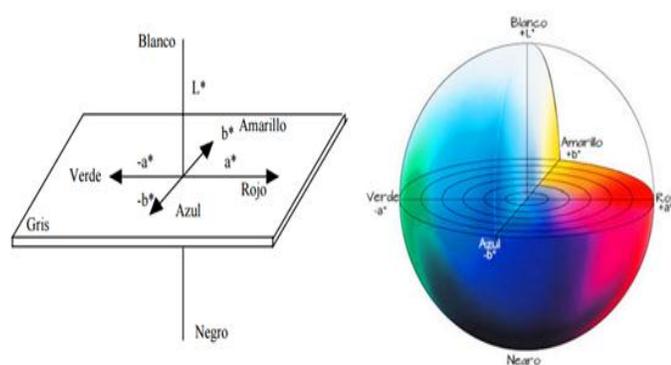


Figura 10: Espacio de color CIELAB

4.1.3. Sólidos Solubles Totales

En la tabla 8 se muestra que el resultado promedio para sólidos solubles totales es de 8.32 % Brix, dato que se ha encontrado dentro del rango publicado por (Penchaiya, et al., 2009) con valores comprendidos entre 3.6 - 8.9 %, para considerar como producto de calidad.

Tabla 8. Contenido promedio de sólidos solubles totales en muestras de pimiento morrón fresco.

| Propiedad | promedio |
|------------------------------|----------|
| Sólidos solubles totales (%) | 8.32 |

Por otra parte de acuerdo a la norma del CODEX STAN 57-1981 el contenido de sólidos solubles totales de los tomates, pimientos y cebolla, debe ser igual o

mayor al 7 %, por lo tanto la concentración de sólidos solubles totales en la muestra de pimiento amarillo evaluada (8.32%) cumple con la norma establecida.

4.2. Determinación de antioxidantes

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de vitamina C y carotenoides en pimiento fresco y deshidratado se presentan a continuación:

4.2.1. Vitamina C

Mediante el análisis de varianza (anexo 6) se puede determinar que el tratamiento térmico (60°C en horno por aire forzado) si afecta a la muestra en el contenido de vitamina C, ya que existe una diferencia estadística altamente significativa entre el material vegetativo fresco y el procesado (tabla 9).

Tabla 9. Contenido de vitamina C en muestras de pimiento morrón fresco y sometido a tratamiento térmico.

| Material vegetativo | Vitamina C(mg/100g) |
|---------------------|---------------------|
| Seco | 550.10 a |
| Fresco | 109.72 b |

En la figura 12 se aprecia que el análisis de vitamina C en pimiento morrón amarillo determina una concentración 80 % mayor en el material seco con respecto a la materia fresca.

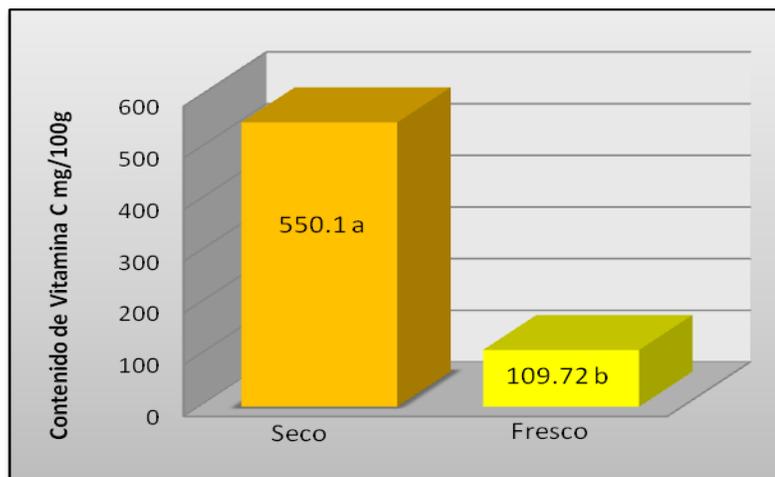


Figura 11. Contenido de vitamina C (mg /100g) en pimiento fresco y sometido a tratamiento térmico.

El resultado anterior de pimiento seco (60°C x 5 horas) fue comparado con lo reportado por Daood, et al., (2014) al secar pimiento amarillo y obtener 830 mg/ 100 g de peso seco, al utilizar 50°C por 6 horas en horno por aire caliente, lo que refleja una diferencia de 279.9 mg/ 100 g entre sus pimientos y los evaluados en el presente proyecto; lo anterior concuerda con lo establecido por Ceballos-Ortiz & Jiménez-Munguía, (2012) al mencionar que el ácido ascórbico es susceptible a diferentes factores en el proceso de secado por aire caliente ya que las pérdidas de esta vitamina se deben principalmente a las altas temperaturas utilizadas y tiempos empleados. Por lo que la diferencia entre ambas concentraciones descritas en el presente proyecto puede deberse a la diferencia de temperatura (10 ° C) y tiempo empleado.

La reducción de agua en frutas y verduras deshidratadas induce a una concentración de sus componentes bio-activos tal es el caso del estudio publicado por Pedraza (2014), quien obtuvo 550.2 mg/100g de pimiento seco rojo, que al compararlo con lo reportado en la presente investigación (550.1 mg/ 100 g peso seco amarillo), se observó que existe una similitud, datos que coinciden con Siller-Cepeda , et al., (2005) al explicar que la vitamina C es mayor en pimiento morron amarillo y rojo en comparacion con el verde.

En otro estudio no menos importante ha sido publicado por Suresh, et al., (2006) al hervir pimiento amarillo reportó 229 mg/ 100 g de peso seco, dato que ha sido menor con una diferencia del 42 %, lo que indica que el secado por aire forzado concentra una cantidad mayor de vitamina C por la pérdida de agua, mientras que en el hervido hay una absorción de agua manteniendo la muestra con menor concentración de la vitamina.

Por otra parte diversos estudios han demostrado que la cantidad de vitamina C en pimientos amarillos frescos oscila entre 107.15 y 166.3 mg/ 100 g de peso fresco aproximadamente, según Ignat, et al., (2012) y Castro M, et al., (2010), por lo tanto se determina que la muestra estudiada en esta investigación (109.72 mg/100 g de peso fresco) es buena fuente de vitamina C en estado fresco ya que

su concentración se encuentra en el rango establecido por los autores anteriormente mencionados; de esta manera se puede deducir que la concentración de ácido ascórbico presente en pimientos amarillos puede variar dependiendo del tipo de cultivo, condiciones climáticas, entre otras (Hernández-Fuentes, et al., 2010).

4.2.2. Carotenoides

En el análisis de carotenoides en pimiento morrón fresco y después del tratamiento térmico, en su cuantificación por espectrofotometría mostró diferencia estadística altamente significativa (anexo 7) entre ambos productos. La mayor concentración de carotenoides fue encontrado en el pimiento deshidratado por aire forzado (tabla 10).

Tabla 10. *Contenido de carotenoides en muestras de pimiento morrón fresco y sometido a tratamiento térmico.*

| Material vegetativo | Carotenoides (mg/100g) |
|---------------------|------------------------|
| Seco | 7080.7 a |
| Fresco | 2521.4 b |

Tal como se presenta en la figura 13 el pimiento seco tuvo una concentración de 64 % más de provitamina A con respecto al pimiento fresco, esto se debe a la pérdida de agua libre encontrada en la muestra dando como resultado un producto con potencial benéfico para el consumidor.

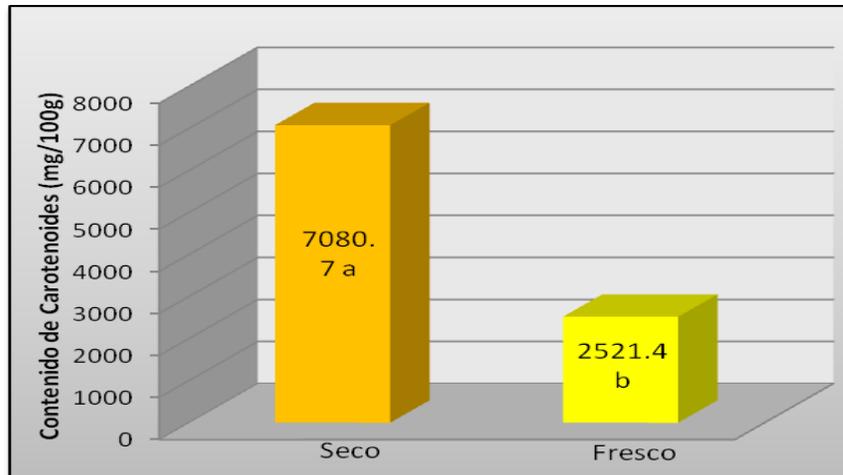


Figura 12. Contenido de Carotenoides (mg /100g) en pimiento fresco y sometido a tratamiento térmico.

Diferentes estudios han probado que la concentración de provitamina A depende de la variedad y el tratamiento térmico que se aplique a la muestra evaluada, tal es el caso de lo reportado por Rosa Loizzo, et al., (2013) y Pugliese, et al., (2013) que han demostrado que el freído y hervido son procesos térmicos caracterizados por tener mayor pérdida de nutrientes en comparación a otros tratamientos térmicos (Bognar, 1998), como el secado por aire forzado que una vez más ha demostrado su efectividad al obtener en este proyecto un producto con un 98% más en carotenoides con respecto a lo reportado por los autores antes mencionados.

Lo resultados anteriores establecen una concentración de carotenoides favorable en pimiento morrón amarillo, lo que coincide con lo mencionado por Pedraza , (2014) al reportar que los carotenoides son relativamente estables cuando el secado transcurre a temperaturas bajas (40-60°C), pero muy sensibles a tpreaturas altas (70-90°C).

Otro estudio publicado por García, et al.,(2007) reporta una concentración de 3358 mg / 100 g de muestra fresca, que al comparalo con lo encontrado en pimiento fresco en este proyecto (2521.4 mg / 100 g), se observa una diferencia, que puede depender del estado de maduración, asi como tipo de cultivo, variedad, y condiciones climaticas (Guzmán, et al., 2000).

4.2.3. Secado

Una vez realizado el proceso de secado se graficó el contenido de humedad (Kg agua/Kg sólido seco) contra el tiempo en horas, esto con el fin de establecer la cinética de secado.

En la figura 13 se muestra un tiempo crítico promedio de 5 horas para eliminar el 84 % del agua presente en el pimiento morrón a una temperatura de 60 °C por aire forzado (anexo 3).



Figura 13. Curva de secado del pimiento morrón amarillo

Analizando la curva de secado en la figura 13, se observa que la pérdida de agua es más rápida al inicio del proceso, como lo describe la literatura mencionada en el apartado 2.3.2.

El resultado del presente proyecto con respecto al tiempo crítico de secado (5 horas a 60 °C) fue comparado con lo reportado por Vega, et al., (2005) quien al secar pimiento rojo obtuvo un tiempo crítico de 8 horas a 60 °C, otro estudio no menos importante ha sido publicado por Pedraza , (2014) al evaluar pimiento amarillo bajo las mismas condiciones térmicas (secado por aire forzado) obtuvo un tiempo de 2 horas con 30 minutos a 60 °C, lo que demuestra que las condiciones ambientales a la que se expone el producto, así como la geometría (tamaño de partícula) y variedad, influye en el tiempo para secar el producto (Montes Montes, et al., 2008)

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la etapa experimental, permiten establecer la siguiente conclusión:

El tratamiento térmico para secado por aire forzado a 60 °C afecta positivamente la capacidad antioxidante del pimiento morrón amarillo, logrando obtener un producto con mayor concentración de vitamina C y provitamina A con respecto al producto fresco y se determina que el tiempo crítico de secado bajo estas condiciones es de 5 horas.

CAPÍTULO VI

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avello , M. & Suwalsky, M., 2006. Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Scielo*, 2(494), pp. 161-172.

Bognar, 1998. Estudio comparativo de freír a otra influencia de técnicas de la cocina en el nutritive valor. *Grasas y Aceites* , 49(.), p. 250–260.

Bosland , P. & Votava, E. J., 2000. Peppers: vegetable and spice capsicums.. *CABI, Nueva Cork*.

Bosland, P., 1996. Capsiums: Inovative uses of an ancient crop. En J. . En: V. Arlington & A. Press, edits. *Progress in new crops* . s.l.:Janick, pp. 479-487.

Camelo López, A. F., 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, Issue ISSN 1020-4334, p. 151.

Cárcel, J., García-Pérez, J., Riera, E. & Mule, 2007. .Influence of high intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon.. *Drying Technology.*, Volumen 25, pp. 185-193.

Castellanos , . J. Z. & Borbón, . C. M., 2009. Panorama de la Horticultura protegida en México. En: J. Z. CASTELLANOS, ed. *Manual de Producción de Tomate en Invernadero.*. Guanajuato, México.: Intagri, p. 1–18.

Ceballos-Ortiz, E. & Jiménez-Munguía, M., 2012. Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(1), pp. 98-110.

Chasquibol S., N., López G, J. L., Cárdenas O, R. & Rodríguez V, M., 2006. Estudio y cuantificación de carotenoides por métodos espectroscopicos del fruto

de níspero de la sierra y su valoración como alimento funcional. *Rev. Per. Quim. Ing. Quím.*, 9(1), pp. 3-9.

Chávez , G. & Valdivia, R., 2009. *El secado de los alimentos*. Chile.

Ciancaglini, P. a., 2001. Usando un método clásico de cuantificación para la determinación de Vitamina C. *Biochem. Mol. Biol. Edu. Capítulo 29*, pp. 110 - 114.

Collera-Zúñiga, O., García Jiménez, F. & Meléndez Gordillo, R., 2005. Comparative study of carotenoid composition in three. *Food Chemistry*, 1(1), pp. 109-114.

Crapiste, 1991. Cruz Huerta , N., Sánchez del Castillo, F., Ortiz Cereceres, J. & Mendoza Castillo, M. d. C., 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agricultura técnica en México*, 35(1), pp. 73-80.

Daood, H. G. y otros, 2014. Carotenoid and antioxidant content of ground paprika from indoor-cultivated traditional varieties and new hybrids of spice red peppers. *Food Research International*, Volumen 65, pp. 231-237.

Domene Ruiz, M. Á. & Seguro Rodríguez, M., 2014. Parámetros de calidad externa en la industria Agroalimentaria. *Fichas de transferencia*, Issue 003, pp. 4-11.

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

Figueroa Cares, I. E. y otros, Octubre 2015. Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morron (*Capsicum annum* L.). *Interciencia*, 40(10), pp. 696-703.

García, M. y otros, 2007. Agronomic Features and carotenoid content of five Ball-type paprika red pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*.

Giovannucci , E. y otros, 1995. Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *J. Nats. Cancer Inst.*, Volumen 87, pp. 1767-1776.

Gracia Bacallao , L. & García Gómez , L., 2001. Plantas con propiedades antioxidantes. *Cubana Investí Biomed*, 20(3), pp. 5-231.

Guzmán, O. J. Limón & V. F., 2000. Producción de chile morrón (*Capsicum annum* L.) en la zona oriente del valle de México bajo invernadero-hidroponía. *Tesis de licenciatura. UACH. Chapingo, México.*, p. 94.

Hernández-Fuentes, A. D., Campos Montiel, . R. & Pinedo-Espinoza, J. M., 2010. Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) VAR. California por efecto de la fertilización química y aplicación de *Lombrihumus*.. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), p. 83.

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

Ignat, T. y otros, 2012. Medición no destructiva del contenido de ácido ascórbico en pimientos por VIS- NIR y Espectrometría SWIR. *Biología y Tecnología de Postcosecha*, Volumen 74, pp. 91-99.

INIFAP-SAGARPA, Mayo 2013. *Producción de pimiento morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas*. Villa cuauhtémoc, Tamaulipas.

James, A. & Prichard, M., 1975. *Practical Physical Chemistry*. Londres, Longmans.

King , J. & de Pablo, S., 1987. Estabilidad de las vitaminas extraído y adopto de: "Perdidas de vitaminas durante el procesamiento de los alimentos". *Rev. Chil. Nut.*, 15(3), pp. 143-152.

Learson, R., 1997. Naturally occurring antioxidants. CRC Press LLC.. p. Pag. 116..

López, A., Fenoll , J., Hellín , P. & Flores, P., 2013. Physical characteristics and mineral composition of two pepper cultivars under organic, conventional and soilless cultivation. *Scientia Horticulturae* , Volumen 150, pp. 259-266.

M. Castro, S., A. Saraiva, J., M.J. Domingues, F. & Delgadillo, I., 2010. Effect of mild pressure treatments and thermal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 44(2), pp. 363-369.

Magalhaes , L. y otros, 2008. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*, Volumen 613, pp. 1-19.

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

Meléndez-Martínez , A. V. I. & Heredia , F., 2007. Pigmentos carotenoides: Consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2).

Mohammad Rahimi-Madishe, Afsaneh Malekpour-Tehrani, Mahmoud Bahmani, & Mahmoud Rafieian- Kopaei, 2016. La investigación y el desarrollo de los antioxidantes en la prevención de las complicaciones diabéticas. 9(9), p. 825.

Montes Montes, E. J. y otros, 2008. Modelado de la cinética de secado de ñame (*dioscorea rotundata*) en capa delgada. *Revista ingeniería e investigación*, 28(2), pp. 45-52.

Moreno Pérez, E. d. C., Mora Aguilar, R., Sánchez del Castillo, F. & García-Pérez, V., 2011. Fenología y rendimiento de híbrido de pimiento moppón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVII(2), pp. 5-18.

Nelson , D., Cox , M. & Cuchillo , C., 2006. Estructura tridimensional de las proteínas. En: Lehninger, ed. *Principios de Bioquímica*. s.l.:Omega S.A, pp. 116-56.

Nicolle, C. y otros, 2004. Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in White, yellow, purple, orange, and dark-orange

carrot cultivars.. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Volumen 129, pp. 523-529.

Nonhebel, G. & Moss, A., 1979. El secado de sólidos en la industria química. En: *La importancia de un diseño correcto*. Barcelo Bogota Buenos Aires Caracas México Rio de Janeiro: Reverté S.A., p. 1.

Palombo , P. & Fabrizi , G., 2007. Beneficial Long-Term Effects of Combined Oral/Topical Antioxidant Treatment with the Carotenoids Lutein and Zeaxanthin on Human Skin. *A Double-Blind, Placebo-Controlled Study, Skin Pharmacol Physiol*, Volumen 20, pp. 199-210.

Paramo , J. & Orbe , M., 2001. Papel de los antioxidantes en la prevención de enfermedad cardiovascular. *Med Clin (Barc)*, Volumen 116, pp. 629-635.

Pardo Arquero, V. P., 2004. La importancia de las vitaminas en la nutrición de personas que realizan actividad físico deportiva. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 4(15), p. 241.

Pedraza , A. S., 2014. *Evaluacion de la capacidad antioxidante del pimiento morrón (Capsicum annum L) en fresco y sometido a dos tratamientos térmicos*. Saltillo Coahuila.

Penchaiya, y otros, 2009. Non-destructive measurement of firmness and soluble solids content in bell pepper using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering* , Issue 94, pp. 267-273.

Pickersgill, B., 1966. The variability and relationships of *Capsicum chinense* Jacq. PhD diss. *Indiana University, Bloomington*, pp. 21-31.

Pugliese, A. y otros, 2013. The effect of domestic processing on the content and bioaccessibility of carotenoids of ají peppers (*Capsicum* species). *Food Chemistry*, pp. 2606-20613.

Rodriguez- Amaya, D., 1989. Critical review of provitamin A determination in plant foods. *J Micronutr Anal*, Volumen 5, pp. 191-225.

Swaminathan , S. & Priya, K., 2008. Isolation and purification of carotenoids from Marigold flowers. pp. 1-5.

Unadi, A., Fuller, R. & Macmillan, R., 2002. Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator. *Drying Technology*, Volumen 7, pp. 1407-1425.

Valdés, F., 2006. Vitamina C. *Unidad de Dermatología. Hospital da Costa. Burela. Lugo. España*, p. 557.

Vega, A., Andrés, A. & Fito, P., 2005. Modelado de la cinetica de secado del pimiento rojo (*Capsicum annumm L. cv Lamuyo*). *Informacion Tecnologica*, 16(6), pp. 3-11.

Villamil García, J. N., 2015. *Evaluación de tres híbridos de chile pimiento morrón (Capsicum annumm L.) en cultivo hidropónico, en invernadero*. Torreón Coahuila.

Waliszewski , K. & Blasco , G., 2010. *Propiedades nutraceuticas del licopeno*. *Salud Publica*, Volumen 52, pp. 254-265.

Wall , M., Waddell , C. & Bosland , P., 2001. Variation in B-carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*.. *Hort Sciencie*, 36(4), pp. 746-749.

Willis R, H. H., Lee, T. H., McGlasson, W. B. & Hall, 1999. *Introducción a la fisiología y manipulación de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. . En: 2º, ed. Zaragoza, España: Acribia, p. 204.

CAPÍTULO VII

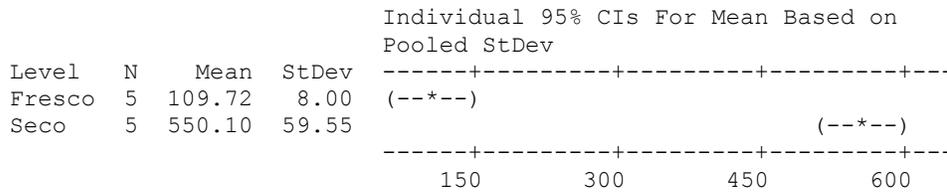
7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza y prueba de medidas para contenido de vitamina C en pimiento fresco y seco.

One-way ANOVA: Vitamina C versus Muestra pim

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|-------------|----|--------|--------|--------|-------|
| Muestra pim | 1 | 484836 | 484836 | 268.54 | 0.000 |
| Error | 8 | 14443 | 1805 | | |
| Total | 9 | 499280 | | | |

S = 42.49 R-Sq = 97.11% R-Sq(adj) = 96.75%



Pooled StDev = 42.49

Grouping Information Using Tukey Method

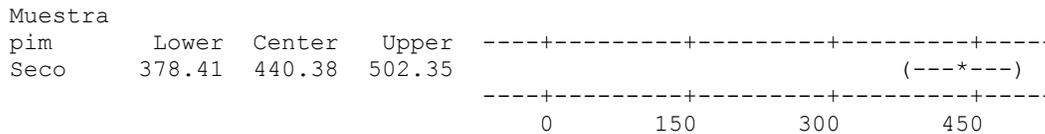
| Muestra pim | N | Mean | Grouping |
|-------------|---|--------|----------|
| Seco | 5 | 550.10 | A |
| Fresco | 5 | 109.72 | B |

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals All Pairwise Comparisons among Levels of Muestra pim

Individual confidence level = 95.00%

Muestra pim = Fresco subtracted from:

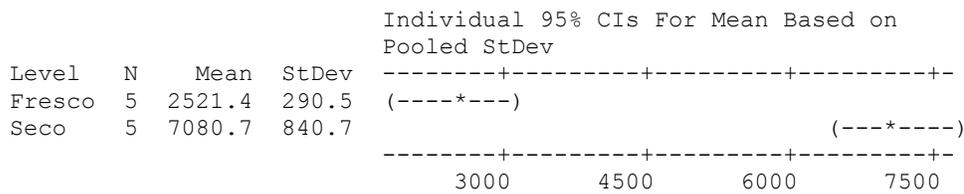


Anexo 2. Análisis de varianza y prueba de medidas para contenido de carotenoides en pimiento fresco y seco.

One-way ANOVA: Carotenoides versus Muestra pim

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|-------------|----|----------|----------|--------|-------|
| Muestra pim | 1 | 51968497 | 51968497 | 131.37 | 0.000 |
| Error | 8 | 3164752 | 395594 | | |
| Total | 9 | 55133249 | | | |

S = 629.0 R-Sq = 94.26% R-Sq(adj) = 93.54%



Pooled StDev = 629.0

Grouping Information Using Tukey Method

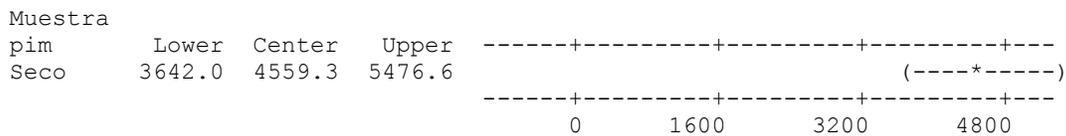
| Muestra pim | N | Mean | Grouping |
|-------------|---|--------|----------|
| Seco | 5 | 7080.7 | A |
| Fresco | 5 | 2521.4 | B |

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Muestra pim

Individual confidence level = 95.00%

Muestra pim = Fresco subtracted from:



Anexo 3: Curvas de secado por convección forzada para pimiento morrón amarillo.

| Repetición | Tiempo (horas) | Hbs (Kgva/Kgss) | Gráfica |
|------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | 0 | 1 | <p>Curva de secado</p> |
| | 1 | 0.778261152 | |
| | 2 | 0.604774745 | |
| | 3 | 0.385912974 | |
| | 4 | 0.176182799 | |
| | 5 | 0.10802941 | |
| | 6 | 0.060773058 | |
| | 7 | 0.057404885 | |
| | 8 | 0.05626054 | |
| | 9 | 0.055632772 | |
| 2 | 0 | 1 | <p>Curva de secado</p> |
| | 1 | 0.802837072 | |
| | 2 | 0.619692201 | |
| | 3 | 0.420106675 | |
| | 4 | 0.243678602 | |
| | 5 | 0.09303581 | |
| | 6 | 0.068622443 | |
| | 7 | 0.057847903 | |
| | 8 | 0.056136915 | |
| | 9 | 0.05529369 | |
| 3 | 0 | 1 | <p>Curva de secado</p> |
| | 1 | 0.811718039 | |
| | 2 | 0.586494072 | |
| | 3 | 0.357978989 | |
| | 4 | 0.191983864 | |
| | 5 | 0.080230362 | |
| | 6 | 0.043495354 | |
| | 7 | 0.037338353 | |
| | 8 | 0.035802713 | |
| | 9 | 0.034915347 | |
| 4 | 0 | 1 | <p>Curva de secado</p> |
| | 1 | 0.768438766 | |
| | 2 | 0.563523059 | |
| | 3 | 0.424019882 | |
| | 4 | 0.251605362 | |
| | 5 | 0.08321134 | |
| | 6 | 0.046608596 | |
| | 7 | 0.039326307 | |
| | 8 | 0.037891573 | |
| | 9 | 0.037014521 | |
| 5 | 0 | 1 | <p>Curva de secado</p> |
| | 1 | 0.75244836 | |
| | 2 | 0.571546421 | |
| | 3 | 0.347499718 | |
| | 4 | 0.169096524 | |
| | 5 | 0.073872661 | |
| | 6 | 0.044383034 | |
| | 7 | 0.039575128 | |
| | 8 | 0.03824292 | |
| | 9 | 0.037599019 | |