



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**EFFECTO DE MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN EN LA
CONSERVACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CALIDAD
MICROBIOLÓGICA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

TERESITA GONZÁLEZ SÁNCHEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2015



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR

Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **Teresita González Sánchez** alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección de la Profesora **Dra. Adriana Delgado Alvarado** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Efecto de Métodos de Deshidratación en la Conservación de Compuestos Bioactivos y Calidad Microbiológica de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla 25 de noviembre de 2015.

Teresita González Sánchez

Nombre y Firma

Dra. Adriana Delgado Alvarado

Vo. Bo. Profesora Consejera

Nombre y Firma

La presente tesis titulada: **Efecto de Métodos de Deshidratación en la Conservación de Compuestos Bioactivos y Calidad Microbiológica de Jitomate (*Solanum lycopersicum L.*)**, realizada por la alumna: **Teresita González Sánchez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRICOLA REGIONAL**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA: _____


DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

ASESOR: _____


DR. BRAULIO EDGAR HERRERA CABRERA

ASESOR: _____


DR. JOSÉ GUILLERMO PÉREZ LUNA

Puebla, Puebla, 25 Noviembre de 2015

EFFECTO DE METODOS DE DESHIDRATACION EN LA CONSERVACION DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Teresita González Sánchez. M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015

La ingesta del jitomate en la dieta diaria se asocia fuertemente con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, por lo que actualmente tiene importancia por su valor biológico y actividad antioxidante. La preservación y potenciación de esos compuestos permiten desarrollar diferentes formas de conservación como es la deshidratación, teniendo en cuenta mantener los atributos físico-químicos y los compuestos bioactivos del fruto. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el efecto de la deshidratación solar (DS), liofilización (LIOF) y tecnología de descompresión instantánea controlada (DIC) sobre el color, compuestos nutricionales, compuestos bioactivos, actividad antioxidante y características microbiológicas del jitomate deshidratado. Se utilizó jitomate tipo Saladette variedad Rafaello, cultivado en el municipio de Tetela de Ocampo, Puebla. Para el análisis microbiológico, los frutos se prepararon según la Norma Oficial Mexicana en relación a coliformes totales, bacterias mesófilas aerobias, hongos y levaduras. Para el análisis de compuestos nutricionales y bioactivos, los frutos lavados y desinfectados se sometieron a los tres procesos de deshidratación. En cada tratamiento se determinó color, azúcares solubles totales (AST), minerales, vitamina C, licopeno, compuestos fenólicos totales (CFT), actividad antioxidante y la calidad microbiológica. Los resultados mostraron que la DS conservó mejor el color, el licopeno y la vitamina C; el procesamiento DIC preservó mejor los AST, minerales (P, K, Ca y Fe), CFT, y la capacidad antioxidante (CI_{50}); la liofilización no mostró ventaja en conservar el color y los componentes bioactivos, pero sí el Fe. El análisis microbiológico de los frutos deshidratados tuvo valores dentro de los permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas para bacterias, hongos y levaduras. El análisis por componentes principales con base en la presión y seis variables analizadas explicó 97 % de la variación entre los tratamientos, con los tres primeros componentes principales se distinguen tres grupos: Grupo I (DIC, 4 bar), Grupo II (DIC, 1.4, 2.5 y 3.6) y Grupo III (DS, 1 bar y LIOF, 0.26 bar). Los frutos procesados por tecnología DIC, de acuerdo al modelo de regresión empírico determinó las condiciones de operación óptima para maximizar la respuesta de AST en 4.05 bar y 9.44 s, licopeno en 4 bar y 24.6 s, de los CFT en 4.05 bar y 40.55 s, de la actividad antioxidante en 2.78 bar y 40.55 s, y de la CI_{50} en 0.94 bar y 28.25 s. Se concluye que la deshidratación de jitomate puede realizarse sin perder considerablemente el color, los compuestos nutricionales y compuestos bioactivos, mediante una estrategia de deshidratado que combine algunos métodos, como la deshidratación solar, e inclusive como pre-tratamiento aunado al DIC, con los que se puede reducir la pérdida de propiedades organolépticas y de los compuestos bioactivos característicos del jitomate fresco.

Palabras clave: actividad antioxidante, deshidratación solar, DIC, jitomate, licopeno.

EFFECT OF DRYING METHODS ON THE CONSERVATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND MICROBIOLOGICAL QUALITY OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.)

Teresita González Sánchez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015

The intake of tomatoes in the diet is strongly associated with the reduced risk of chronic diseases, which currently has importance for their biological value and antioxidant activity. The preservation and enhancement of these compounds allow developing different forms of conservation such as drying, considering maintaining the physicochemical attributes and bioactive compounds of the fruit. This study aimed to analyze the effect of solar dehydration (SD), lyophilization (LIOF) and instant controlled pressure (DIC) technology on color, nutritional compounds, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological characteristics of dried tomato. Saladette tomato of Raffaello variety, grown in fertirrigation in the municipality of Tetela de Ocampo, Puebla was used. For microbiological analysis, the fruits were prepared in accordance to the Official Mexican Norms in relation to total coliforms, mesophilic aerobic bacteria, fungi and yeasts. For analysis of nutritional and bioactive compounds, the fruits washed and disinfected were subjected to the three drying processes. In each treatment the color, total soluble sugars (TSA), minerals, vitamin C, lycopene, total phenolic compounds (TFC), antioxidant activity and microbiological quality were determined. The results showed that the DS better preserved color, lycopene and vitamin C; DIC technology best preserved the TSAAs well as mineral (P, K, Ca and Fe), CFT, and antioxidant capacity (IC₅₀); lyophilization showed no advantage in preserving the color and bioactive components, but retained Fe. The microbiological analysis of dried fruits had values within allowed by Mexican Official Norms for bacteria, fungi and yeasts. The principal component analysis based on pressure and six variables explained 97% of the variation between treatments, with the first three principal components, three groups were distinguished: Group I (DIC, 4 bar), Group II (DIC, 1.4, 2.5 and 3.6 bar) and Group III (DS, 1 bar and LIOF, 0.26 bar). The fruits processed by DIC technology, according to the model of empirical regression determined the conditions of optimal operation to maximize the response of TSA in 4.05 bar and 9.44 s, lycopene 4 bar and 24.6 s, the CFT in 4.05 bar and 40.55 s, antioxidant activity in 2.78 bar and 40.55 s, and CI₅₀ 0.94 bar and 28.25 s. It is concluded that dehydration of tomato can be accomplished without color, nutritional compounds and bioactive compounds are greatly lost; through a strategy that combines some methods such as solar dehydration, and even as a pretreatment coupled with DIC, with which they can reduce the loss of organoleptic properties and characteristic of fresh tomato bioactive compounds.

Keywords: antioxidant activity, DIC technology, lycopene, solar dehydration, tomato.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haber financiado mis estudios de maestría en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla.

Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla, por la formación académica a través del Posgrado de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Facultad de Ingeniería Química, Colegio de Ingeniería en Alimentos, por permitirnos usar los equipos y las instalaciones del laboratorio de Ingeniería de Alimentos.

Al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (TEC), Campus Querétaro y al Laboratorio de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria. Por permitirnos realizar las pruebas pertinentes y utilizar el equipo de la Descompresión Instantánea Controlada(DIC), para poder realizar la presente tesis.

A la Dra. Adriana Delgado Alvarado, por la motivación a culminar satisfactoriamente mi formación, por sus enseñanzas y por brindarme su confianza y su amistad.

Al Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera, por sus aportaciones, compartir sus valiosos conocimientos y darme ánimos a culminar esta etapa de mi vida.

A Dr. José Guillermo Pérez Luna, por todo su apoyo para la realización de esta tesis, la facilitación de uso de su equipo y compartir sus conocimientos conmigo.

A la Dra. Carmen Téllez Pérez, por compartir su conocimiento y proporcionarnos la capacitación necesaria para poder manejar el equipo de la DIC, gracias por su amistad y apoyo.

A la Familia Espíndola Pilares por habernos brindado las facilidades de realizar este trabajo en su invernadero, transmitirnos sus conocimientos y apoyo.

DEDICATORIAS

A DIOS, por tantas bendiciones que ha puesto en mi camino y permitirme llegar hasta el día de hoy.

A mis padres por seguir impulsándome y contar con su apoyo en todo momento.

A mis hijos, que son la bendición más grande que tengo, los logros que se hacen son para ustedes y para que sigamos adelante como familia. Los Amo

A ti Braulio que me apoyas a seguir superándome.

A mi hermana, mi sobrino por estar juntos como familia.

A la Familia Jiménez Duran gracias por su apoyo.

A Patricia Ramírez Carrasco (Paty), por todo tu apoyo en el laboratorio y para culminar esta etapa gracias por tu apoyo y amistad.

A mis amigos y compañeros de la maestría igual no me alcanzaría para nombrarlos y agradecerles por todo lo que compartieron conmigo (Paola, Alejandra, Alejandrina, Diego, Mada).

A los compañeros del Laboratorio, por todo tu apoyo y brindarme tu amistad.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	3
II. ANTECEDENTES	4
2.1 Generalidades del jitomate (<i>Solanumlycopersicum</i> L).....	4
2.2 Cultivo del jitomate	5
2.3 Componentes de calidad en frutos	7
2.4 Parámetros de calidad en frutos deshidratados	8
2.4.1 Microbiológicos.....	8
2.4.2 Nutritivos	9
2.5 Indicadores de calidad en el jitomate deshidratado	9
2.5.1 Color 9	
2.5.2 Azúcares solubles totales.....	10
2.5.3 Licopeno	10
2.5.4 Vitamina C (ácido ascórbico)	11
2.5.5 Compuestos fenólicos totales	12
2.6 Deshidratación.....	12
2.6.1 Deshidratación en hortalizas.....	12
2.6.2 Proceso de deshidratación.....	13
2.6.2.1Deshidratación Solar	16
2.6.2.2Descompresión instantánea controlada (DIC)	17
2.6.2.3Liofilización	20
2.7 Factores que intervienen en el proceso de secado.....	21
2.7.1 Temperatura	21
2.7.2 El agua en los Alimentos.....	22
2.7.3 Otros factores.....	22
2.8 Cambios en la calidad de los alimentos por secado.	23
2.8.1 Reacciones bioquímicas inducidas por el secado	25
2.8.2 Transformaciones físicas durante el secado	29
2.8.3 Transformaciones mecánicas inducidas por el secado	30
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	33
IV.HIPÓTESIS.....	33

V. OBJETIVOS.....	33
5.1 Objetivo General.....	33
5.2 Objetivos Específicos.....	34
6.1 Selección de la región de estudio y toma de muestra	35
6.2 Ensayos en frutos frescos	35
6.2.1 Propiedades físico-químicas	35
6.2.1.1 pH 35	
6.2.1.2 Acidez titulable	35
6.2.1.3 Sólidos solubles totales o grados Brix (°Bx)	36
6.2.1.4 Color 36	
6.2.1.5 Cuantificación de nutrientes minerales: Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Hierro (Fe) 36	
6.3 Compuestos nutricionales	37
6.3.1 Azúcares Solubles Totales.....	37
6.3.2 Cenizas	38
6.3.3 Fibra cruda.....	38
6.4 Compuestos bioactivos.....	38
6.4.1 Vitamina C (ácido ascórbico).....	38
6.4.2 Contenido de Licopeno.....	39
6.4.3 Compuestos fenólicos totales (CFT).....	39
6.4.4 Actividad Antioxidante	40
6.5 Calidad microbiológica.....	41
6.5.1 Determinación de coliformes totales.....	41
6.5.2 Bacterias mesófilas aerobias.....	41
6.5.3 Determinación de Hongos y levaduras.....	41
6.6 Preparación de la muestra para la deshidratación.....	41
6.6.1 Deshidratación.....	42
6.6.1.1 Deshidratación Solar.....	42
6.6.1.3 Deshidratación por liofilización.	42
6.7 Ensayos en fruto deshidratado	43
6.7.1 Propiedades físico-químicas	43
6.7.1.1 Color 43	

6.7.2	Compuestos nutricionales.....	44
6.7.2.1	Azúcares Solubles Totales.....	44
6.7.3	Compuestos bioactivos	44
6.7.3.1	Vitamina C (ácido ascórbico).....	44
6.7.3.2	Contenido de Licopeno.....	44
6.7.3.3	Compuestos fenólicos totales.....	44
6.7.3.4	Actividad Antioxidante	44
6.8	Determinaciones microbiológicas en frutos deshidratados	44
6.8.1	Coliformes Totales.....	44
6.8.2	Bacterias mesófilas aerobias	45
6.8.3	Hongos y levaduras	45
6.9	Diseño experimental	45
6.10	Análisis Estadístico	45
6.11	Análisis numérico	46
VII	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
7.1	Fruto Fresco.....	48
7.1.1	Propiedades físico-químicas	48
7.1.2	Composición nutricional y compuestos bioactivos	49
7.1.3	Análisis microbiológico.....	51
7.2	Frutos Deshidratados.....	53
7.2.1	Determinación de color.....	53
7.2.2	Compuestos nutricionales y compuestos bioactivos	56
7.2.3	Componentes químicos	59
7.3.1	Contenido de azúcares solubles totales.....	61
7.3.2	Contenido de licopeno	61
7.3.3	Compuestos Fenólicos Totales.....	62
7.3.4	Actividad Antioxidante (% inhibición del radical DPPH).....	63
7.3.4.1	Capacidad inhibitoria o concentración media inhibitoria (CI ₅₀)	64
7.3.5	Contenido de Vitamina C (Ácido Ascórbico).....	67
7.3.6	Contenido de Minerales	67
7.3	Análisis por componentes principales y conglomerados.....	68
7.3.1	Distribución de la Variación.....	68

7.4	Análisis de superficie de respuesta de cinco variables por efecto del procesamiento de jitomate por Descompresión Instantánea Controlada (DIC)	71
7.4.1	Respuesta del Contenido de Licopeno	73
7.4.2	Respuesta de Compuestos Fenólicos Totales	74
7.4.3	Actividad Antioxidante.....	75
7.4.4	Capacidad inhibitoria CI_{50}	76
7.4.5	Respuesta de Azucares Solubles Totales (AST)	77
IX	CONCLUSIONES	83
X	BIBLIOGRAFÍA.....	85
XI	Anexos	100

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1 Temperaturas óptimas y dañinas del cultivo de jitomate.....	6
Cuadro 2.2 Principales Características de los diferentes procesos de deshidratación	15
Cuadro 6.1 Tratamientos establecidos para Descompresión Instantánea Controlada (DIC)...	43
Cuadro 6.2 Valores experimentales de las condiciones de corrida de las tecnologías utilizadas para la deshidratación de jitomate.	46
Cuadro 7.1 Propiedades físico-químicas en fruto fresco de jitomate	49
Cuadro 7.2 Componentes nutricionales y bioactivos de jitomate fresco.....	50
Cuadro 7.3 Análisis microbiológicos de frutos de jitomate fresco y procesado.....	52
Cuadro 7.4 Parámetros de color de jitomate en los diferentes tratamientos de deshidratación.	55
Cuadro 7.5 Compuestos nutricionales y compuestos bioactivos de jitomates deshidratados.	58
Cuadro 7.6 Promedios de los tratamientos por las diferentes presiones utilizadas en la deshidratación de jitomates.....	60
Cuadro 7.7 CI50 de la actividad antioxidante de los frutos deshidratados de jitomate	65
Cuadro 7.8 Contenido de ácido ascórbico en jitomate deshidratado	67
Cuadro 7.9 Contenido de minerales en frutos de jitomate deshidratados por el método por descompresión instantánea controlada (DIC), solar y liofilización.....	68
Cuadro 7.10 Valores propios y proporción acumulada de la variación explicada para cada variable en las tres primeras dimensiones de las seis variables obtenidas para jitomate deshidratado.	69
Cuadro 7.11 Designación del experimento de superficie de respuesta para jitomate y respuestas obtenidas.	72
Cuadro 8.1 Respuesta máxima por variable y condiciones óptimas de presión y tiempo en el análisis por superficie de respuesta en los tratamientos de deshidratación de jitomate en la tecnología DIC.	79
Cuadro 8.2 Correlaciones de los tratamientos de deshidratación solar y liofilización con las condiciones de procesamiento y los compuestos bioactivos.	80
Cuadro 8.3 Correlaciones de las condiciones de operación y los compuestos bioactivos, de los tratamientos de deshidratación solar y liofilización.	81

Cuadro 8.4 Correlaciones entre los compuestos bioactivos de los tratamientos de deshidratación solar y liofilización.....	81
Cuadro 8.5 Coeficientes de correlación de Pearson de los frutos procesados mediante descompresión instantánea controlada (DIC) con las condiciones de procesamiento y los compuestos bioactivos.....	82
Cuadro 8.6 Correlaciones entre los compuestos bioactivos de los frutos procesados mediante descompresión instantánea controlada (DIC).....	82

LISTA DE FIGURAS.

	Página
Figura 2.1 Secador Solar SSB-2008	17
Figura 2.2. Deshidratador por descompresión instantánea controlada (DIC): a) Prototipo utilizado en este trabajo. b) Partes que componen el deshidratador DIC: 1- autoclave, 2- tanque de vacío, 3- bomba de vacío, 4-trampa, V1-V7 - válvulas, S1, S2 - vapor saturado W1 - agua fría P- manómetro T - termopar.	18
Figura 2.3 Temperatura y presión de vapor del equipo DIC. pA presión en autoclave, TA temperatura en autoclave, TP temperatura del producto, (a) muestra a presión atmosférica (b) vacío inicial (c) inyección de vapor saturado hasta alcanzar la presión seleccionada (d) temperatura constante que corresponde a la presión del vapor saturado (e) caída de presión repentina hacia el vacío (f) vacío (g) liberación de presión atmosférica.	19
Figura 2.4 Pasos del proceso de liofilización.....	21
Figura 2.5 Liofilizador LABCONCO Mod. 75034 equipo utilizado en la realización de esta tesis.	21
Figura 7.1 Índice de color de jitomates deshidratados. Tratamientos DIC: I1=2.5 bar/0.41 min; I2=4.0 bar/0.41 min; I3=2.5 bar/0.66 min; I4=2.5 bar/0.41 min; I5=3.6 bar/0.60 min; I6=3.6 bar/0.23 min; I7=2.5 bar/0.41 min; I8=1.4 bar/0.23 min; I9= 1.4 bar/0.60 min; I10 2.5 bar/0.41 min; I11 1 bar/0.41 min; I12 2.5 bar/0.16 min; I13 2.5 bar/0.41 min; DS = Deshidratación Solar. LIOF = Liofilización	56
Figura 7.2 Contenido de azúcares solubles totales para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1). LIOF = Liofilización. DMS <0.001	61
Figura 7.3 Contenido de Licopeno para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1). LIOF = Liofilización. DMS <0.001	62
Figura 7.4 Contenido de compuestos fenólicos totales para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1) LIOF = Liofilización. DMS <0.001	63
Figura 7.5 Actividad antioxidante para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1). LIOF = Liofilización. DMS <0.001	64

Figura 7.6 Correlación de 1/CI50 con el contenido de compuestos fenólicos totales de los tratamientos procesados por descompresión instantánea controlada (DIC).	66
Figura 7.7 Correlación de 1/CI50 con el contenido de licopeno de los tratamientos procesados por descompresión instantánea controlada (DIC).	66
Figura 7.8 Dispersión de las variables obtenidas de los jitomates deshidratados, con base en los tres primeros componentes principales del análisis de las 6 variables de presión agrupadas por medias de los tratamientos.	70
Figura 7.9 Dendograma basado en las diferentes presiones utilizadas en los procesos de deshidratación de jitomate, con base en el promedio de las seis variables y agrupamiento por distancia de similitud.	71
Figura 7.10 Grafico de superficie de respuesta para Licopeno. A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mayor contenido de licopeno	73
Figura 7.11 Grafico de superficie de respuesta para compuestos fenólicos totales (CFT). A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mayor contenido de CFT... ..	74
Figura 7.12 Grafico de superficie de respuesta para Actividad Antioxidante. A). Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener la mayor actividad antioxidante. tiempo para	75
Figura 7.13 Grafico de superficie de respuesta para CI50. A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mejor resultado de CI ₅₀	76
Figura 7.14 Grafico de superficie de respuesta para Azucares Solubles Totales. A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo pa para obtener un mayor contenido de azucares solubles totales.....	77

I. INTRODUCCIÓN

El jitomate es una de las hortalizas más importantes no solo para el país sino a nivel mundial, debido a su consumo y relevancia económica. Constituye 30% de la producción hortícola, con alrededor de 2.9 millones de hectáreas sembradas y 72744000 toneladas de frutos cosechados a nivel mundial (FAO 2010). Los países en vía de desarrollo contribuyen de manera significativa a la producción mundial con aproximadamente 47 283 600 toneladas, que representan 65% de dicha producción. Europa y Norteamérica contribuyen con el resto. Para finales del 2009 México tuvo una producción de 2 057 819 toneladas y para el 2010 la producción agrícola de tomate rojo (jitomate) fue de 2 277 791.43 toneladas (INEGI 2010), de lo cual es importante mencionar que Puebla contribuyo con 31 393.87 toneladas (SIAP 2010). Aunque la producción del estado de Puebla no es muy alta, si se considera significativa, ya que desde hace casi una década contribuye de forma importante al desarrollo agrícola, ya que se ha promovido de forma gradual el establecimiento de invernaderos para el cultivo de jitomate como una alternativa de Desarrollo Agrícola en algunos Municipios pertenecientes al estado como son: Tetela de Ocampo, Aquixtla, Zacatlán e Ixtacamaxtitlán (SAGARPA 2007).

La importancia del cultivo de jitomate a nivel nacional no es solo de tipo económica, más bien está relacionado con el origen del cultivo, que aunque México no es centro de origen (Preedy y Watson2008) de esta especie, si es considerado como centro de domesticación por lo que se encuentra en la dieta diaria de los mexicanos.

Aunado a lo anterior, en años recientes, los jitomates y los productos obtenidos de ellos han cobrado gran importancia para las áreas de investigación, debido a su alto valor biológico, actividad antioxidante y características funcionales. En cierta medida, todos los productos obtenidos del jitomate presentan características antioxidantes, determinadas por los compuestos bioactivos, como licopeno, β -caroteno, vitamina C (Leonardiet *al.* 2000). De los productos derivados de esta especie, los frutos deshidratados muestran un interés especial debido a que algunos compuestos

bioactivos como ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos encontrados en su composición se encuentran en altas cantidades (Giovanelli *et al.* 1999).

La producción de jitomate como se ha mencionado es importante por su valor económico, su domesticación y la importancia en la dieta diaria; sin embargo la producción puede ser variada y en ocasiones hay exceso del producto en el mercado. Es ahí donde los productores se ven obligados a bajar los precios o incluso tirar su producto, lo que representa grandes pérdidas económicas, una opción para disminuir el problema es el procesamiento del fruto con tecnologías alternativas, ya que los productores pueden crear nuevos productos con esta materia prima y comercializarlos.

En general la deshidratación de los jitomates es un proceso utilizado para preservar el producto y alargar la vida de anaquel, aunque la calidad del producto deshidratado puede llegar a ser pobre. Algunos de los problemas que se presentan se deben principalmente al colapso de las estructuras, decoloración y textura rugosa (Rattiet *al.* 2008). En la actualidad la innovación de tecnologías para llevar a cabo la deshidratación pueden abrir nuevas puertas para disminuir este daño físico y fitoquímico. Tal es el caso de la deshidratación solar (González, 2010) y la tecnología por descompresión instantánea controlada (tecnología DIC) (Kamalet *al.* 2008). El proceso de la tecnología DIC se basa en un efecto termo-mecánico, donde los frutos pre-secados (14% H) se someten a un periodo corto (5-30 s) de vapor saturado (0.1-0.6 MPa), seguido de caída instantánea hacia el vacío (5kPa), lo que detiene la degradación térmica, genera una estructura porosa y mejora la textura y el color (Kamalet *al.* 2008).

La composición nutricional del producto fresco o procesado es de mayor o similar importancia que las propiedades físicas, debido a que trae beneficios para el productor al poder introducirlo a nuevos mercados y principalmente al consumidor al hacerlo consciente de las ventajas de consumir alimentos funcionales. Los diferentes compuestos que contienen los vegetales frescos se pueden ver afectados ya sea por el procesamiento de estos o simplemente por los factores de cosecha y post cosecha de los mismos, pues se sabe que, la causa principal del deterioro en los carotenoides es la oxidación, la cual se debe principalmente al alto grado de inmadurez que poseen

estos compuestos, que son especialmente sensibles a la luz, calor y oxígeno (Mínguez 1997). Otros factores físicos y químicos, que también degradan a los carotenoides, son temperaturas elevadas, exposición a la luz, al oxígeno y pH extremos (Nguyen y Schwartz 1999). Específicamente la degradación del licopeno no sólo afecta el atractivo color de los productos finales, sino también su valor nutritivo (Ré *et al.* 2002). Además de que el manejo del fruto durante la cosecha y post-cosecha puede influir en el deterioro de su actividad antioxidante (García *et al.* 2007). De ahí que la presente investigación tuvo como propósito conocer cómo influyen los procesos de deshidratación (deshidratación solar, tecnología DIC y liofilización), sobre la calidad (propiedades físicas y químicas), compuestos bioactivos (licopeno y actividad antioxidante) y calidad microbiológica en fruto fresco y en fruto deshidratado solarmente, liofilizado y por autovaporización. Esto puede ser una alternativa para ofrecer al mercado productos vegetales procesados de buena calidad funcional y al productor la alternativa para potencialmente aprovechar su producto en todas las temporadas del año.

1.1 Justificación

Dentro de la agricultura mexicana la actividad hortícola es una de las más dinámicas y con mayor capacidad exportadora. Entre las hortalizas y frutas exportadas a Estados Unidos que sobresalen por su volumen se encuentran: el jitomate, el pepino, la calabaza y el limón (Carrillo 2004). En años recientes el gobierno del estado de Puebla ha impulsado el cultivo de jitomate de invernadero donde sobresalen regiones como Tetela de Ocampo, Aquixtla, Zacatlan e Itacamaxtitlan entre otras. Debido al carácter estacional de muchas hortalizas, es necesario preservar la producción, por medio de operación de conservación, como la deshidratación sin perder la calidad nutricional y sensorial del producto, con la cual se puede prevenir la pérdida post-cosecha y extender el tiempo de utilización del alimento y darle un mayor valor tanto al producto final como a los productores y a las comunidades donde se cultivan estas hortalizas.

II. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del jitomate (*Solanum lycopersicum* L)

El jitomate pertenece a la orden de *Solanales*, suborden *Asteride*, de la familia de las *Solanaceae*, tribu *Solaneae*, genero *Solanum*, subgénero *Potatoe*, especie *S. lycopersicum*L.El fruto es una baya generalmente de forma sub-esférica, globosa o alargada y, habitualmente, de unos 8 centímetros de diámetro, de color verde cuando esta inmadura y que toma generalmente un color rojo intenso con la maduración. El vocablo *Solanum* es latino y es equivalente al griego *στρυχνος* (strychnos) el cual da pauta para designar la especie *Solanumnigrum* que significa la "Hierba mora", ya empleado por Plinio el Viejo en su *Historia naturalis* (Cirielli 2002;Sheehyet al. 1988) y, antes, por Aulus Cornelius Celsus en *De Re Medica* (Sobrino 2010).Podría estar relacionado con el latín *sol. -is*, "el sol", debido a que la planta sería propia de sitios algo soleados. *Lycopersicum* proviene del griego *λύκος* lyco = lobo, y *περσικός* persicum = persa, en alusión a la "manzana persa", nombre que los europeos daban al melocotón que llegaba a Persia desde China. El nombre tuvo su origen en el mito del hombre lobo. Según leyendas germánicas, brujas y magos utilizaban los frutos de la belladona en sus pócimas para convertirse en hombres lobo. Cuando el jitomate llegó a Europa procedente de América, el gran parecido con esos frutos hizo que fuera llamado popularmente "wolfpeach" (melocotón de lobo). Linneo, en el siglo XVIII, lo aplicó en su nuevo sistema de clasificación añadiéndole *esculentum* (comestible).

Con respecto del origen, la planta de jitomate tiene un centro posible de la variabilidad a lo largo de la costa del Pacífico entre el Ecuador y el norte de Chile, incluyendo las Islas Galápagos, a una altitud de aproximadamente 2 metros en la cordillera de los andes. Sin embargo la domesticación y el cultivo se llevan a cabo por las tribus indígenas que habitaban en México (Giordano y Silva 2000), donde se originó el nombre de jitomate, y posteriormente fue introducido a Europa donde se conocía como un fruto venenoso. En la actualidad el jitomate ha tomado gran auge debido a la gran variedad de productos que se han dado a conocer y principalmente por los beneficios que han encontrado en este fruto como son los antioxidantes (Raffoet al. 2002).

Se considera una hortaliza de fruto carnosos fuente de potasio, vitamina C, ácido fólico y carotenoides, un fuerte antioxidante como es el licopeno y tiene un bajo contenido calórico de alrededor de 20 kcal/100g de fruto. Su sabor viene principalmente de los azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa) y ácidos orgánicos (málico y cítrico) (Chamarro 2003). El contenido de estos ácidos y componentes se caracterizan por un proceso fisiológico particular, la maduración involucra, cambios bioquímicos profundos los cuales conducen a un desarrollo de nuevas cualidades organolépticas. (Yves *et al.* 2002). Estas propiedades organolépticas son necesarias para obtener un fruto de calidad para el consumidor, las cuales son elementales para su consumo y comercialización.

2.2 Cultivo del jitomate

La planta se desarrolla en una amplia gama de latitudes, tipos de suelos, temperaturas y métodos de cultivo, y es moderadamente tolerante a la sanidad. Prefiere ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje (Nuez 2001). Lo más adecuado para el cultivo son grandes altitudes, con baja humedad y alta luminosidad, dependiendo de las altitudes es como se cultiva por ejemplo en altitudes de menos de 300m se cultiva preferentemente en invierno, en cambio a altitudes por encima de 1200 m es más cultivado en verano (Fontes y Silva 2002).

La temperatura es un factor climático importante debido a que se observa una mejor eficiencia cuando la temperatura oscila entre los 18 y 28 °C (Jones *et al.* 1991); sin embargo durante todo el periodo de crecimiento de la planta las temperaturas idóneas para su crecimiento óptimo varían como se señala en el cuadro 2.1:

Cuadro 2.1 Temperaturas óptimas y dañinas del cultivo de jitomate.

Etapa	Temperatura óptima °C	Temperatura dañina °C
Instalaciones	21-24	
Germinación	16-29	5 ó 40
Fruto	24 (día) 14-17 (noche)	35 (día) y 30 (noche) se hace aborto de fruto (frutos pequeños con poca semilla)
Formación licopeno	20-24 (día) 18 (noche)	Superiores a 30 inhibe la formación licopeno pero forma otros carotenoides

Se ha investigado la influencia de los factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa del aire y la luminosidad en los atributos de la composición de los frutos. Así como la temperatura influye en el crecimiento de la planta, esta también influye en la distribución de los asimiladores entre los frutos y la planta (Heuvelink 2005). El movimiento del agua en el fruto aumenta con la temperatura mientras esta no sea limitada, una temperatura igual o menor a 15°C reduce considerablemente la absorción de agua por el fruto (Doaris *et al.* 2001). La temperatura sobre el metabolismo puede afectar la estructura celular y otros componentes como el color, tamaño y propiedades organolépticas que son de calidad para los frutos por esta razón las altas temperaturas no son óptimas pues aumentan el desarrollo de la fruta, reducen el tiempo necesario para su maduración y su tamaño final (Doaris *et al.* 2001)

La humedad relativa afecta la composición de los frutos debido a que en condiciones muy bajas las reacciones fotosintéticas se reducen significativamente ya que los estomas se cierran, se reduce el crecimiento de la planta y el tamaño de los frutos. La intensidad luminosa total que llega a la planta en un invernadero, es aproximadamente el 10% reflejada, 10% de transmisión y aproximadamente 80% absorbida (Doaris *et al.* 2001). Una intensidad luminosa alta puede afectar al follaje de la planta ya que afecta el contenido de azúcares solubles (Davies y Hobson 1981); el ácido ascórbico (Giovanelli *et al.* 1999), y los pigmentos como el licopeno.

2.3 Componentes de calidad en frutos

Los componentes de calidad dependen del tipo de producto, particularmente en productos hortofrutícolas; así como de la etapa en que se encuentren ya que varían los parámetros desde su corte hasta los parámetros de calidad para el consumidor (Preedy y Watson 2008).

El concepto de calidad puede ser muy amplio dependiendo de los parámetros de calidad de un fruto. El concepto de calidad definido en la Norma ISO 9000:2000, menciona que la calidad es: *“el conjunto de propiedades y características de un producto, de un proceso o de un servicio que le confieren su capacidad de satisfacer necesidades implícitas o explícitas”*, considerando que la satisfacción de estas necesidades están directamente relacionadas con las preferencias del consumidor. Para la normativa de calidad suprema el término de calidad es garantizar el cumplimiento y valor agregado que brinda el empaque, etiquetado y calidad por atributos (color, sabor, apariencia, textura, etc.) de un producto agroalimentario; adicionalmente se cuida la minimización y ausencia de riesgos biológicos, químicos y físicos para la salud humana, animal y vegetal (Calidad Suprema PC-020-2005).

De acuerdo con Steven *et al.* (1979) la calidad puede tener diferentes significados:

- Para los productores sus “productos” deben conservar los criterios de calidad buena apariencia y presentar pocos defectos visuales. Los productores seleccionan una variedad de acuerdo con este concepto de calidad para garantizar un alto rendimiento, mayor resistencia a enfermedades y facilidad de cultivo.
- Para los distribuidores o intermediarios el requisito más importante de calidad es la apariencia la cual les interesa mantenerla por un largo tiempo (vida anaquel).
- Para el consumidor el concepto de calidad tiene que ver con que el producto se vea “bien”, sea “firme” y presente un buen sabor y aroma, además contener un alto valor nutricional”.

Particularmente para los requisitos de preferencia del consumidor, Romojaroe*et al.* (2007) consideran que los objetivos de producción, manipulación y distribución de los productos hortofrutícolas tienen que estar destinados a satisfacer las necesidades del consumidor.

2.4 Parámetros de calidad en frutos deshidratados

2.4.1 Microbiológicos

La contaminación microbiológica es uno de los problemas más importantes en el desarrollo de los alimentos mínimamente procesados, donde la flora microbiana alterante la integran bacterias, hongos y levaduras. Se sabe que aun cuando la composición, propiedades físico-químicas y naturaleza del fruto entero de partida determinan en gran medida la predisposición al ataque de un tipo u otro de microorganismos; más bien, dependerá del proceso de elaboración y en especial las fases de pelado y corte de los productos, que es cuando se destruye la barrera natural de protección del vegetal y que facilita la disponibilidad de nutrientes celulares liberados (azúcares, etc.), lo cual favorece la contaminación con microorganismos alterantes y/o patógenos. Esto es debido a que los agentes patógenos pueden estar presentes en los vegetales crudos, ó debido a la contaminación cruzada durante algún procesamiento (Nguyen y Carlin 1994).

Depende del procesamiento de los frutos y que tipo de producto se desea para poder determinar los parámetros que se deben tomar en cuenta para prevenir algún tipo de contaminación microbiológica por ejemplo; una pulpa de jitomate con un pH inferior a 4,5 es deseable. Bajo estas condiciones el desarrollo de microorganismos perjudiciales para la conservación de los productos transformados se inhibe (Ho 1986). El pH también tiene un efecto importante sobre el tiempo de calentamiento necesario para la esterilización de subproductos de jitomate. El pH más alcalino implica un mayor calentamiento para obtener la esterilización de los productos.

2.4.2 Nutritivos

Para las frutas y verduras los factores de calidad más importantes se pueden describir por atributos diferentes como el color, el aroma y el gusto; sin embargo, estos atributos se relacionan con su valor nutricional. La coloración del jitomate se debe a la clorofila, carotenoides como el licopeno y b-caroteno, y también debido a las xantofilas, estos compuestos dan diferentes coloraciones; el color verde es característico de frutos inmaduros y es una mezcla de clorofilas, las cuales disminuyen conforme la fruta va madurando después de un color verde se obtiene un color amarillo donde los b-carotenos están presentes, para finalizar con un color rojo donde el contenido de licopeno es característico (Ho 1986).

2.5 Indicadores de calidad en el jitomate deshidratado

2.5.1 Color

Es una característica de calidad extremadamente importante, ya que no solo determina la madurez y vida *post* cosecha, también es un factor determinante para la aceptabilidad del consumidor. El color en los jitomates se debe a la presencia de carotenoides y el licopeno que es el principal carotenoide que contiene este fruto (Gómez 2009). El deshidratado de jitomate, ocasiona cambios de color en el producto final. Estos cambios de color son una combinación del oscurecimiento no enzimático, reacciones de Maillard, y de la degradación de licopeno (Kerkhofs *et al.* 2005).

El oscurecimiento de los pigmentos como la reacción de Maillard, y la caramelización de azúcares, depende de la cantidad de azúcar y aminoácidos presentes, así como del pH, tiempo y temperatura del procesamiento (Hayes *et al.* 2002). En 1990 Olorunda *et al.* reportaron que un incremento en el tiempo de secado y de la temperatura provoca un oscurecimiento en el tejido, mientras otros estudios muestran un incremento en la luminosidad (L^*) y una disminución en el color rojo (a^*/b^*) después del secado con aire. Más tarde se demostró que el contenido de licopeno está correlacionado con el color del fruto (Arias *et al.* 2000). El incremento del valor de a^* está asociado directamente con el contenido de licopeno.

2.5.2 Azúcares solubles totales

Los azúcares reductores, principalmente glucosa y fructosa, representan alrededor de la mitad de la materia seca o el 65% de los sólidos solubles totales del fruto maduro. El contenido de azúcares oscila entre 1.7 y 4% del peso fresco del fruto y los sólidos solubles totales entre 4% y 9% en los cultivares comerciales (Escaff 2006). Los principales ácidos orgánicos del jitomate rojo son el málico y el cítrico, que representan 13% de la materia seca. Al principio del crecimiento del fruto el ácido málico es el predominante, mientras el cítrico solo representa 25%. El pH del jugo del fruto maduro oscila entre 4 y 4.8.

El contenido medio de proteínas, aminoácidos y lípidos del jitomate es muy pobre, alrededor de 0.6% del peso fresco (Davies y Hobson 1981). De modo que el jitomate no puede ser considerado una fuente importante de estos compuestos. Los minerales representan una fracción pequeña del peso fresco, aproximadamente 0.4% (Davies y Hobson 1981), pero desempeñan un importante papel en la composición nutritiva del fruto. Sin embargo, el incremento del contenido en minerales del jitomate está más condicionado por la práctica de la fertilización que por factores genéticos por lo que no suele considerarse en programas de mejora genética.

2.5.3 Licopeno

Al hablar sobre los carotenoides y las xantofilas podemos mencionar que estos se dividen en dos grupos por su composición química: los carotenos contienen sólo carbono y átomos de hidrógeno y las xantofilas óxocarotenoides, cuya estructura contiene una función de oxígeno, tal como el ceto, y el hidroxilo o grupos epoxi. Debido a la presencia de enlaces dobles, los carotenoides presentan diferentes formas geométricas (cis/trans), que se pueden convertir de una a otra a través de la acción de la energía luminosa, térmica o química. Por lo tanto, los compuestos carotenoides son muy sensibles a la luz, oxígeno, y a las condiciones de pH bajo. En la actualidad, más de 600 carotenoides diferentes han sido identificados, aunque sólo alrededor de dos docenas se consumen de forma regular por los seres humanos (Chasquibol *et al.* 2003).

El sistema de dobles enlaces conjugados influye en sus propiedades bioquímicas, físicas y propiedades químicas. Así, los compuestos carotenoides como el β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína y zeaxantina desempeñan importantes funciones biológicas; tales como, la actividad antioxidante, la estimulación de la comunicación intercelular, el control del crecimiento celular, la diferenciación intercelular de control del crecimiento, la diferenciación celular (inhibición de la mutagénesis), y la modulación de la respuesta inmune. Sin embargo, el licopeno que es el carotenoide más importante en el jitomate y sus derivados, es el único que ingerido o en suero, ha sido asociado inversamente por un estudio epidemiológico de gran alcance, con la aparición de cáncer de próstata (Giovannuci *et al.* 1995), mientras que, otros reportaron mejores resultados con los sus derivados, que con jitomate fresco sin procesar (Gartner *et al.* 1997). Además, los niveles plasmáticos elevados de licopeno, luteína, o α -caroteno se asociaron inversamente con el riesgo de enfermedad coronaria, infarto de miocardio, y aterosclerosis.

Todos estos estudios han sido resumidos por Olmedilla *et al.* (2001). No hay recomendación formal para la dieta de carotenoides que haya sido establecido aún, pero algunos expertos sugieren que la ingesta de 5 a 6 mg/día. En el caso de la vitamina A, para adultos, los machos humanos, la dosis diaria recomendada es de 1.000 mg de retinol Eq/día, y como para las mujeres adultas, 800ug de retinol Eq/día (O'Neill *et al.* 2001; Trumbo *et al.* 2003).

2.5.4 Vitamina C (ácido ascórbico)

Actualmente el valor nutricional ha tomado gran auge debido a los beneficios que otorga el ingerir sustancias antioxidantes que pueden ayudar a prevenir ciertas enfermedades. La vitamina C pertenece al grupo de vitaminas solubles en agua y es uno de los más micronutrientes más importantes, la cual es obtenida por los seres humanos hasta en un 90% por la ingesta de frutas y verduras. En general, la vitamina C (ácido ascórbico-AA + ácido dehidroascórbico-DAA) contenido en las frutas y verduras, depende de la especie, la variedad, condiciones climáticas, prácticas agrícolas, la madurez y de manejo post-cosecha (Lee y Kader 2000). La concentración de vitamina C generalmente aumenta en los tejidos vegetales a través de la acción de

la luz durante el crecimiento de la planta y tiende a disminuir en presencia de nitrógeno rico en fertilizantes. Sin embargo, la principal causa de la degradación de la vitamina C en vegetales es el almacenamiento post-cosecha el cual resulta inadecuado en cuestión de las temperaturas. El contenido de vitamina C comienza a disminuir tan pronto como el producto se cosecha. La cantidad de vitamina C que aumenta es degradada con la temperatura y tiempo de almacenamiento (Davey *et al.*, 2000; Lee y Kader 2000).

2.5.5 Compuestos fenólicos totales

Los principales componentes fenólicos en el jitomate son quercetina, naringenina, rutina y ácido clorogénico (Hertog *et al.* 1992; Clifford 1999; Paganga *et al.* 1999; Chassy *et al.* 2006; Luthria *et al.* 2006). La concentración de fenoles totales en muestras de jitomate varía de 259,15 a 498,60 mg kg⁻¹ de peso fresco (Martínez Valverde *et al.* 2002; Podsedek *et al.* 2003). A causa de su estructura, los fenoles son muy eficientes en la lucha contra el radical peróxido (Halliwell 1992; Aruoma 1999). Los ácidos clorogénicos se han relacionado con propiedades beneficiosas para la salud humana debido a su poder antioxidante, así como hepatoprotector, hipoglucémico y actividad antiviral (Farah y Donangelo, 2006). Sin embargo, debido a la complejidad química de los fenoles (Slimestad y Verheul 2005; Dimitrios 2006) los ácidos clorogénicos también pueden ser responsables de un sabor algo astringente o amargo en los frutos (Walker, 1962; De Bruyn *et al.* 1971).

2.6 Deshidratación

2.6.1 Deshidratación en hortalizas

La deshidratación es una operación unitaria utilizada para la conservación de alimentos desde los tiempos prehistóricos ya que permite preservar los productos por más tiempo (Ibarz *et al.* 2005). En un inicio el desarrollo de la industria del secado estaba ligado a la demanda de alimentos, que debían cubrir las necesidades de los soldados durante las guerras que se han dado a lo largo del mundo. Donde la principal fuente de energía para llevar a cabo esta operación era el sol, actualmente hay otras técnicas o medios por los que se puede realizar la deshidratación. Entre los diferentes procesos para

realizar la deshidratación de alimentos, se encuentra la liofilización, el secado osmótico, secado al vacío, por aire forzado o por deshidratación solar, lo importante de estos procedimientos es que eliminan el agua del alimento a procesar (Fito *et al.* 2001). El proceso desecado no solo rebaja el contenido de agua en el alimento sino que también puede afectar sus características físicas (textura, viscosidad, dureza, aroma y sabor) y químicas así como su actividad enzimática. Estas características deben ser monitoreadas en cualquier procedimiento para disminuir el daño que pueda sufrir el producto y estandarizarlo según sea el producto (Fito *et al.* 2001).

A pesar de que los términos de secado y deshidratación se utilizan como sinónimos, en realidad no debería ser así, ya que se considera que un alimento está deshidratado si no contiene más de 2.5% de agua, mientras que uno seco puede contener más de ese 2.5% (Ibarz *et al.* 2005). La mayoría de los productos agroalimentarios son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada), se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (Fito *et al.* 2001).

2.6.2 Proceso de deshidratación

La transferencia de calor desde el medio de secado para el sólido húmedo puede ser una consecuencia de convección, conducción, o efectos de la radiación, y en algunos casos, una combinación de ellos.

- **Conducción.**- Los secadores por conducción o indirectos son apropiados para productos de poco espesor o para sólidos con alto grado de humedad.
- **Convección.**- Los secadores por convección son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor es suministrado por medio de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del producto. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado, o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivos.

- Radiación.- Los secadores por radiación funcionan mediante radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra dentro de la gamma del espectro solar y microondas (Mujumdar 2000).

La transferencia de calor interno es generalmente muy rápida en comparación con la transferencia externa, por lo tanto, la transferencia de calor durante el secado se controla externamente. En contraste, la transferencia de masa depende del movimiento de humedad dentro del sólido o el movimiento de vapor de agua desde la superficie sólida al medio granel dependiendo del proceso específico, la eliminación de agua puede estar limitada por la transferencia de calor o bien por la masa. Las resistencias a estos dos fenómenos de transporte pueden estar asociadas, es decir, que dependen entre sí (Karel y Lund 2003). El Cuadro 2.2 presenta una recopilación de las características de uso común de los procesos de secado.

Cuadro 2.2 Principales Características de los diferentes procesos de deshidratación

Operación	Medio de deshidratación	Fuerza impulsora externa	Mecanismo de transferencia	Otras características	Variables de operación	Mecanismo principal de transferencia de calor
Secado por aire caliente	Aire a presión atmosférica	Diferencia en presión de vapor	Vapor y difusión de líquido. Capilaridad. Flujo hidrodinámico. Etc.	-	Medio: temperatura, velocidad, humedad relativa. Producto: espesor, geometría. Densidad	Interna: conducción Externa: convección
Secado al vacío	Vacío	Diferencia en presión de vapor	Líquido y/o difusión de vapor	Punto de ebullición dependiendo de las condiciones	Medio: presión, temperatura, humedad relativa Producto: espesor, geometría. Densidad	Interno: conducción Externo: radiación, conducción.
Vapor sobrecalentado (SSD)	Vapor sobrecalentado	Diferencia en vapor y presión	Difusión vapor	Ebullición interna Posible vacío	Medio: presión, temperatura Producto: espesor, geometría. Densidad.	Interna: conducción Externa: radiación, conducción.
Contacto secado	Calentamiento Solido	-	Vapor y/o difusión líquida	-	Medio: superficie de temperatura Producto: espesor. Densidad	Interna: conducción Externa: conducción
Liofilización	Vacío	Diferencia en vapor y presión	Difusión de vapor	Sublimación, temperaturas bajo cero	Medio: presión, temperatura Producto: espesor, geometría. Densidad	Interna: conducción Externa: radiación, conducción
Deshidratación osmótica	Solución osmótica	Diferencia en presión osmótica	Difusión líquido, flujo volumétrico	-	Medio: concentración, temperatura, velocidad. Producto: espesor, geometría.	Interno: conducción Externo: convección

Fuente: Ratti (2009)

2.6.2.1 Deshidratación Solar

Los países industrializados, debido a la producción a gran escala de alimentos deshidratados, emplean energías convencionales. La utilización de la radiación solar como fuente de energía para el deshidratado ha sido desplazada por las energías convencionales, sobre todo por su variabilidad diaria y estacional lo cual dificulta su control (Ibañez *et al.* 2004). Pero estas energías convencionales que generan y transfieren calor al producto, originan el consumo de combustibles y emisión de gases contaminantes. Una forma de evitarlo es continuar empleando energías alternativas y mejorar los sistemas de deshidratación; como es el caso de un secador solar de características integrales (Hernández *et al.* 2009).

Los deshidratadores solares se clasifican en:

- a) Deshidratadores directos de circulación natural (una combinación de cámara de captación y de deshidratación)
- b) Deshidratadores directos con sistema de captación de calor separado
- c) Deshidratadores indirectos de convección forzada (captador y cámara de deshidratación separados)

Secador Solar. Contiene una parrilla de captación solar, charola para resguardo de la parrilla, contenedor para depósito de producto, extractor de aire caliente y celda termoeléctrica para generación de energía eléctrica (Figura 2.1).

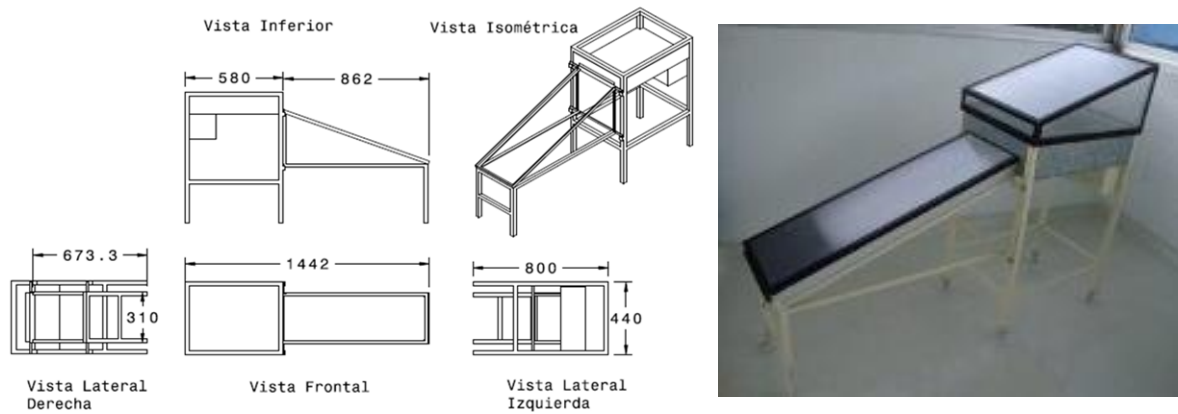


Figura 2.1 Secador Solar SSB-2008

2.6.2.2 Descompresión instantánea controlada (DIC)

Es una nueva tecnología de secado para alimentos que ha sido desarrollada en el Programa de Innovación del 4º Marco de Investigación Europea (IN206631). Es una tecnología respetuosa del medio ambiente que produce productos de alta calidad y ahorra dinero, tiempo y energía. Esta nueva tecnología es llamada proceso DIC por sus siglas en francés (*Détente Instantanée Contrôlée*). El DIC consiste en calentar el producto bajo presión por menos de un minuto a una temperatura por debajo de 200 °C, y abruptamente dejar caer la presión, causando un la caída brusca de presión adiabática provocando la auto-vaporización del líquido sobrecalentado contenida en el material, en estas condiciones se realiza un enfriamiento instantáneo y ocurre la hinchazón de la estructura e incluso la rotura de las paredes celulares (Allaf K *et al.* 1993). Los estudios iniciales realizados con este proceso muestran que la calidad del producto final es superior a aquellos productos obtenidos por métodos tradicionales de secado pero tan económicos como los productos tratados con aire caliente (Haddad *et al.* 2001; Ancos y Cano 2003). Debido a que el tratamiento de calentamiento es corto (menos de un minuto), los compuestos biológicos sensibles al calor podrían ser preservados mejor por la tecnología DIC, mejorando el color, sabor y las cualidades de salud y nutricionales de los vegetales deshidratados. El equipo DIC Se compone de un autoclave (1), un depósito bajo vacío (2), un anillo de agua de la bomba de vacío (3) y una trampa (4) (Figura 2.2). La autoclave se separa en 18 L del depósito de 1600 L por una

válvula de mariposa (V2) con un diámetro de 180 mm, esta válvula es impulsada neumáticamente. El vapor saturado (S1) se suministra a través de la válvula (V1) a la autoclave (Figura 2.2b). La doble camisa autoclave se calienta por vapor saturado (S2). La autoclave está equipada con un orificio de ventilación (V3). El depósito se enfría con agua del grifo (W1) que circulan en una doble cámara. La autoclave y el depósito están equipados con manómetros y transductores de presión. Varios termopares se montaron en la autoclave para las mediciones de temperatura de material tratado y vapor. El material tratado es encerrado en un recipiente de acero perforado con un diámetro de 175 mm.

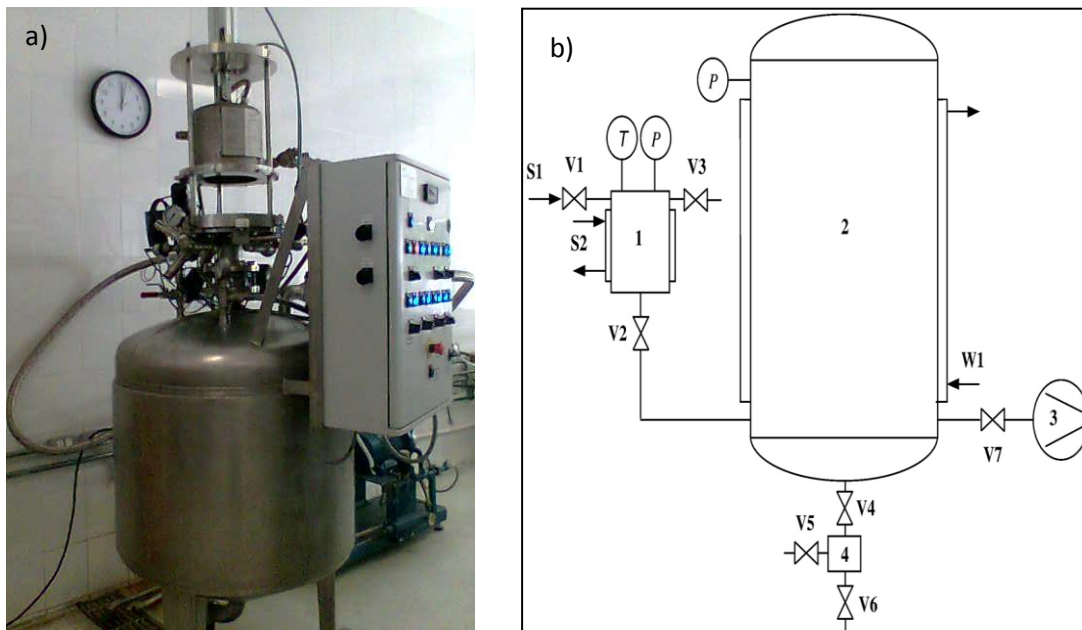


Figura 2.2. Deshidratador por descompresión instantánea controlada (DIC): a) Prototipo utilizado en este trabajo. b) Partes que componen el deshidratador DIC: 1- autoclave, 2- tanque de vacío, 3- bomba de vacío, 4- trampa, V1-V7 - válvulas, S1, S2 - vapor saturado W1 - agua fría P- manómetro T - termopar.

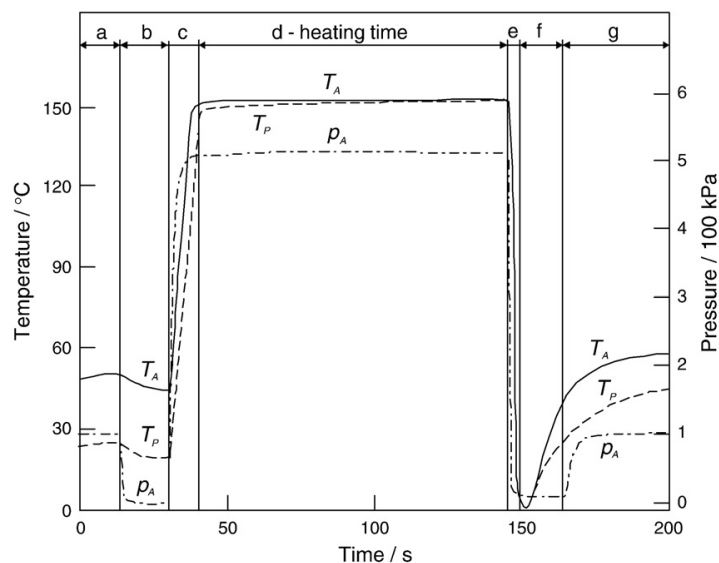


Figura 2.3 Temperatura y presión de vapor del equipo DIC. p_A presión en autoclave, T_A temperatura en autoclave, T_P temperatura del producto, (a) muestra a presión atmosférica (b) vacío inicial (c) inyección de vapor saturado hasta alcanzar la presión seleccionada (d) temperatura constante que corresponde a la presión del vapor saturado (e) caída de presión repentina hacia el vacío (f) vacío (g) liberación de presión atmosférica.

El DIC incluye varios pasos, los cuales se muestran en la figura 2.3. Una muestra se colocó en el autoclave a la presión atmosférica (a) y el autoclave se cerró. Por la apertura de la válvula (V2) se crea un vacío inicial (b), que hace que el material sea más accesible para el vapor. Después del cierre (V2), se inyectó en el autoclave (c) vapor de agua saturado, y se seleccionó una presión (0.4 a 0.7 MPa) y la temperatura correspondiente (14.6 -165 °C) se mantuvo manualmente durante el periodo de calentamiento (d) mediante la válvula (V1). Después de este período, se lleva a cabo una brusca caída de presión hacia un vacío (alrededor de -0.5 MPa/s) (e) inmediatamente se hizo una apertura rápida (menos de 0.2 s) de la válvula (V2). Esta caída brusca de presión adiabática provoca la auto-vaporización del líquido sobrecalentado contenido en el material, el enfriamiento instantáneo, realiza la hinchazón de la estructura e incluso se hace la rotura de las paredes celulares. El vacío se prolongó durante un tiempo corto (f). Finalmente, la presión atmosférica se restauró en el autoclave por el respiradero (V3) y el material fue recuperado (g). La presión en el depósito (2)

fue variada desde 1kPa hasta 4 kPa. Los parámetros de procesamiento fueron el tiempo de calentamiento del producto (d), la presión en la autoclave durante el periodo de calentamiento y el contenido de humedad.

2.6.2.3 Liofilización

La liofilización es un proceso de conservación de alimentos que mediante la sublimación utilizada se reducen pérdidas de componentes volátiles o termo sensibles. La liofilización no altera la estructura físico-química del material, pero permite su conservación indefinida sin cadena de frío, con menos del 15% de humedad y alta estabilidad microbiológica (Alvarado 1996). A diferencia de lo que ocurre en el secado por calor, con la liofilización el encogimiento es mínimo, el aspecto y la textura se mantienen como las características nutricionales (Charm 1981; Yanovsky 2003).

Cuando se deshidrata y utiliza congelación y vacío, el proceso se denomina liofilización (Alvarado 1996); cuando se trabaja en congelación sin uso de vacío, se denomina liofilización atmosférica (Ramírez y Cañizares 2003). Por lo que tenemos que la liofilización es un proceso de secado mediante sublimación que se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y del aroma en los alimentos, los cuales se afectan en gran medida durante los procesos convencionales de secado (Orrego 2004)

La liofilización involucra varias etapas:

- Congelación (y acondicionamiento en algunos casos) a bajas temperaturas.
- Secado por sublimación del hielo (o del solvente congelado) del producto congelado, generalmente a muy baja presión; se estudian dos etapas a saber: etapa primaria y secundaria de secado.
- Almacenamiento del producto seco en condiciones controladas. (Ramírez 2006).

En la figura 2.4 se muestra el diagrama de las anteriores etapas, mientras que en la figura 2.5 se observa el equipo Marca LABCONCO Mod. 75034 utilizado para la realización de esta tesis.

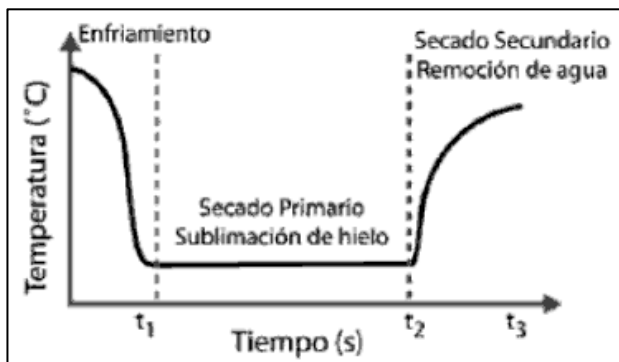


Figura 2.4 Pasos del proceso de liofilización



Figura 2.5 Liofilizador LABCONCO Mod. 75034 equipo utilizado en la realización de esta tesis.

2.7 Factores que intervienen en el proceso de secado

2.7.1 Temperatura

La temperatura influye en el tiempo y en la forma de deshidratación del producto; si se efectúa un incremento de la temperatura entonces se aumenta la difusividad del agua dentro del producto, acelerando el proceso. No se debe realizar un incremento excesivo de la temperatura porque se puede deteriorar la calidad del producto debido a que se presentan reacciones de pardeamiento, forman costras superficiales, gelatinización de los productos que presentan alto contenido de almidones y pérdidas de compuestos volátiles (Corpoica 2010).

Sin embargo, no solo las temperaturas altas se pueden utilizar para la deshidratación de los alimentos, también las bajas temperaturas congelando la cantidad de agua que tenga el producto. La incorporación de otro factor como la presión permite que se efectúe la sublimación del agua hasta su eliminación (Barreiro y Sandoval 2006).

2.7.2 El agua en los Alimentos

El contenido de agua en los alimentos es variado depende de qué tipo de alimento se esté analizando. La distribución de agua dentro del producto no es uniforme y dentro de los alimentos encontramos el agua ligada y el agua libre. El agua ligada es aquella porción de agua que no se congela en las condiciones normales de congelamiento a -20°C la condición de agua ligada se puede determinar mediante análisis térmico diferencial, por resonancia magnética nuclear, entre otros. También tenemos el agua libre la cual se considera que se volatiliza fácilmente, se pierde en el calentamiento y es la principal responsable de la actividad acuosa (Badui 1999).

El contenido de agua en los alimentos influye mucho en el procesamiento del producto debido a que si este es muy alto entonces el tiempo de procesamiento es más largo. El contenido de agua va a indicar que temperatura o proceso se puede utilizar.

2.7.3 Otros factores

Otros factores que intervienen en el proceso de secado dependen del tipo de secado que se quiere realizar, si es un secado por frío se puede hablar de la liofilización como ya se mencionó anteriormente; sin embargo, no solo las bajas temperaturas influyen en el secado sino la presión que es necesaria para realizarlo. En otras tecnologías como la DIC que también se utilizó en la presente tesis se necesita presión y vacío. En la deshidratación solar se requiere de un flujo de aire el cual depende del tipo de equipo que se utilice y de sus requerimientos de flujo de aire (Foust y Leonard 1997).

2.8 Cambios en la calidad de los alimentos por secado.

El secado y deshidratación genera impacto en las propiedades mecánicas, sensoriales y nutricionales de los productos alimenticios; esto se puede utilizar para crear nuevas funcionalidades (Kamst *et al.* 2002). El secado es una de las principales técnicas para preservar productos agrícolas y productos alimenticios y tiene lugar en el tratamiento de muchos productos, como la operación principal o como consecuencia de otros pasos del procesamiento. El calor y la masa son fenómenos de transferencia que están en cambio constante en el secado; también están presentes en algunos otros procesamientos de los alimentos; como son el cocinar, hornear, asar, refrigerar y congelar.

El principal objetivo del secado es disminuir la actividad de agua (a_w) de diversos materiales perecederos a valores de <0.5 , con el fin de permitir su almacenamiento a temperatura ambiente (Bonazzi y Dumoulin 2011). La importancia de a_w en el control de la vida útil de los alimentos es suprimir el crecimiento de microorganismos, mediante la reducción de las velocidades de las reacciones químicas, y por el deterioro enzimático inhibiendo el crecimiento microbiano. La actividad de agua es más importante para la estabilidad de un alimento que la cantidad total de agua presente, y hace posible el desarrollo de normas generalizadas o límites para la estabilidad de los alimentos. Para la mayoría de los alimentos, el punto crítico de la actividad de agua debe estar por debajo de 0.6 – 0.7 rango el cual ningún microorganismo puede crecer. La actividad de agua también es útil para predecir el contenido final de humedad en el equilibrio frente a las condiciones de secado (temperatura y humedad relativa), y para la selección de ingredientes y método de envasado (Bonazzi y Dumoulin 2011). Sin embargo, también se han identificado limitaciones en este concepto. La actividad de agua se define en el equilibrio, mientras que los alimentos con bajo contenido de humedad intermedio son más complicados para controlarlos ya que son más susceptibles a sufrir alguna contaminación. Los productos con más actividad de agua con el paso del tiempo sufren cambios que afectan la inocuidad de los productos; dichos cambios se observan en el estado físico y las

propiedades de evolución durante el almacenamiento, la composición y la actividad de agua puede cambiar con el tiempo (Bonazzi y Dumoulin 2011).

Muchas características físicas, tales como, cristalización, apelmazamiento, pegajosidad, colapso, la movilidad molecular y difusividad no se pueden explicar completamente con el concepto actividad de agua; ya que los tiempos de relajación también deben tomarse en consideración; además, el secado conduce a estructuras que generalmente difieren de las del producto húmedo inicial. Esto puede ser una desventaja, pero también puede ofrecer un nuevo beneficio; como por ejemplo, la estructura porosa de copos de puré de papa, granulados crujientes para cereales de desayuno, polvo de leche seca instantánea, y así sucesivamente. El proceso de secado, por tanto, también se considera como una operación controlada de la textura, una fuente de productos innovadores y fáciles de usar (Bonazzi y Dumoulin 2011).

En la industria alimentaria, el secado se aplica a muchos y diferentes tipos de productos como:

- Productos agrícolas con baja hidratación, como el secado complementario de estabilización (maíz, arroz, trigo, semillas de aceite, etc.).
- Productos agrícolas altamente hidratados, para reducción de peso y la estabilización, (leche y productos derivados, frutas y vegetales, plantas, hojas de té aromáticas y medicinales, carne, pescado, huevos, etc.).
- Los productos intermedios de los procesos industriales, para la estabilización y acondicionamiento (extractos de café y té, pastas, embutidos, azúcar, etc.).
- Subproductos industriales para la alimentación (pulpas de remolacha azucarera, pasó de granos para cerveza, carne o harina de pescado, suero de leche, etc.).

Los procesos previos como la deshidratación tienen muchos propósitos como:

- Extender la vida útil de los alimentos sin la necesidad de refrigeración.

- Reducir el peso y el volumen a granel, para ahorrar en el costo del transporte y el almacenamiento.
- Convertir los productos perecederos (excedente) a formas estables (por ejemplo, leche en polvo).
- Producir los ingredientes y aditivos para la transformación industrial (los llamados productos alimentarios intermedios (PAI), como las verduras para las sopas, las cebollas para las carnes cocidas, frutas para las tortas, agentes aglutinantes, agentes aromáticos, colorantes alimentarios, que forman gel y emulsión de proteínas, etc.).

En el contexto económico actual, el comercio y los consumidores imponen su demanda de la cadena de suministro, la disponibilidad, los hábitos y el valor nutritivo. Los alimentos secos deben ser procesados con el objetivo de mantener su calidad, como el sabor, la textura, la comodidad y funcionalidad, lo que aumenta su contenido nutricional, y la reducción de factores antinutricionales o toxinas. Con frecuencia, hay un foco extremo de procesamiento de alimentos en el mantenimiento de la bioactividad y la funcionalidad estructural del producto (Rahman 2005). Esta situación impone limitaciones en la industria alimentaria en relación con la producción y selección de materias primas; y la elección del equipo, dependiendo de los productos. Como un ejemplo, las máquinas expendedoras de bebidas calientes, debe entregar automáticamente polvos con fluidez constante y la composición debe tener buenas propiedades de dosificación, y buena solubilidad.

La calidad es una propiedad relativa y es, por lo tanto, importante para definir las propiedades esperadas de los consumidores.

2.8.1 Reacciones bioquímicas inducidas por el secado

Las altas temperaturas de secado y los diferentes procesamientos tienden a deteriorar la calidad de los productos alimenticios. Sin embargo, es más exacto decir que estos cambios en la calidad de los productos son por el tiempo y la temperatura correspondiente del procesamiento debido a que ambos parámetros

mejorar las velocidades de reacción, que también dependen fuertemente de la actividad de agua a_w de los productos (Bonazzi y Dumoulin 2011).

Muchas reacciones bioquímicas pueden ser inducida por el aumento de la temperatura en los alimentos como las reacciones de Maillard, la degradación de vitaminas, la oxidación de grasa, la desnaturalización de las proteínas térmicamente inestables, reacciones enzimáticas (que pueden ser promovidas o inhibidas) por mencionar algunas. Estas reacciones bioquímicas generan componentes adecuados, por ejemplo, por sus propiedades sensoriales (el desarrollo del sabor), otros pueden ser más o menos indeseables por razones de toxicidad potencial o nutricional (pérdida de vitaminas, los cambios en el color, sabor o aroma, la formación de compuestos tóxicos)). Todas las reacciones están vinculadas a la evolución simultánea del producto, contenido, composición, temperatura y agua, estos son los factores que varían de forma diferente a partir de un punto a otro, desde el centro a la superficie de los productos (Bonazzi y Dumoulin 2011).

La Vitamina C (ácido ascórbico) es un nutriente importante, que a menudo se toma como índice de la calidad de los nutrientes durante los procesos. El ácido ascórbico puede ser oxidado a ácido dehidroascórbico en condiciones aeróbicas, seguido por hidrólisis y oxidación adicional. Esta degradación se ve influenciada por la actividad del agua y la temperatura. En general, la vitamina C es relativamente baja después de un largo periodo de secado, incluso si el contenido que se reporta es bastante alto (en g kg^{-1} de producto) en los productos secos esto se debe a la evaporación del agua y el efecto de la concentración del mismo. Como regla general, cuanto mayor sea el período de secado (bajas temperaturas, humedad relativa alta, productos de espesor), menor es la retención de ácido ascórbico (Santos y Silva 2008). La liofilización proporciona una alta retención de la vitamina C, debido a las bajas temperaturas, la movilidad reducida de los reactivos, y la presión parcial de O_2 reducido. La retención de la vitamina C también se mejora por todos los procesos de secado bajo una atmósfera inerte, lo que reduce la presencia de O_2 .

El color es uno de los atributos más relevantes con respecto a la calidad de los alimentos secos, debido a que es parte de su aspecto visual y es, por lo tanto, la mayor parte del tiempo uno de los primeros criterios que los consumidores toman en cuenta al elegir un nuevo producto. El color puede cambiar durante el secado debido a las reacciones químicas y bioquímicas. Las tasas de tales reacciones, dependen fuertemente de los métodos de secado y los parámetros de procesamiento. El color de frutas, hortalizas, plantas aromáticas y especias se debe a la presencia de pigmentos (carotenoides, clorofilas, antocianos, betalainas) que son susceptibles a la degradación por reacciones enzimáticas o no enzimáticas, inducidas por secado y que continúan durante el almacenamiento (Marty- Audouin *et al.* 1992).

Las clorofilas son pigmentos verdes solubles en lípidos con las vías de degradación en los sistemas alimentarios que siguen siendo poco conocidos. La clorofila puede degradar al indeseable compuesto grismarrón como feoforbida o feofitina. La feoforbida puede ser metabolizada a compuestos incoloros en los tejidos metabólicamente activos. La formación de feofitina es inducida por los iones de calor y HTH. El paso inicial de la degradación de la clorofila en los alimentos procesados es una alteración del tejido, dando lugar a productos químicos, enzimáticos y cambios en la expresión de genes, que posiblemente, dan lugar a los productos del catabolismo de la clorofila (Heaton y Marangoni 1996).

Los carotenoides son pigmentos amarillos y naranjas liposolubles que se dividen en dos familias: los carotenos y xantofilas. Entre los carotenos puede ser citado α - y β -caroteno, que son los pigmentos más importantes en las zanahorias; y el licopeno, el elemento más importante en los jitomates. Los carotenoides son sensibles a la luz y la temperatura. La alta temperatura y el tiempo de procesamiento largo, ha demostrado el que tienen efectos sobre su degradación. β -caroteno provee no sólo color, sino también la capacidad antioxidante y algunos beneficios para la salud relacionados con su ingesta. Se puede degradar por la termo-oxidación, dando lugar a la formación de productos de bajo peso molecular incoloros, que genera pérdidas de color y los niveles de provitamina A,

así como el desarrollo de estudios de sabores. Sin embargo, otras condiciones de deshidratación pueden causar la degradación de los carotenoides, no sólo debido a las interacciones químicas, sino también a los daños físicos de los tejidos. El β -caroteno es oxidado por su exposición a la luz y oxígeno, y ha sido descrito como lábil a diferentes técnicas de secado (convección, el sol, vacío o liofilización (Soria *et al.* 2009).

El licopeno es un compuesto fenólico, casi exclusivamente en el jitomate, con actividad antioxidante, conocida por contribuir a reducir el riesgo de cáncer en los seres humanos. Al respecto Muratore *et al.* (2008) reportan el efecto de secado por convección en jitomate cherry semi-seco, en el cual midieron muestras no tratadas previamente, y el valor más alto de licopeno (con un contenido similar de reducción de agua de 25% del valor inicial) se encontró en jitomates deshidratados a la temperatura más alta (80°C, frente a 60 ó 40°C), lo que mostro que el licopeno se dañó por la duración del proceso de secado (4 h frente a 9 ó 29 h, respectivamente). En muestras tratadas previamente (por inmersión en una solución acuosa de ácido cítrico, sodio y cloruro de calcio), el contenido de licopeno se conserva a baja temperatura (40 °C), durante un periodo de 24 h, mientras que para otras temperaturas más altas este efecto fue menos aparente o ausente (Tsotsas y Mujumdar 2011).

La oxidación lipídica es responsable de la rancidez, el desarrollo de sabores desagradables, y la pérdida de vitaminas solubles en grasas y pigmentos en los alimentos deshidratados. La oxidación lipídica es iniciada por calor, luz, radicales libres, peróxidos, activado por iones metálicos, y la oxidación lipídica mejora a temperaturas más altas de deshidratación (Bonazzi y Dumoulin 2011). El contenido de humedad también juega un papel importante en la tasa de oxidación. En altos contenidos de humedad los lípidos pueden sufrir hidrólisis enzimática, lo que puede causar la formación de malos sabores como sabores jabonosos, dependiendo del tipo de lípidos; a una baja actividad de agua de $a_w < 0.2$, la auto-oxidación de ácidos grasos insaturados causa sabores como el de enranciamiento (Perera 2005). La porosidad del producto seco puede tener un

impacto sobre la concentración de oxígeno y se afecta por la susceptibilidad al oxígeno, por ejemplo, esto se presenta más en productos liofilizados. En todos los casos la protección de las grasas con antioxidantes (compuestos fenólicos como BHA o BHT y tocoferoles) es una solución eficaz. El vacío o en el envase de gas inerte es también una solución complementaria para la protección de la atmósfera de O₂ durante el almacenamiento posterior (Bonazzi y Dumoulin 2011).

La actividad enzimática en los productos alimenticios se inhibe cuando la a_w es <0.75. La mayor parte del tiempo, la actividad enzimática no es deseable, ya que afecta a la cantidad de nutrientes en los alimentos (por ejemplo, la hidrólisis de la lecitina por fosfolipasa) o el color de los productos (por ejemplo, el pardeamiento enzimático de frutas y verduras por polifenoloxidasas). Se puede reducir la actividad enzimática antes de secar por un tratamiento térmico corto (vapor de blanqueo), una sulfitación luz, una adición de ácido ascórbico, o una impregnación por inmersión en una sal concentrada y/o solución de azúcar (Bonazzi y Dumoulin 2011). El concepto y la composición de los envases son los factores principales para el mantenimiento de una atmósfera libre de oxígeno, la cual disminuye la oxidación que se pueda producir durante el almacenamiento. El mismo objetivo puede ser alcanzado en el caso de polvos por recubrimiento (es decir, con grasa o azúcar), o por la encapsulación de componentes reactivos o compuestos bioactivos, que están así protegidos de oxígeno, agua u otras condiciones con el fin de mejorar su estabilidad. Los diferentes tipos de agentes encapsulantes se puede utilizar para el secado por pulverización en la industria alimentaria: polisacáridos (almidones, maltodextrinas, jarabes de maíz y goma de Arábiga), lípidos (ácido esteárico, mono y diglicéridos), o proteínas (gelatina, caseína, suero de leche de soya y trigo) (Bonazzi y Dumoulin 2011).

2.8.2 Transformaciones físicas durante el secado

Se pueden mencionar diferentes fenómenos físicos como la pérdida de agua, cristalización, fusión de compuestos entre grasa y agua, y evaporación de compuestos volátiles; todos estos fenómenos son complejos, sin embargo, una

disminución en la actividad del agua disminuye la transferencia de agua, y por tanto, la velocidad de secado, aumentando el tiempo que el producto debe pasar a temperatura relativamente alta durante el cual se pueden desarrollar reacciones (Rocha Mier 1993). Los compuestos de aroma y sabor son sustancias químicas volátiles que se evaporan durante el secado debido al calentamiento del producto y la eliminación de agua. Sin embargo, ha sido ampliamente observado que la liberación de compuestos de aroma durante el secado es mucho menos de lo esperado si se considera sólo la volatilidad o presión de vapor de las moléculas.

Algunos alimentos deshidratados (por ejemplo, polvos secados por pulverización o -materiales liofilizados-) forman estructuras cristalinas, pero la mayoría de los alimentos deshidratados tradicionalmente (cereales, frutas, pescados y carnes, verduras, etc.) existen en el estado gomoso (Alves-Filho y Roos, 2006).

Por ejemplo, los productos de leche en polvo permanecen secos, de flujo libre y estable cuando se mantienen por debajo de la temperatura de transición vítrea. Sin embargo, si el polvo recoge la humedad de las temperaturas de almacenamiento, se puede superar la curva de transición vítrea y se vuelven menos estable (estado gomoso) (Bonazzi y Dumoulin 2011).

2.8.3 Transformaciones mecánicas inducidas por el secado

Las transformaciones físicas que pueden aparecer en los alimentos son diferentes, de acuerdo con los diferentes procesos de secado. Cuando la temperatura del producto es suficientemente alta y la presión de vapor es igual a la presión total del ambiente el secado es por ebullición. Por ejemplo, con un producto con a_w de 0.4 ó 0.3, la temperatura de ebullición será 114°C bajo 0,5 bar, y 137° C a presión atmosférica. El punto de temperatura de ebullición depende tanto de la presión ambiente como de la actividad del agua del producto.

La liofilización también conduce a una estructura porosa creada por sublimación de agua congelada, es decir, por eliminación de la humedad directa sin fusión del

estado líquido. La humedad normalmente se retira en dos etapas (Bonazzi y Dumoulin 2011):

- un secado primario, que se refiere a la eliminación de hielo por sublimación.
- un secado secundario, correspondiente a la desorción del descongelado restante agua.

La liofilización es un método de deshidratación que da productos finales de la más alta calidad en comparación con otros procesos. La ausencia de agua líquida y las bajas temperaturas requeridas durante el proceso, la mayoría de las velocidades de reacción dan un deterioro bajo, lo que da un producto final de calidad excelente (Bonazzi y Dumoulin 2011).

El estado sólido del agua durante la liofilización, tiene movimiento restringido en comparación con el agua líquida, protege la estructura primaria, y conserva la estructura original y la forma del alimento con una reducción de este alimento de manera mínima en el volumen. Se requiere de un riguroso control de transiciones de fase del estado de agua y de los sólidos durante la deshidratación y de sólidos secos durante el almacenamiento. El colapso de la estructura durante el procesamiento o almacenamientos es el resultado de pasar por encima de la temperatura de fusión del hielo o por encima de la temperatura de transición vítrea de la región seca del sólido, con el flujo subsiguiente debido a plastificación térmica o agua. El daño a la microestructura también ha sido observado en frutas y verduras liofilizadas, debido al proceso de congelación (Lewicki y Pawlak 2005).

Las consecuencias aparecerán como efectos mecánicos, y también como cambios en forma y estructura, especialmente si el producto es maleable (por ejemplo, frutas, verduras, carne). Estos cambios sólo desaparecen parcialmente durante la rehidratación, ya que la mayoría de los cambios físico-químicos que ocurren durante el secado, como la interrupción de la integridad celular, almidón de gelatinización o desnaturalización de las proteínas, no son reversibles. Otra

consecuencia importante de la contracción es la disminución de la capacidad de rehidratación los productos secos (Bonazzi y Dumoulin 2011).

El agrietamiento de la superficie es otro fenómeno que puede ocurrir durante el secado. La presencia de fisuras en la pasta o los granos disminuye la calidad y valor comercial, así como el rendimiento del proceso de secado. Esto sucede cuando la contracción no es uniforme durante el proceso de secado, dando lugar a la formación de tensiones desequilibradas y el fracaso del producto (Bonazzi y Dumoulin 2011). Para muchos materiales alimenticios, la fuerza de tracción es significativamente menor que la resistencia a la compresión, y resulta en fisuras causadas por un fallo de tracción dentro de la región del producto bajo tensión, que no siempre es la superficie (Kamst *et al.* 2002). Las tensiones altas son generalmente inducidas por el secado rápido a alta temperatura y baja humedad relativa. La humedad relativa creciente permite una reducción en la formación de grietas, incluso en el secado de alta temperaturas con altas tasas de secado.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las comunidades productoras de jitomate en el estado de Puebla se encuentran sujetas a los cambios tecnológicos y al incremento de la competencia en la producción y comercialización del fruto de jitomate lo que permite buscar alternativas de conservación incluso de comercialización, para poder darle al productor una herramienta más y que él pueda competir en diferentes mercados. En el proceso de conservación como es la deshidratación se debe buscar el proceso o tecnología donde se obtenga un buen resultado tanto físico como nutricional y que además sea beneficioso para el productor en cuestión económica. Por lo que en el presente trabajo se planteó estudiar la calidad del jitomate deshidratado en tres procesos de deshidratación, para conocer si los productos obtenidos resultaban inocuos, y con sus características nutrimentales y de componentes bioactivos propios.

IV. HIPÓTESIS

Los compuestos nutricionales (carbohidratos) y los compuestos bioactivos (Licopeno, Vitamina C y actividad antioxidante) de jitomate presentan cambios diferentes por efecto de los procesamientos de deshidratación.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Analizar en frutos de jitomate el efecto de la deshidratación solar, liofilización y descompresión instantánea controlada (DIC), con el propósito de conservar y/o mejorar su calidad en los compuestos nutricionales, bioactivos y características microbiológicas.

5.2 Objetivos Específicos

- ❖ Determinar la calidad microbiológica de los frutos deshidratados en los diferentes métodos de deshidratación, a través de la evaluación de coliformes totales, hongos y levaduras.
- ❖ Determinar las propiedades físico-químicas en frutos de jitomate frescos.
- ❖ Analizar el color de los frutos de jitomate deshidratados a través de los parámetros L, a y b.
- ❖ Evaluar los compuestos nutricionales (carbohidratos y minerales) y compuestos bioactivos (vitamina C, licopeno, compuesto fenólicos totales y actividad antioxidante) en los frutos deshidratados.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Selección de la región de estudio y toma de muestra

Se utilizaron jitomates procedentes de invernadero ubicado en el Municipio de Tetela de Ocampo, Puebla. Donde se encuentra la principal zona productora de jitomate en invernadero en el estado de Puebla. Esta zona cuenta con 80 productores y 20 hectáreas cultivados con jitomate en invernadero, cuyos sistemas de cultivo son fertirrigación e hidropónico. Se utilizaron frutos de jitomate tipo saladette, variedad "Rafaello", cultivados hasta madurez fisiológica, en un sistema de cultivo en fertirriego, que es el sistema más utilizado en la región. Se realizó un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra de 16 frutos de jitomate por cada tratamiento con un total de 64 frutos, cortados en madurez fisiológica que procedieron del segundo racimo de 16 plantas diferentes que se encuentren en la parte central del invernadero. Teniendo un total de 4 tratamientos.

6.2 Ensayos en frutos frescos

6.2.1 Propiedades físico-químicas

Las mediciones se realizaron en 10 mL de jugo extraído a partir de 10 g de fruto.

6.2.1.1 pH

El pH se determinó en un potenciómetro marca WPA modelo CD310, calibrado a dos puntos (4.0 y 7.0).

6.2.1.2 Acidez titulable

Se determinó por titulación con NaOH al 0.1 N hasta conseguir un pH de 8.1 en el jugo extraído a partir de 10 g de fruto, el resultado se expresó como equivalentes de ácido cítrico (%).

6.2.1.3 Sólidos solubles totales o grados Brix (°Bx)

Se realizó la lectura con un refractómetro ATAGO 3840 y se expresó en °Bx de sólidos solubles totales.

6.2.1.4 Color

Es una medida que sirve para determinar el grado de madurez de los frutos, pero además, para conocer la calidad del producto. El color depende en gran medida del contenido de licopeno y en menor medida del contenido de beta caroteno. Dentro de la medición de color se tienen 3 dimensiones dentro de las cuales se toman los parámetros de color con un colorímetro. Las dimensiones son: L= proporciona el valor de la luminosidad, los valores se encuentran de 0 a 100, donde los valores más pequeños representan negro y los altos al blanco. a = indica un rango de color de rojo a verde, los valores positivos son rojos, los negativos verdes y un cero da un valor neutro. b = indica una gama de color azul a amarillo, los valores positivos son azules y los valores negativos son amarillos, el cero da un valor neutro (HunterLab 2001). El color se evaluó con un colorímetro *colorflex* Mod.6405 en fruto entero en la superficie alrededor de la zona ecuatorial y en tres partes diferentes, considerando las coordenadas cromáticas, se determinaron tres mediciones por cada fruto de jitomate determinando los parámetros de L, a y b para poder determinar el índice de color mediante la ecuación: $IC = \frac{1000 \times a}{b \times L}$

6.2.1.5 Cuantificación de nutrientes minerales: Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Hierro (Fe)

Estas determinaciones se realizaron en el laboratorio de química de suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. La cuantificación para fósforo se llevó a cabo a través del método de digestión húmeda, con una mezcla de doble ácido compuesto por cuatro partes de H₂SO₄ y una parte de HClO₄ (Batey *et al.* 1974). Para tal efecto, se emplearon 5 mL de la mezcla ácida para cada 0.5 g de materia vegetal. Para favorecer la rápida digestión del material vegetal se

efectuó, una pre-digestión con 2 mL de peróxido de hidrógeno por cada muestra durante 12 horas antes del estudio.

Para la cuantificación de Potasio se empleó un fotómetro de flama Coleman modelo 21. Para Fósforo se utilizó el método del amarillo de molibdo-vanadato (Jackson, 1976). Finalmente, la cuantificación del Calcio fue por absorción atómica con 1 mL de cloruro de Lantano.

La extracción de Fe se llevó a cabo por agitación continua durante 2 horas con ácido dietil entriamino penta acético (DTPA 0.05M +CaCl₂ 0.01M + trieta nolamina 0.1M, a pH 7.3) (Lindsay y Norvell 1978). Al finalizar, los extractos se centrifugaron por 10 minutos a 2000 rpm y se filtraron, midiendo el elemento por espectrofotometría de absorción atómica.

6.3 Compuestos nutricionales

6.3.1 Azúcares Solubles Totales

La cuantificación de azúcares totales se realizó por el método espectrofotométrico de Antrona de acuerdo con Montreuil *et al.* (1997) con modificaciones para un micro-método. A 1g de tejido se adicionaron 5 mL de etanol al 80%, se colocaron en baño María a 70°C por 10 minutos, se repitió 3 veces este procedimiento, los extractos obtenidos se colectaron en un frasco y se llevaron a sequedad en una estufa de aire forzado a 50°C, finalmente el residuo seco se re-suspendió en 1 mL de agua destilada. Esta muestra del extracto se utilizó para la determinación de azúcares de forma inmediata o bien se congeló a -20° C, para su posterior análisis.

Para la determinación de azúcares solubles se realizaron diferentes diluciones (1:100, 1:50, 1:25) del extracto, con la finalidad de que la concentración quedara dentro de la curva de calibración realizada con glucosa. Para realizar el ensayo se tomaron 600 µL de las diluciones y se agregaron 600 µL de agua destilada, se adicionaron 3 mL de reactivo de antrona y se enfriaron los tubos en hielo por 5 minutos. Después los tubos se colocaron en baño maría en ebullición (80-100

°C) y se incubaron por 10 min, finalmente, los tubos se retiraron y se colocaron nuevamente en hielo por 5 min. La lectura de absorbancia a 625 nm se realizó en un espectrofotómetro UV/Visible (Evolution 300, Thermo Electron Corporation), utilizando glucosa como estándar para la curva de calibración en una gama de concentración de 0-250 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (Cuadro 6.1A, Figura 6.1A, ver Anexos). Los contenidos de azúcares se expresaron en $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de PF.

6.3.2 Cenizas

La determinación de cenizas es el análisis de residuos minerales que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento y se determinaron de acuerdo a la norma NMX-F-066-S-1978.

6.3.3 Fibra cruda

Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda. Se determinó de acuerdo a la norma NMX-F-090-S-1978.

6.4 Compuestos bioactivos

6.4.1 Vitamina C (ácido ascórbico)

Se realizó con el método enzimático de ascorbato oxidasa descrito por Foyer *et al.* (1983) con modificaciones basadas en el método de Kampfenkel *et al.* (1995). Para la determinación de ácido ascórbico, se tomaron muestras de 100 mg de fruto previamente congelado se maceraron en mortero con 1 mL de ácido perclórico (HClO_4) 1 M, el extracto se centrifugó a 17000 rpm por 10 min. Para neutralizar la muestra, a 500 μL del sobrenadante se le agregaron 100 μL del amortiguador de fosfato de sodio (120 mM) pH 7.6 y se ajustó el pH entre 4 y 5 con carbonato de potasio (K_2CO_2) 2.5 M. La mezcla neutralizada se centrifugó a 14000 rpm por 10 min. Para la cuantificación del ascorbato total, se tomaron 100 μL del sobrenadante de la mezcla neutralizada, 10 μL de DTT 50 mM y 140 μL del amortiguador de fosfato de sodio pH 7.6 (120 mM); la mezcla se dejó a temperatura ambiente en oscuridad durante 30 min. La mezcla de reacción

consistió de 200 μL de la solución anterior más 800 μL de amortiguador de fosfato de sodio con pH 5.6. Posteriormente la absorbancia se leyó a una longitud de onda de 265 nm antes y después de la adición de 20 μL de ascorbato oxidasa 0.05 U (se registra el decline hasta el final de la reacción) en un espectrofotómetro UV/Visible (Evolution 300, Thermo Electron Corporation). El blanco consistió de amortiguador de fosfato de sodio pH 5.6. La diferencia entre la absorbancia inicial (sin enzima) y la final (después de agregar la enzima) fue el equivalente del contenido de ácido ascórbico multiplicado por el coeficiente de extinción del ácido ascórbico ($12.8 \text{ mm}\cdot\text{cm}^{-1}$), los resultados se expresaron como $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ PF.

6.4.2 Contenido de Licopeno

La concentración de licopeno total se determinó espectrofotométricamente de acuerdo al método de Sadler *et al.* (1990) con modificaciones descritas por Wayne *et al.* (2002). Se necesita 1 g de jitomate con 1 mL de agua destilada, se mezclan haciendo un puré, se pesa nuevamente entre 0.4-0.6g de puré se le agregan 5 ml BHT al 5%, 3 ml de etanol y 10 ml de hexano. Posteriormente se colocaron los tubos en una cama de hielo y se agitaron durante 15 min a 180 rpm, posteriormente se le agregaron 3 ml de agua destilada y nuevamente se agito la mezcla por 15 min a 180 rpm. Se colocaron las muestras a temperatura ambiente por 5 min y se realizó la medición de absorbancia a 503nm.

6.4.3 Compuestos fenólicos totales (CFT)

Se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteau (Singleton *et al.* 1999) y se expresó como equivalentes de ácido gálico. Para la prueba, 50 mg de tejido se mezclaron en 1.5 mL de etanol al 95%, dejando reposar a -20°C durante 48h. Una vez macerado el extracto, se centrifugó a 13000 rpm por 10 min. Posteriormente 20 μL del sobrenadante se mezclaron con 1.58 mL de agua destilada y 100 μL de Folin al 50% (Sigma, St. Louis, MO). Después de 8 minutos se adicionaron 300 μL de Na_2CO_3 al 5%, se agitaron y se incubaron a 30 minutos

en oscuridad en baño maría a 40°C. Posteriormente la absorbancia se midió a 725 nm en un espectrofotómetro UV-visible. La curva de calibrado se realizó utilizando ácido gálico, 25 mg en 5 mL de etanol aforados a 50 mL con agua destilada (Cuadro 6.2A, Figura 6.2A, ver Anexos).

6.4.4 Actividad Antioxidante

Se evaluó la capacidad que tiene un posible antioxidante para neutralizar un radical (Antolovich *et al.* 2002). El compuesto 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) es un radical estable que presenta una intensa coloración violeta y que absorbe radiación a 517 nm, de forma que su concentración se puede determinar mediante métodos espectrofotométricos (Matsukawa *et al.* 1997). En el ensayo se determinó la concentración inicial de DPPH y, a la concentración resultante después de haberle añadido el posible antioxidante, de forma que una disminución de la absorción de radiación se traduce en una disminución de la concentración de DPPH debida a la cesión de electrones de la especie antioxidante.

La actividad antioxidante de las muestras se determinó mediante el cálculo de la concentración inhibitoria media (CI_{50}). Para lo cual se estableció una curva de regresión lineal con el fin de determinar la CI_{50} (mg/mL), que representa la cantidad de muestra necesaria para disminuir en 50% la absorbancia del DPPH. Los valores de CI_{50} indican la concentración de la muestra que se requiere para atrapar 50% de los radicales libres de DPPH. La baja absorbancia de la mezcla de reacción indica alta actividad antioxidante. Para este ensayo las muestras de jitomate deshidratado se procesaron a diferentes concentraciones, para lo cual se preparó un extracto metanólico de las muestras a diferentes concentraciones que fueron 75, 50, 25 y 12.5 mg/mL. Para realizar el ensayo se colocaron por triplicado en una placa de 96 pozos, 10 μ L de cada concentración y se agregaron 200 μ L de reactivo DPPH 0.1 mM. A la mezcla se les midió la cinética de reacción registrando la absorbancia (A_{517nm}) del DPPH con intervalos de 1 min, desde el tiempo cero ($DPPH_{T=0}$) hasta concluir los 30 min ($DPPH_{rem}$) en un Multiskan Ascent (Thermo Labsystem).

El porcentaje de inhibición se midió de la siguiente manera:

$$\% DPPH = \frac{(A \text{ blanco} - A \text{ muestra})}{A \text{ blanco}} \times 100$$

En donde A blanco es la absorbancia del testigo (DPPH 0.1mM); A muestra es la absorbancia obtenida de cada muestra después de 30 min con DPPH 0.1 mM. El porcentaje de inhibición del DPPH de la muestra fue graficado versus la concentración (r = 0.995).

6.5 Calidad microbiológica

6.5.1 Determinación de coliformes totales

Se realizaron en un medio de cultivo rojo bilis, con la técnica de vertido en placa, con tres diluciones. Bajo la Norma Oficial Mexicana (NOM-113-SSA1-1994).

6.5.2 Bacterias mesófilas aerobias

Se realizó en un medio de cultivo cuenta estándar, con 6 diluciones y por el método de vertido en placa. Siguiendo la Norma Oficial Mexicana (NOM-092-SSA1-1994).

6.5.3 Determinación de Hongos y levaduras

Se empleó el método de vertido en placa con un medio de cultivo agar papa dextrosa. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-111-SSA-1994).

6.6 Preparación de la muestra para la deshidratación

A los frutos provenientes del invernadero se les realizó un lavado, desinfectado y corte de los frutos de jitomate en la siguiente forma:

- El lavado y desinfección del fruto, se llevó a cabo con agua potable y una solución yodada durante un minuto.
- El corte se realizó en rodajas de un centímetro de espesor procurando uniformidad en el espesor para obtener un deshidratado uniforme.

6.6.1 Deshidratación

6.6.1.1 Deshidratación Solar

Deshidratación: Una vez preparados los frutos para la deshidratación se colocaron dentro de la charola del secador solar registrando la temperatura y la humedad relativa del ambiente con un dataloger HOB0 Mod. H08-004-002.

Paralelamente se monitoreo la Actividad de agua (A_w) en el producto deshidratado obtenido, de acuerdo a lo reportado por Candelas *et al.* (2005). Además se registró el porcentaje (%) de humedad en las muestras deshidratadas, con el propósito de obtener un producto uniforme en él % de humedad final.

6.6.1.2 Deshidratación por Descompresión instantánea controlada(DIC)

Para procesar los frutos con esta tecnología, las muestras previamente fueron deshidratadas en el deshidratador solar dejando las muestras con un porcentaje de 12% humedad. Posteriormente se realizó el deshidratado con un equipo de tecnología DIC monitoreando las condiciones del proceso, presión y tiempo. Esto se realizó bajo pruebas previas con dicho equipo y tomando diversos rangos de tiempo y presión tanto bajos como muy altos, y visualmente se determinó que el tratamiento de 2.5 Mpa de presión y 25 s de tiempo daba la mejor respuesta, con esto se determinaron los 13 tratamientos que se realizaron por medio de esta tecnología para posteriormente poder realizar un modelaje de superficie de respuesta y así analizar los datos para esta tecnología. Dichos tratamientos se muestran en el Cuadro 6.1

6.6.1.3 Deshidratación por liofilización.

Después del muestreo y preparación de las muestras se colocó en tubos Falcon de 30 ml y se sometieron a congelación a -80°C de los frutos se realizó el lavado y desinfectado de los mismos y se llevaron a congelación a -80°C en bolsas ziploc para evitar su contaminación, el fruto previamente picado se colocó en tubos falcón de 30 mL cada uno para el procesamiento de deshidratación por liofilización que se realizó en un equipo LABCONCO Mod. 75034. Las condiciones

de este proceso fueron las siguientes: 0.26 bar de presión, -80° C de temperatura y 400 min de procesamiento.

Cuadro 6.1 Tratamientos establecidos para Descompresión Instantánea Controlada (DIC)

No	Presión (bar)	Tiempo (min)
1	2.5	0.41
2	4	0.41
3	2.5	0.66
4	2.5	0.41
5	3.6	0.60
6	3.6	0.23
7	2.5	0.41
8	1.4	0.23
9	1.4	0.60
10	2.5	0.41
11	1	0.41
12	2.5	0.16
13	2.5	0.41

6.7 Ensayos en fruto deshidratado

6.7.1 Propiedades físico-químicas

6.7.1.1 Color

Se realizó la determinación del color con el equipo descrito en el apartado 6.2.1.4, con 1g de fruto deshidratado previamente molido y tamizado con una malla de 1 micra para la estandarización de la muestra. Con dicho fruto molido se tomaron tres mediciones por cada fruto de jitomate deshidratado determinando los parámetros de L, a y b para poder determinar el índice de color mediante la ecuación:

$$IC = \frac{1000 \times a}{b \times L}$$

6.7.2 Compuestos nutricionales

6.7.2.1 Azúcares Solubles Totales

La cuantificación de azúcares totales se realizó por el método de Antrona mencionado en el apartado cuantificación de azúcares totales mencionado en el apartado **6.3.1**

6.7.3 Compuestos bioactivos

6.7.3.1 Vitamina C (ácido ascórbico)

Se realizó con el método enzimático de ascorbato oxidasa descrito en el apartado **6.4.1**

6.7.3.2 Contenido de Licopeno

Se determinó espectrofotométricamente de acuerdo al descrito en el apartado **6.4.2**

6.7.3.3 Compuestos fenólicos totales

Se determinó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton et al. 1999) descrito en el apartado **6.4.3**

6.7.3.4 Actividad Antioxidante

Se determinó según se describe en el apartado **6.4.4**

6.8 Determinaciones microbiológicas en frutos deshidratados

Se realizó una cuenta total estándar en placa de coliformes totales, levaduras y hongo y bacterias mesófilas aerobias tomando un control en fruto fresco y frutos deshidratados por los tres procesos de deshidratación.

6.8.1 Coliformes Totales

Se realizó en un medio de cultivo rojo bilis, con la técnica de vertido en placa, con tres diluciones. Bajo la NOM-113-SSA1-1994.

6.8.2 Bacterias mesófilas aerobias

Se realizó en un medio de cultivo cuenta estándar, con 6 diluciones y por el método de vertido en placa. Siguiendo la NOM-092-SSA1-1994.

6.8.3 Hongos y levaduras.

Se empleó el método de vertido en placa con un medio de cultivo agar papa dextrosa. De acuerdo a la NOM-111-SSA-1994.

6.9 Diseño experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar debido a que los diferentes tratamientos de deshidratación se distribuyeron en forma aleatoria. De esta manera, el diseño consideró la variación registrada entre el número de observaciones por tratamiento, como error experimental. Este diseño se aplicó debido a que las unidades experimentales fueron homogéneas. No se utilizó el diseño experimental de bloques al azar por que no se trabajó con gradientes o fuentes de variación (Montgomery 2004).

6.10 Análisis Estadístico

Los datos cuantitativos con una distribución normal y varianzas homogéneas obtenidos por los tres tipos de deshidratación fueron capturados y revisados en bases de datos, organizadas en hojas de cálculo Excel versión 2010 (Microsoft Excel 2010) y procesados en el paquete estadístico Statistiscal Analysis System (SAS) versión 9.1 (SAS Institute, 2002). A estos datos se les realizo un análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de diferencia significativa honesta (prueba de medias) Tukey.

Se realizaron dos análisis estadísticos para los diferentes tipos de deshidratación de frutos de jitomate: 1) análisis del efecto de las diferentes presiones de los tratamientos de deshidratación (DIC, deshidratador solar y liofilización) (Cuadro 6.2). 2) análisis de las variables o respuestas de los diferentes tratamientos de deshidratación. Se evaluaron tres diferentes tipos de deshidratación, tres repeticiones y seis variables, lo que originó 54 muestras.

6.11 Análisis numérico

Una de las interpretaciones prácticas de la diversidad de los datos cuantitativos es realizar agrupaciones similares con base en la descripción de características estables (Herrera Cabrera *et al.*, 2000), como se realiza en la taxonomía numérica lo cual es un “agrupamiento por métodos numéricos de unidades taxonómicas dentro de grupos taxonómicos con base en sus caracteres” (Sneath y Sokal 1973).

Los resultados de agrupamiento y distribución de los diferentes tratamientos, de las diversas presiones de los diferentes tipos de deshidratación realizados a los frutos de jitomate, fueron presentados utilizando componentes principales y análisis de agrupamiento, basados en medias de colecta a través de tratamientos para los 6 caracteres. La información se arregló en una matriz 45x6, cuyas filas correspondieron a las muestras y las columnas a los caracteres.

Cuadro 6.2 Valores experimentales de las condiciones de corrida de las tecnologías utilizadas para la deshidratación de jitomate.

Tratamiento	Presión (bar)	Tiempo (min)
DIC		
1	2.5	0.41
2	4.0	0.41
3	2.5	0.66
4	2.5	0.41
5	3.6	0.60
6	3.6	0.23
7	2.5	0.41
8	1.4	0.23
9	1.4	0.60
10	2.5	0.41
11	1.0	0.41
12	2.5	0.16
13	2.5	0.41
Deshidratación Solar	1.0	633
Liofilización	0.26	400

El análisis multivariado se realizó mediante: componentes principales (PCA) y conglomerados (CLUSTER) (Sneath y Sokal 1973) con distancia euclidiana y ligamento promedio como medida de distancia y método de agrupamiento, con ayuda del paquete estadístico SAS V 9.1 (SAS, 2002; Herrera *et al.*, 2004).

Para el análisis de la tecnología DIC únicamente se realizó un modelaje de superficie de respuesta tomando en cuenta los 13 diferentes tratamientos mencionados anteriormente (Cuadro 6.1) y tomando las 5 variables de respuesta que se evaluaron. Esta metodología se utiliza comúnmente para el diseño experimental (Rezzoug *et al.* 2000; Varnalis *et al.* 2004). El software utilizado para la designación experimental y el tratamiento de los datos fue Statgraphics centurión versión 15.2.1.1.

VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aun cuando los procesos de deshidratación no son excesivamente complejos, se debe cuidar que el sabor, olor, apariencia, inocuidad y valor nutritivo del producto final sea lo más semejante al producto fresco para que llegue a tener una buena aceptación por el consumidor. Por lo que en el presente trabajo se realizó un estudio en el que se analizó en frutos de jitomate el proceso de deshidratación solar, descompresión instantánea controlada (DIC) y liofilización con el propósito de mantener y/o mejorar su calidad, microbiológica y nutricional, destacando su conservación y presencia de biocomponentes. En los siguientes apartados se analizarán los efectos que tuvieron los procesos de deshidratación en el jitomate deshidratado en los aspectos de inocuidad, color, componentes nutricionales y componentes bioactivos.

7.1 Fruto Fresco

7.1.1 Propiedades físico-químicas

Las propiedades físico-químicas del fruto fresco de jitomate se muestran en el cuadro 7.1. El valor de pH promedio fue de 4.52, el cual se encuentra dentro de los valores reportados en esta especie que van desde 4 a 4.8 (Nuez 1995; Jones *et al.* 1991; Renquist y Reid 1998).

La acidez titulable expresada como equivalentes de ácido cítrico (% p/v) tuvo un valor mayor al que se menciona en otros trabajos para la misma especie (Luna 2011), lo cual se pudo deber a condiciones diferentes de fertilización o uso de otro abono orgánico. El contenido de sólidos solubles totales fue más bajo que el reportado en otros trabajos (Binoy *et al.* 2004), en donde los valores oscilan entre 5 y 7 °Brix. El índice de color (IC) del jitomate fresco tuvo un valor (24.56) similar al reportado (28.46) por Zapata *et al.* (2007) en frutos de madurez fisiológica. En el contenido de minerales Fosforo (P), Calcio (Ca) y Hierro (Fe) muestran valores similares a los indicados por otros autores en fruto fresco de jitomate (Olaniyi *et al.* 2010), sin embargo, en este estudio el contenido de Potasio (K) fue notablemente más alto, probablemente debido al tipo de fertilización utilizado

durante el cultivo por fertirriego. La presencia de cenizas tuvo un valor más bajo al reportado por la FAO (2006), mientras que el contenido de fibra mostro un valor similar al que se señala en otros trabajos en donde se reportan valores de 0.7 a 0.8% (Samaila *et al.* 2011).

Cuadro 7.1 Propiedades físico-químicas en fruto fresco de jitomate

Propiedad	
Humedad (%)	96
pH	4.52
Acidez(% Ac. cítrico)	1.14
Sólidos solubles totales (°Brix)	3.9
Color (IC)	24.56
L	38.33
a	26.44
b	28.08
Minerales:	
P (%)	0.26
K (%)	5.50
Ca (%)	0.14
Fe (mg·Kg ⁻¹)	36
Cenizas (%)	0.37
Fibra (%)	0.85

7.1.2 Composición nutricional y compuestos bioactivos

Dentro de las propiedades nutricionales del jitomate tipo saladette variedad “Rafaello” evaluado en madurez fisiológica en cultivo con fertirrigación, el contenido de azúcares solubles totales tuvo un valor similar (1.22%) (Cuadro 7.2) al reportado en el mismo estado de madurez en la variedad “Reserva” (1.11%) cultivado en invernadero en fertirriego en la misma región de estudio (Luna 2011). En relación con el contenido de licopeno se detectó un valor bajo en

relación con el rango (0.31 y 4.3 g·100g⁻¹pf) que reportan Fernández *et al.* (2007). Se sabe que el contenido de licopeno depende principalmente de la especie, variedad analizada y grado de madurez o inclusive el método analítico empleado para el análisis; por ejemplo, al comparar el contenido de licopeno (0.3 g·100 g⁻¹pf) con el reportado (0.001 g·100 g⁻¹pf) por García *et al.* (2007), el valor descrito en este trabajo se considera alto. La cantidad de ácido ascórbico del jitomate fresco en estado de madurez fisiológica encontrada fue considerablemente mayor a la reportado en la literatura, donde se citan valores entre 0.0067 g·100g⁻¹pf (García *et al.*2007) y 0.023 g·100g⁻¹(Nuez *et al.* 2001) en el mismo estado de madurez.

Cuadro 7.2 Componentes nutricionales y bioactivos de jitomate fresco

Propiedad	Contenido
Azúcares solubles totales (%)	1.22±1.78
Licopeno (g·100g ⁻¹ pf)	0.3±2.42
Compuestos fenólicos totales (g·100 g ⁻¹ pf)	0.2 ± 0.79
Ácido ascórbico (g·100 g ⁻¹ pf)	0.5 ± 2.76
Capacidad antioxidante (% inhibición del radical DPPH)	81.01 ± 5.33
Cl ₅₀ (mg·mL ⁻¹)*	783.70 ± 26.02

*Expresados en peso fresco

* Concentración 2g·mL⁻¹ para él % inhibición mg·mL⁻¹

Pineda *et al.* (1999) señalan que la mayor parte de la actividad antioxidante en jitomates frescos es debida al contenido de vitamina C, carotenoides (licopeno) y diferentes polifenoles, siendo el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos los principales contribuyentes de la actividad antioxidante en el extracto acuoso del jitomate. Mientras que Martínez *et al.* (2000) mencionan que para los vegetales como el jitomate, en algunas frutas e incluso en vinos los principales compuestos fenólicos con gran actividad antioxidante son los flavonoides y los ácidos fenólicos, su potencial antioxidante es dependiente del número y de la posición de los grupos hidroxilos y de su conjugación, así como de la presencia de

electrones donadores en el anillo estructural formando radicales intermedios relativamente estables (Kurkoski *et al.* 2004).

7.1.3 Análisis microbiológico

Los acuerdos sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF), además de las normas de la organización mundial de la salud (OMS) se consideran de particular importancia para la producción de alimentos seguros y para protección del consumidor (Forsythe 2000). Por lo que es trascendente tomar en cuenta estas medidas desde la producción del alimento en el campo hasta que llega al consumidor. De tal forma que en años recientes también se han tratado de desarrollar nuevas medidas de higiene durante la producción de alimentos procesados.

En la producción de jitomate se encuentran especies identificadas en frutos como *Enterobacter* (*E. aerogenes*, *E. cloacae* y *E. agglomerans*), y específicamente ciertos microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Escherichiacoli* y *Salmonella* que se asocian con múltiples brotes de enfermedades gastrointestinales (Escartin 2002; Beuchat 2002; Harris *et al.* 2003; Smith y Fratamico 2005; Orozco *et al.* 2008; Berger *et al.* 2010). Estos microorganismos pueden sobrevivir y/o crecer dependiendo de las condiciones ambientales y de almacenamiento prevalecientes durante las etapas de pre y post cosecha de vegetales (Guo *et al.* 2002; Suslow 2002; Iturriaga *et al.* 2007; Orozco *et al.* 2008). Dickinson (1986) y Berger *et al.* (2010) mencionan que los microorganismos epifitos y microflora nativa presentes en la planta se influyen por las condiciones ambientales de su cultivo hasta la cosecha entre ellas la humedad, la temperatura y la radiación ultravioleta. De acuerdo con Escartin (2000) los microorganismos nativos que habitan en los vegetales crudos, presentan una mayor resistencia a las condiciones ambientales así como a los agentes químicos, en comparación con las bacterias intestinales patógenas. Esto se debe a la capacidad de adaptación de los microorganismos nativos frente a las condiciones de estrés, en comparación con la conseguida por los microorganismos de la flora patógena (Luna 2011). En este trabajo los resultados

microbiológicos que se obtuvieron muestran valores adecuados, inclusive en el fruto fresco (Cuadro 7.3), en el que la inocuidad está dentro de las especificaciones necesarias para su consumo, aun cuando el fruto mismo tiene una micro biota presente conformada por microorganismos nativos y patógenos sobre la superficie o parte interna del fruto, como lo señalan Luna *et al.* (2012), quienes describen la presencia de bacterias como *Escherichiacoli* (ETEC y EPEC), *Shigellaboydii*, *Enterobactercloacae*, *Citrobactrfreundii* y *C. brakiien* en frutos de jitomate maduros cultivados en invernaderos con fertirriego, en condiciones similares en las que se cultivaron los frutos de jitomate analizados en este estudio.

En el cuadro 7.3 se muestran los recuentos de las unidades formadoras de colonias para bacterias mesófilas aerobias, hongos y levaduras y coliformes totales los cuales específicamente para los frutos procesados por los métodos de deshidratación se presentaron sin conteo (s/c). Con excepción del fruto procesado por deshidratación solar que aun cuando mostro un valor de <10 ufc/g es menor al reportado por Monsalve y Machado (2007) con un valor de 2.7×10^3 ufc/g, lo que sugiere que cumple con las especificaciones necesarias para ser apta para tratamiento de secado acorde con el Instituto Nacional de Nutrición de Venezuela, ya que en México no existe regulación para este tipo de alimentos procesados.

Cuadro 7.3 Análisis microbiológicos de frutos de jitomate fresco y procesado.

Organismos Indicadores				
Tratamiento	BMA (ufc/g)	H y L (g)	CT (ufc/g)	CT (nmp/g)
FF	40 000	8 500	280	<3
DS	< 10	S/C	S/C	S/C
DIC	S/C	S/C	S/C	S/C
LIO	S/C	S/C	S/C	S/C

Tipo de Organismos; BMA: Bacterias Mesófilas Aerobias; HyL: Hongos y Levaduras; CT: Coliformes Totales (ufc/g); CT: Coliformes Totales (nmp/g). Tipo de muestra: FF: Fruto Fresco, DS: Deshidratación Solar, DIC: Descompresión instantánea controlada LIO: Liofilización. S/C: Sin conteo

7.2 Frutos Deshidratados

7.2.1 Determinación de color

La determinación del color se realizó en un colorímetro *colorflex Mod. 6405*, con 1g de fruto deshidratado previamente molido y tamizado con una malla de 1 micra tamiz número 8 para la estandarización de la muestra. Por cada fruto de jitomate deshidratado de la muestra molida que se obtuvo se realizaron tres mediciones, determinando los parámetros de L, a y b para poder establecer el índice de color mediante la ecuación: $IC = \frac{1000 \times a}{b \times L}$

Adicionalmente se tomaron fotos que se ilustran en el cuadro 7.4, en estas imágenes se detectan visualmente diferencias entre los tratamientos de deshidratación. Se observa que al procesamiento de liofilización así como los tratamientos de DIC de 2.5 bar/0.41 min y de 2.5 bar/0.16 min muestran valores hacia una tonalidad más roja, debido al valor de “a” que indica un rango de color de rojo a verde, los valores positivos son rojos, los negativos verdes y cero da un valor neutro (Hunter Lab 2001). Se sabe que durante la deshidratación, el incremento en el tiempo de secado y en la temperatura provoca un oscurecimiento en los tejidos (Olorunda *et al.* 1990), un incremento en la luminosidad (L) y una disminución en el color rojo (a/b) después del secado con aire. Lo cual tuvo un efecto similar en los resultados de este trabajo, ya que la proporción a/b disminuyó en la mayoría de los tratamientos, excepto en el tratamiento del DIC I11 que tuvo un valor de 1.19, que fue 26% mayor al del fruto fresco, y en el DS que tuvo la proporción de a/b más cercana (0.98) al del fruto fresco (0.94) (Cuadro 7.4). Dentro de los frutos procesados por la tecnología DIC

el I8 fue el tratamiento que tuvo el color y valor de a/b (0.87) más cercano al del fruto. Al respecto Arias *et al.* (2000) mencionan que la concentración de licopeno tiene una correlación directa con el color del fruto y en términos de parámetros de color, existe una asociación directa entre los valores de los parámetros a, a/b y $(a/b)^2$ con el contenido de licopeno. Por lo que los frutos procesados por deshidratación es conveniente que conserven el color, lo más cercano posible a los frutos frescos, como una indicación de la conservación del contenido de licopeno.

Cuadro 7.4 Parámetros de color de jitomate en los diferentes tratamientos de deshidratación.

FRUTO FRESCO	DESHIDRATADO SOLAR	LIOFILIZADO	1. 2.5 bar/0.41 min.
 <p>L=38.33 a=26.44 b=28.08</p>	 <p>L=26.657 a=16.027 b=16.317</p>	 <p>L=46.447 a=20.150 b=27.090</p>	 <p>L=34.910 a=17.010 b=22.960</p>
<p>2. 4.0 bar/0.41 min.</p>  <p>L=26.960 a=13.430 b=16.550</p>	<p>3. 2.5 bar/0.66 min.</p>  <p>L=34.920 a=17.390 b=23.740</p>	<p>4. 2.5 bar/0.41 min.</p>  <p>L=35.040 a=18.110 b=23.870</p>	<p>5. 3.6 bar/0.60 min.</p>  <p>L=27.430 a=12.740 b=15.790</p>
<p>6. 3.6 bar/0.23 min.</p>  <p>L=37.780 a=18.420 b=28.140</p>	<p>7. 2.5 bar/0.41 min</p>  <p>L=49.990 a=19.770 b=29.490</p>	<p>8. 1.4 bar/0.23 min.</p>  <p>L=29.930 a=16.600 b=19.120</p>	<p>9. 1.4 bar/0.60 min.</p>  <p>L=31.870 a=16.500 b=21.220</p>
<p>10. 2.5 bar/0.41 min.</p>  <p>L=28.120 a=15.120 b=18.440</p>	<p>11. 1 bar/0.41 min.</p>  <p>L=26.230 a=18.150 b=15.150</p>	<p>12. 2.5 bar/0.16 min.</p>  <p>L=38.240 a=20.260 b=27.710</p>	<p>13. 2.5 bar/0.41 min.</p>  <p>L=28.770 a=15.670 b=19.980</p>

El índice de color (IC) en los tratamientos por tecnología DIC, particularmente en I2, I5, I8, I9, I10 y I13, tuvo valores en un rango de (24.4 – 30.0) cercanos al del fruto fresco (24.6). En contraste la deshidratación solar tuvo un IC (36.8) casi 50 % mayor que el del fruto fresco y la deshidratación por liofilización tuvo una reducción del 35 % en su IC (Figura 7.1).

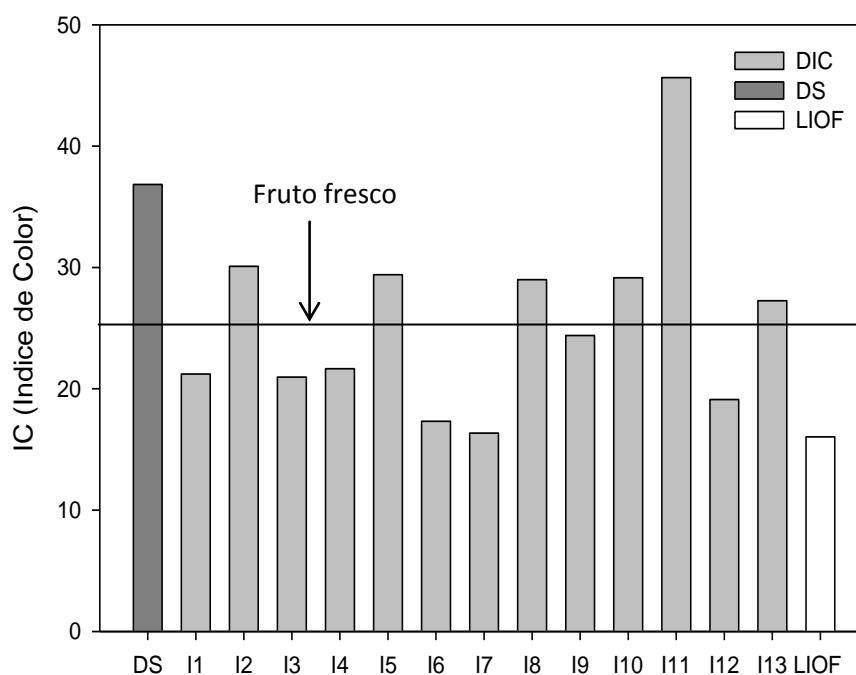


Figura 7.1 Índice de color de jitomates deshidratados. Tratamientos DIC: I1=2.5 bar/0.41 min; I2=4.0 bar/0.41 min; I3=2.5 bar/0.66 min; I4=2.5 bar/0.41 min; I5=3.6 bar/0.60 min; I6=3.6 bar/0.23 min; I7=2.5 bar/0.41 min; I8=1.4 bar/0.23 min; I9= 1.4 bar/0.60 min; I10 2.5 bar/0.41 min; I11 1 bar/0.41 min; I12 2.5 bar/0.16 min; I13 2.5 bar/0.41 min; DS = Deshidratación Solar. LIOF = Liofilización

7.2.2 Compuestos nutricionales y compuestos bioactivos

Los compuestos nutricionales y bioactivos obtenidos del jitomate presentan características antioxidantes, determinadas por los compuestos bioactivos, como licopeno, β -caroteno, vitamina C (Leonardi *et al.* 2000). De los productos derivados de esta especie, los frutos deshidratados muestran un interés especial debido a que algunos compuestos bioactivos como ácido ascórbico y compuestos fenólicos

encontrados en su composición se encuentran en altas cantidades (Giovanelli *et al.* 1999). Como se observa en el cuadro 7.5 se detectó un efecto altamente significativo $P < 0.0001$ por los diferentes tipos de tratamientos de deshidratación para contenido de licopeno, ácido ascórbico y Cl_{50} . En el tratamiento DIC, las presiones que se utilizaron en los procesos de deshidratación presentaron alta significancia para todas las respuestas excepto en ácido ascórbico. En este mismo tratamiento el tiempo de duración de los procedimientos mostro alta significancia en compuestos fenólicos totales y Cl_{50} .

Los coeficientes de variación mostraron valores altos para ácido ascórbico ya que en los procedimientos con presiones altas que corresponden a los tratamientos con deshidratación DIC no muestran presencia de ácido ascórbico por lo que las diferencias entre estos valores son muy grandes. En el contenido de compuestos fenólicos totales muestra una gran diferencia de este contenido para los distintos tratamientos que se realizaron (Cuadro 7.5).

Cuadro 7.5 Compuestos nutricionales y compuestos bioactivos de jitomates deshidratados.

Variable	Media	Coeficiente de Variación	Cuadrados medios			
			Tratamiento	Pres (Tempe)	Tiempo	Error
Azúcares solubles totales (mg·100g⁻¹ MS)	0.0126	22.769	0.00000136	0.0000737***	0.0000338*	0.00000835
Contenido de licopeno (mg·100g⁻¹ MS)	0.008	15.225	0.00021371***	0.0001055***	0.00000754*	0.00000171
Compuestos fenólicos totales (mg·100g⁻¹ MS)	0.055	30.072	0.0002185	0.0191***	0.012***	0.0002784
Vitamina C (mg·100g⁻¹ MS)	0.000014	56.161	5.2064956E-8***	0	0	5.929E-11
Capacidad Antioxidante (% inhibición del radica DPPH)	68.578	22.124	1346.935*	3205.441***	1682.053*	230.216
Cl₅₀ (mg·mL⁻¹)	33.14	7.0183	839.409***	1266.207***	162.512***	5.409

***P<0.0001 altamente significativo

*P<0.05 significativo

7.2.3 Componentes químicos

En el cuadro 7.6 se presentan los valores promedio de componentes químicos, compuestos bioactivos y antioxidantes de las diferentes presiones utilizadas en los tratamientos de frutos deshidratados de jitomate. Las diferencias entre estas presiones resultaron altamente significativas para todas las respuestas. En el contenido de azúcares totales, los tratamientos que tuvieron los valores más altos fueron los que se procesaron a una presión de 3.6 y 4.0 bar, correspondientes al tratamiento de deshidratación por descompresión instantánea controlada (DIC).

Respecto al contenido de licopeno, el tratamiento de deshidratación solar y el tratamiento DIC a una presión de 4 bar tuvieron los valores estadísticamente mayores, a pesar de que el tratamiento de deshidratación solar requirió el mayor tiempo para la deshidratación. Respecto al contenido de compuestos fenólicos totales y el Cl_{50} , el tratamiento DIC a una presión de 4 bar muestra los valores más altos (Cuadro 7.6). Mientras que el contenido de ácido ascórbico se vio afectado en los tratamientos del proceso DIC, ya que no se detectó su presencia en ninguno de los tratamientos. La capacidad antioxidante se mantuvo con el valor más alto en los frutos tratados con la deshidratación solar (Cuadro 7.6).

Cuadro 7.6 Promedios de los tratamientos por las diferentes presiones utilizadas en la deshidratación de jitomates.

Presión (bar)	Azúcares Solubles Totales g · 100g ⁻¹ MS	Licopeno g · 100g ⁻¹ MS	Compuestos Fenólicos Totales g · 100g ⁻¹ MS	Vitamina C g · 100g ⁻¹ MS	Actividad Antioxidante (% inhibición del radical DPPH)	CI ₅₀ (mg·mL ⁻¹)
DIC						
4.0	0.016 a	0.015 a	0.200 a	ND	79.53 c	12.25 a
3.6	0.017 a	0.009 cd	0.062 b	ND	87.86 b	17.72 b
2.5	0.012 bc	0.005 d	0.049 b	ND	73.12 d	30.49 c
1.4	0.0095 d	0.005 d	0.012 c	ND	45.07 f	45.11 d
1.0	0.0099 d	0.012 b	0.032 bc	ND	21.96 g	55.18 e
Solar						
1.0	0.0119 c	0.018 a	0.043 b	0.00019 a	94.0 a	64 f
Liofilizado						
0.26	0.0123 bc	0.013 b	0.056 b	0.0000123 b	54.63 e	55.76 e
DMS	0.0017	0.0026	0.0329	0.000000515	8.43	4.77

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ($P \leq 0.05$). ND= no detectado.

7.3.1 Contenido de azúcares solubles totales

El proceso de deshidratación DIC mostro el contenido más alto de azúcares solubles totales bajo la condición de 3.6 bar de presión y 0.23 min de tiempo (I6), con un valor de $0.0229 \text{ g}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$ (figura 7.2). Le siguió el proceso de liofilización con un contenido de azúcares de $0.0123 \text{ g}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$, y al final la deshidratación solar con $0.0118\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$.

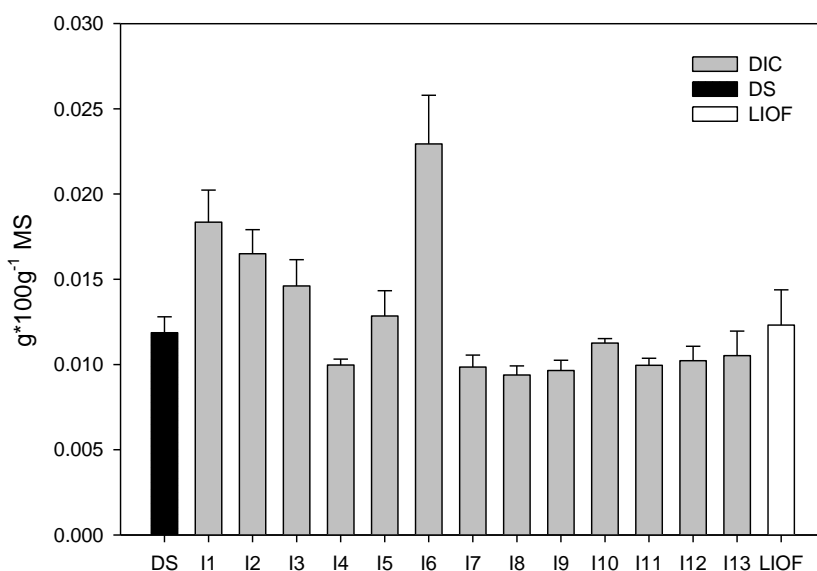


Figura 7.2 Contenido de azúcares solubles totales para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1). LIOF = Liofilización. DMS <0.001

7.3.2 Contenido de licopeno

El proceso térmico para muchos compuestos bioactivos se refleja negativamente, pero muchos carotenoides (licopeno, α -y β -caroteno) son muy termoestables (Hadley *et al.* 2002). Los tratamientos a los que se sometieron los frutos de jitomate presentan diferentes contenidos de este antioxidante mostrando un contenido mayor de licopeno $0.018 \text{ g}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$ en los frutos procesados en el deshidratador solar (Figura 7.3), lo que sugiere que es un buen tratamiento para preservar el contenido de este compuesto, como lo menciona Palomo *et al.* (2010), para jitomates tratados por

deshidratación por convección el contenido de licopeno aumenta a diferentes temperaturas de secado (40, 80 y 120°C). No obstante el tratamiento I2 que corresponde a la deshidratación DIC bajo las condiciones de 0.4 bar / 0.41 min tuvo 0.015 g·100g⁻¹ MS, y es el segundo procesamiento de deshidratación que favorece este compuesto; sin embargo, son valores menores a los reportados por Gómez (2009) quien menciona valores de 0.025 g·100 g⁻¹ TS.

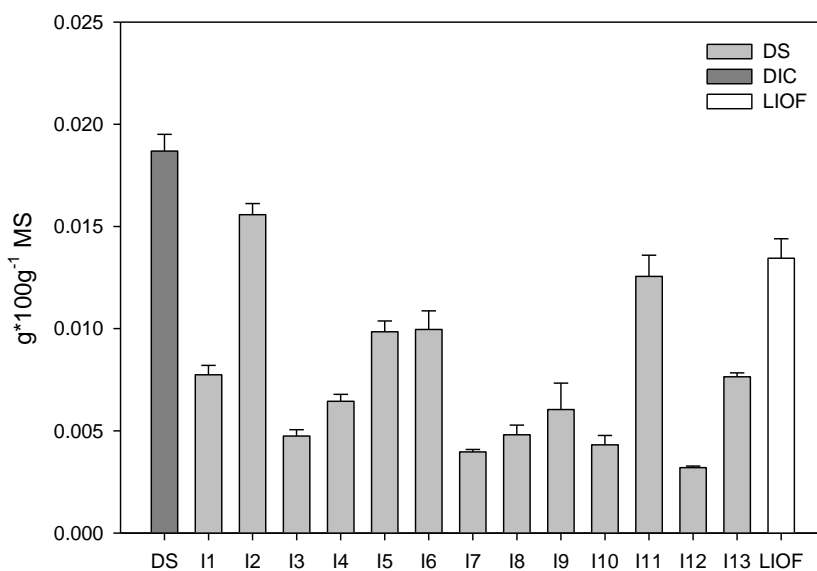


Figura 7.3 Contenido de Licopeno para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1). LIOF = Liofilización. DMS <0.001

7.3.3 Compuestos Fenólicos Totales

En el contenido de compuestos fenólicos totales el tratamiento que mejor conservo estos compuestos, fue el procesamiento por deshidratación DIC tratamiento I2 (4 bar de presión y 0.41 min) con 0.200 g·100g⁻¹ MS (figura 7.4), incluso los tratamientos I1, I3 y I5 con esta misma tecnología empleada fueron superiores a los valores obtenidos en los procesamientos de deshidratación solar (0.043g·100g⁻¹ MS) y por liofilización (0.056 g·100g⁻¹ MS).

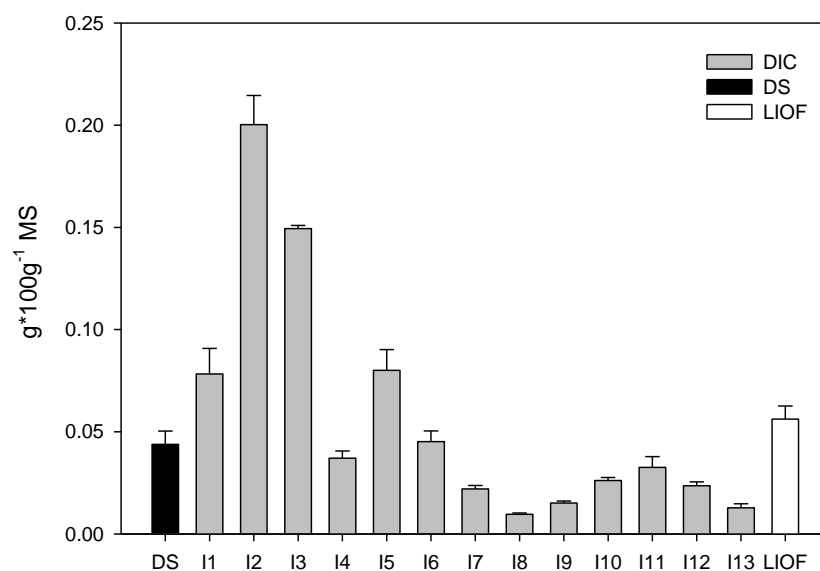


Figura 7.4 Contenido de compuestos fenólicos totales para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1) LIOF = Liofilización. DMS <0.001

7.3.4 Actividad Antioxidante (% inhibición del radical DPPH)

La actividad antioxidante de una mezcla se expresa no solo por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes, sino también depende del microambiente en que se encuentra el compuesto. Los compuestos interactúan entre si pudiendo producirse efectos sinérgicos o inhibitorios. Por otra parte, es necesario considerar que los ensayos *in vivo* pueden presentar algunos inconvenientes, como la adaptabilidad en respuesta al aumento del estrés oxidativo (Rice *et al.* 1996; Prior 1999; Robards *et al.* 1999). Alternativamente, diversos compuestos cromógenos (ABTS, DPPH, DMPD, DMPO y FRAP) son utilizados para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos que contienen los frutos para captar los radicales libres generados, operando así en contra los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación, que implican a especies reactivas de oxígeno (EROS) (Arnous *et al.* 2002).

Los métodos más aplicados son ABTS y DPPH (Prior 1999; Arnao 2002; Antolovich *et al.* 2002). Ambos presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones, aunque

también muestran diferencias. El DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS tiene que ser generado tras una reacción que puede ser química (dióxido de manganeso, persulfato de potasio, ABAP) (Arnao 2002). En la presente investigación se realizó por medio del radical DPPH.

La deshidratación solar mostro los frutos con la actividad antioxidante más alta (94.88%); y continuo con la deshidratación por descompresión instantánea controlada (DIC), que aún bajo diferentes condiciones en la mayoría de los tratamientos la inhibición llego a 90%. Excepto los tratamientos I8, I10, I11 y I12 en los cuales la inhibición no llego 50% (Figura 7.5).

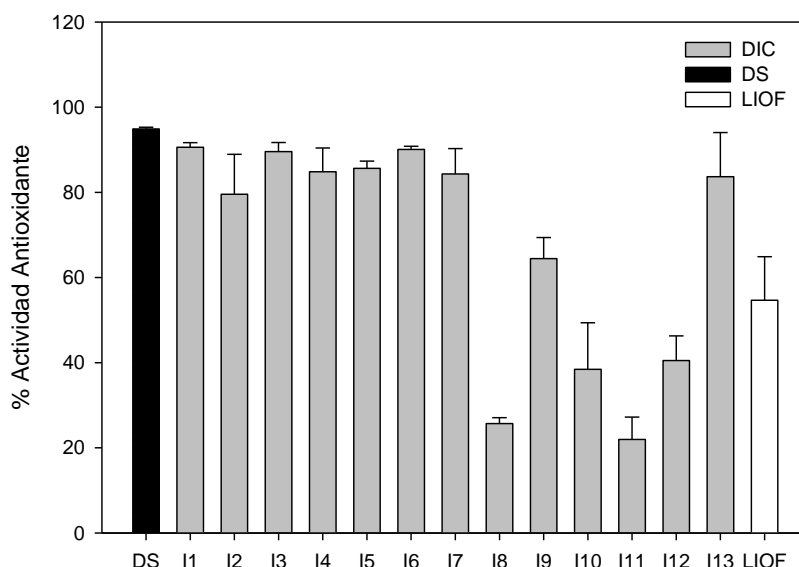


Figura 7.5 Actividad antioxidante para frutos de jitomate deshidratados. DS = Deshidratación solar; I1 al I13 = tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 7.1). LIOF = Liofilización. DMS <0.001

7.3.4.1 Capacidad inhibitoria o concentración media inhibitoria (CI₅₀)

La capacidad inhibitoria al 50% (CI₅₀) mide la efectividad de un compuesto para inhibir una actividad biológica y/o bioquímica (Joshi *et al.* 2010). En el trabajo se midió de los extractos de todos los tratamientos de jitomate deshidratado, la concentración necesaria para disminuir en un 50% la concentración inicial del radical DPPH, tomando en cuenta que un CI₅₀ bajo está asociado con una actividad antioxidante

alta (Zhu *et al.* 2011). En este trabajo el tratamiento DIC I2 (4 bar/0.41min) fue el que tuvo la mejor concentración media inhibitoria (11.01mg·mL⁻¹), mientras que el procesamiento de deshidratación por liofilización tuvo el valor más alto (54.83 mg·mL⁻¹) (Cuadro 7.7).

Cuadro 7.7 CI₅₀ de la actividad antioxidante de los frutos deshidratados de jitomate

Tratamiento		Compuestos Fenólicos Totales g·100 g ⁻¹ MS	Actividad antioxidante (%)	CI ₅₀ (mg·mL ⁻¹)
DIC	I1	0.0783	90.5732	30.40
	I2	0.2003	79.5346	11.01
	I3	0.1494	89.5542	16.38
	I4	0.0371	84.8180	30.01
	I5	0.0801	85.6294	12.60
	I6	0.0452	90.0826	18.37
	I7	0.0221	84.3085	29.65
	I8	0.0097	25.7001	43.94
	I9	0.0151	64.4390	41.70
	I10	0.0262	38.4181	25.05
	I11	0.0326	21.9640	49.38
	I12	0.0236	40.4749	34.25
	I13	0.0128	83.6670	30.73
Deshidratación solar		0.0438	94.8797	30.04
Liofilización		0.0562	54.6336	54.83

También se detectó el CI₅₀ en los tratamientos procesados por DIC tuvieron una relación directa y positiva ($r^2= 0.6875$) con el contenido de compuestos fenólicos totales (Figura 7.6) y con el contenido de licopeno ($r^2= 0.73142$) (Figura 7.7), lo que sugiere que la actividad antioxidante en estos tratamientos se debió particularmente a estos compuestos bioactivos.

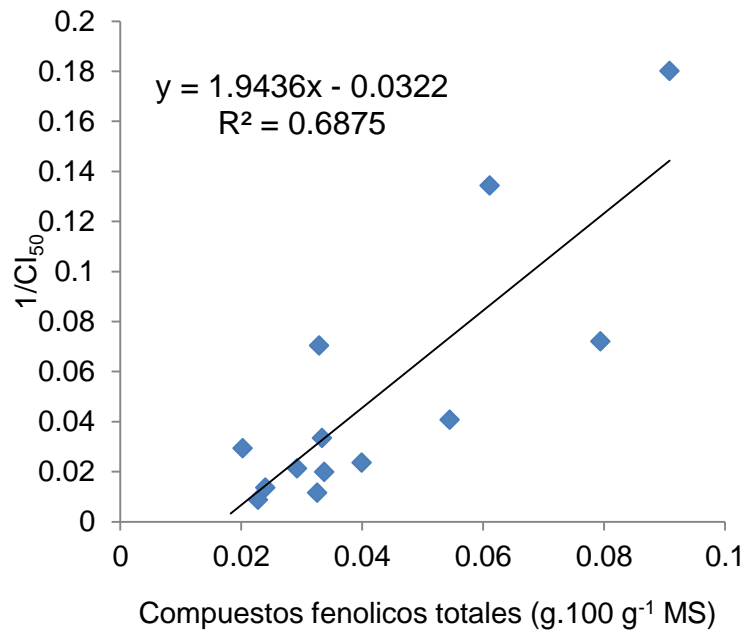


Figura 7.6 Correlación de $1/CI_{50}$ con el contenido de compuestos fenólicos totales de los tratamientos procesados por descompresión instantánea controlada (DIC).

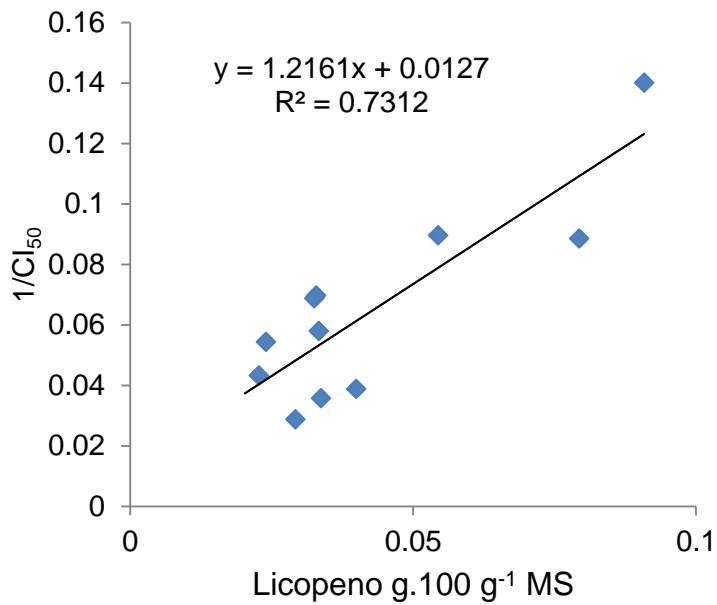


Figura 7.7 Correlación de $1/CI_{50}$ con el contenido de licopeno de los tratamientos procesados por descompresión instantánea controlada (DIC).

7.3.5 Contenido de Vitamina C (Ácido Ascórbico)

El jitomate también ha despertado interés por ser una buena fuente de vitaminas C, E y polifenoles (Lenucci *et al.* 2006). Por lo que en la presente investigación se consideró evaluar su contenido en los diferentes procesos de deshidratación que se realizaron. La deshidratación solar muestra una mejor respuesta para conservar la vitamina C (Cuadro 7.10), a pesar de requerir un periodo largo de tiempo para lograr la deshidratación. Mientras que en todos los tratamientos de la deshidratación de descompresión instantánea controlada (DIC), se pierde totalmente el contenido de ácido ascórbico (Cuadro 7.7), debido a que además del periodo de secado, las altas temperaturas y humedad relativa, propician una menor retención del ácido ascórbico (Santos y Silva 2008). La liofilización proporciona una alta retención de la vitamina C, debido a las bajas temperaturas, a la movilidad reducida de los reactivos y a la presión parcial de O₂ reducida. La retención de la vitamina C también se mejora por todos los procesos de secado bajo una atmósfera inerte, que reduce la presencia de O₂. Sin embargo, en este trabajo la deshidratación solar muestra mejor respuesta que la liofilización (Cuadro 7.8).

Cuadro 7.8 Contenido de ácido ascórbico en jitomate deshidratado.

Procesamiento	Vitamina C (mg·100g ⁻¹ MS)
Deshidratación solar (DS)	87.65
Liofilización (LIOF)	37.53
Descompresión instantánea controlada (DIC)	0

7.3.6 Contenido de Minerales

El método de deshidratación por DIC en todos los tratamientos conservaron mejor el contenido de fosforo, con valores que variaron entre 0.17 y 0.35 % (Cuadro 7.9, Figura 7.1A-a, ver anexos). El potasio se conservó mejor en los frutos deshidratados por DIC en los tratamientos I1, I4 y I13 que se procesaron con una presión de 2.5 bar en 0.41 min, y mantuvieron porcentajes entre 7.75 y 9.25. (Cuadro 7.9) El contenido

de calcio (Figura 7.1A-c) y hierro (Figura 7.1A-d) se conservaron mejor en los frutos deshidratados por liofilización y por el tratamiento DIC I1 (2.5 bar y 0.41 min) (Cuadro 7.9).

Cuadro 7.9 Contenido de minerales en frutos de jitomate deshidratados por el método por descompresión instantánea controlada (DIC), solar y liofilización.

Método de deshidratación	Mineral			
	P %	K %	Ca %	Fe mg kg ⁻¹
DIC				
I1	0.35	8.75	0.14	63
I2	0.27	6.75	0.07	59
I3	0.21	5.00	0.05	30
I4	0.25	9.25	0.09	46
I5	0.21	5.25	0.06	25
I6	0.24	6.00	0.07	31
I7	0.17	5.50	0.12	51
I8	0.17	6.75	0.13	59
I9	0.18	6.00	0.12	51
I10	0.25	7.00	0.10	40
I11	0.27	6.75	0.10	56
I12	0.28	6.75	0.08	40
I13	0.31	7.75	0.09	36
Solar	0.12	6.00	0.12	47
Liofilización	0.15	7.25	0.14	74

7.3 Análisis por componentes principales y conglomerados

7.3.1 Distribución de la Variación

La dispersión de las seis variables obtenidas para los frutos de jitomate deshidratado representadas en el espacio determinado por los tres primeros componentes principales, explicaron en conjunto 97% de la variación global acumulada para los diferentes tipos de deshidratación estudiadas (Cuadro 7.10). El primer componente principal (CP1), explicó 60% de la variación global y estuvo determinado principalmente por la capacidad antioxidante, los azúcares solubles totales y CI₅₀

(Cuadro 7.10). El segundo componente principal (CP2) expuso 28% de la variación global y estuvo determinado por el licopeno y el ácido ascórbico (Cuadro 7.10). Mientras que el componente principal 3 (CP3) expuso 7.9% de la variación global y se definió principalmente por los compuestos fenólicos totales (Cuadro 7.10).

14 Cuadro 7.10 Valores propios y proporción acumulada de la variación explicada para cada variable en las tres primeras dimensiones de las seis variables obtenidas para jitomate deshidratado.

Variable	Componente Principal (CP)		
	CP1	CP2	CP3
Licopeno	0.105	0.739	-0.068
Compuestos Fenólicos Totales	0.411	0.298	-0.675
Actividad Antioxidante	0.484	-0.018	0.501
Cl₅₀	-0.505	0.127	0.067
Azúcares Solubles Totales	0.484	0.106	0.388
Ácido Ascórbico	-0.308	0.580	0.364
Auto valor	3.637	1.730	0.472
Proporción	0.606	0.288	0.079
Acumulada	0.606	0.895	0.973

De acuerdo con la distribución espacial de los tres primeros componentes principales, se distinguieron tres grupos de datos dentro de las variables que se obtuvieron de respuesta de jitomates procesados por los tres diferentes tipos de deshidratación (Figura 7.8). La distribución de las variables con base al CP1 ubico a los tratamientos con mayor contenido de Cl₅₀, azúcares solubles totales y la capacidad antioxidante en el lado positivo del eje (Grupos I y II), mientras que las variables de bajo valor se ubicó en el lado negativo del grupo II. El componente CP2 concentro en el cuadrante positivo una mayor concentración de licopeno y ácido ascórbico (Grupo II), de acuerdo al CP3, la variable de compuestos fenólicos totales con mayor proporción y valores positivos altos de CP1 se agrupa el eje positivo (Grupo I) (Figura 7.8).

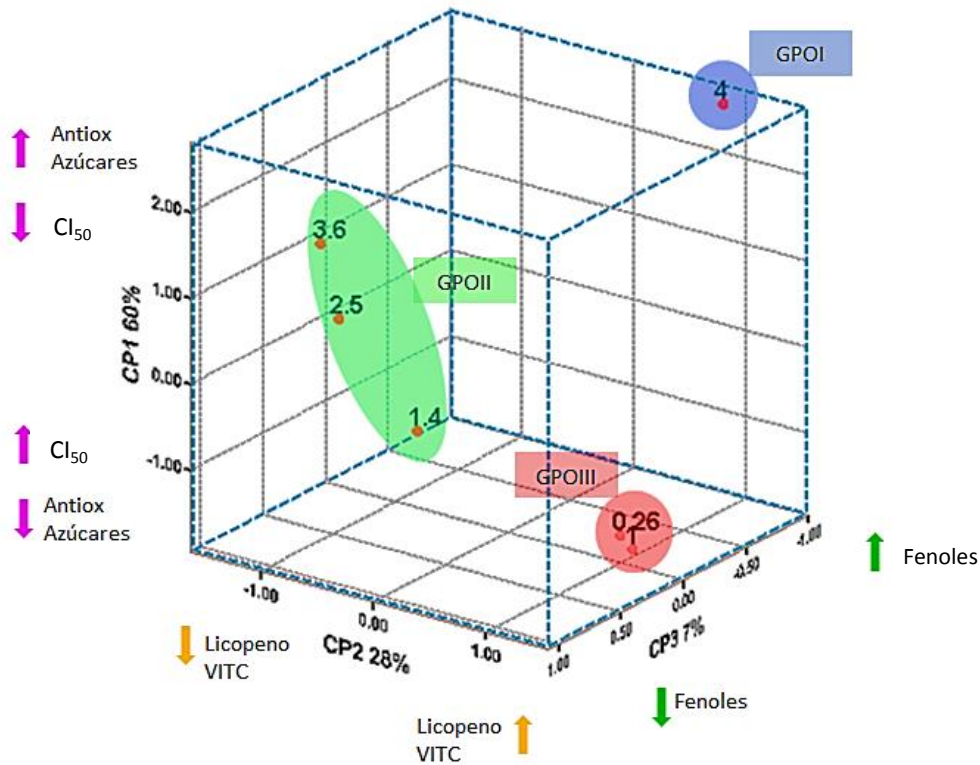


Figura 7.8 Dispersión de las variables obtenidas de los jitomates deshidratados, con base en los tres primeros componentes principales del análisis de las 6 variables de presión agrupadas por medias de los tratamientos.

7.3.2 Agrupamiento de la variación

Por medio de análisis de conglomerados se apreció en las diferentes presiones de procesamientos de frutos deshidratados, un patrón de agrupamiento similar al observado mediante el análisis de componentes principales. Se detecta que a una distancia euclidiana de 1.3 se definieron dos grandes grupos de diferentes presiones de acuerdo con el grado de participación de contenido de compuestos fenólicos totales. El Grupo I incluyó el tratamiento con una presión de 4 bar y el mayor contenido de compuestos fenólicos totales. El Grupo II reunió las presiones de 1.4, 2.5 y 3.6 bar con participación de capacidad antioxidante, Cl₅₀ y azúcares solubles totales (Figura 7.8). A una distancia de 1.2, el grupo con mayor participación de licopeno y ácido ascórbico (2), se separó en dos bloques: (3) muestras con menor contenido de licopeno y ácido ascórbico con presiones de 3.6, 2.5 y 1.4 bar, y (4) con mayor contenido de los mismos pero con presiones de 1 y 0.26. Esto a su vez, en cada uno de los bloques anteriores se subdividió en dos grupos a una distancia de

1.1. El Grupo III presenta la mayor CI_{50} , actividad antioxidante y azúcares solubles totales destacando la presión de 3.6, se subdividió en dos grupos (5) y (6). En una distancia de 0.8 el bloque (6) se subdivide en 2 grupos (7) y (8) con presión de 2.5 y 1.4 bar respectivamente y el bloque 4 a una distancia de 0.4 se subdivide en dos grupos (9) y (10) con presiones de 1 y 0.26 bar. De manera que a una distancia euclidiana de 1.1 en el dendograma de la figura 7.9, se identificaron 3 grupos.

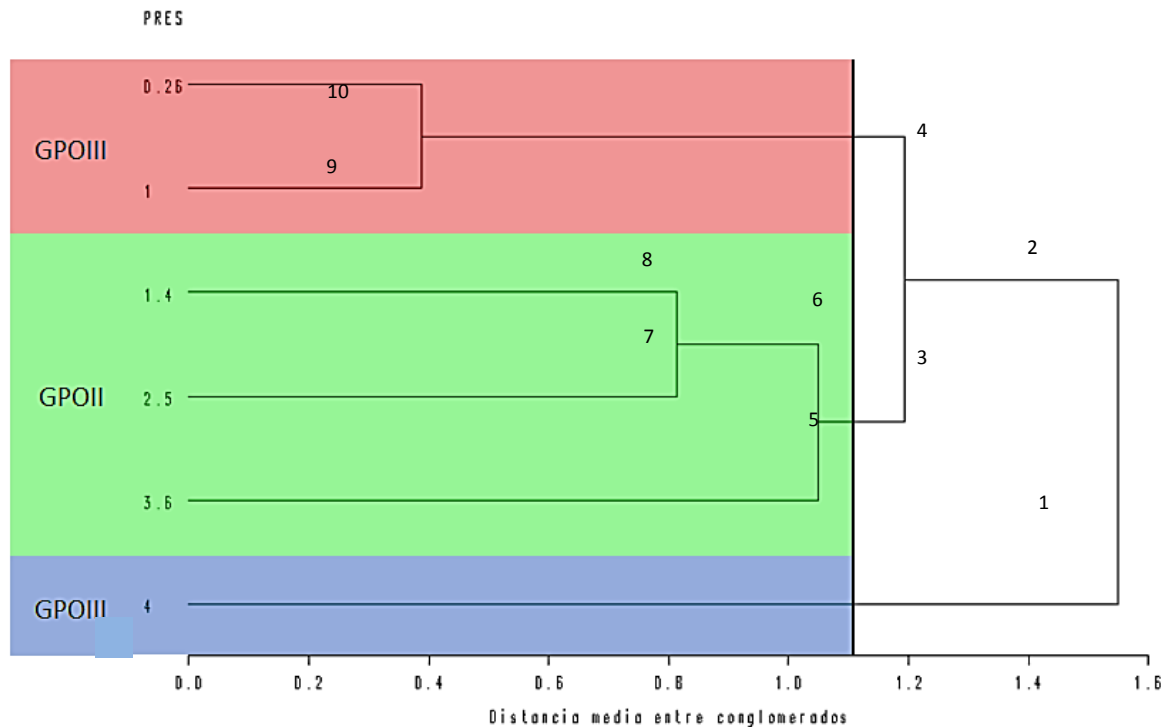


Figura 7.9 Dendograma basado en las diferentes presiones utilizadas en los procesos de deshidratación de jitomate, con base en el promedio de las seis variables y agrupamiento por distancia de similitud.

7.4 Análisis de superficie de respuesta de cinco variables por efecto del procesamiento de jitomate por Descompresión Instantánea Controlada (DIC).

La presión de vapor saturado y el tiempo, así como el contenido inicial de humedad del jitomate deshidratado, fueron los parámetros utilizados en el proceso de la DIC mediante el análisis de superficie de respuesta. Esta metodología se utiliza comúnmente para el diseño experimental (Rezzoug *et al.* 2000; Varnalis *et al.* 2004),

en la optimización de dichos parámetros; este tipo de modelaje se ha realizado para diferentes procesos de la tecnología DIC y con otros frutos o productos como el reportado por Kamal *et al.* (2008). El software utilizado para la designación experimental y el tratamiento de los datos fue Statgraphics centurión versión 15.2.1.1, en el cuadro 7.11 se muestra la designación del experimento. El cual se elaboro después de realizar experimentos preliminares que se realizaron solarmente con jitomates previamente deshidratados. Se estableció un diseño completo central compuesto con ocho variables y cinco repeticiones en el punto central, es decir, un total de 13 experimentos que se utilizaron para evaluar el efecto del tratamiento con vapor DIC.

Cuadro 7.11 Designación del experimento de superficie de respuesta para jitomate y respuestas obtenidas.

Presión (Bar)	Tiempo (s)	Licopeno ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)	Compuestos Fenólicos Totales ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)	Capacidad Antioxidante (% inhibición del radical DPPH)	Cl ₅₀ ($\text{mg}\cdot \text{mL}^{-1}$)	Azúcares Solubles Totales ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)
2.5	25	0.0077	0.0783	90.57	30.40	0.0184
4.0	25	0.0156	0.2003	79.53	11.01	0.0165
2.5	40	0.0047	0.1494	89.55	16.38	0.0146
2.5	25	0.0064	0.0371	84.82	30.01	0.0100
3.6	36	0.0098	0.0801	85.63	12.60	0.0128
3.6	14	0.0100	0.0452	90.08	18.73	0.0229
2.5	25	0.0040	0.0221	84.31	29.65	0.0099
1.4	14	0.0048	0.0097	25.70	43.94	0.0094
1.4	36	0.0060	0.0151	64.44	41.70	0.0097
2.5	25	0.0043	0.0262	38.42	25.05	0.0113
1.0	25	0.0126	0.0326	21.96	49.38	0.0100
2.5	10	0.0032	0.0236	40.47	4.25	0.0102
2.5	25	0.0076	0.0128	83.67	0.73	0.0105

En relación con la cantidad de compuestos bioactivos de los frutos deshidratados, en los 13 tratamientos se modificó la presión y el tiempo que se mantuvo expuesto el producto a estas condiciones. El cálculo de dichas respuestas está expresado en materia seca.

7.4.1 Respuesta del Contenido de Licopeno

La significancia de los parámetros se muestra en la figura 7.10A. La línea vertical sobre la carta de Pareto determina los efectos que son estadísticamente significativos al nivel de 95% de confianza. El efecto estandarizado es el efecto estimado dividido por su error estándar. La presión de vapor saturado (P) y el efecto cuadrático de este factor, tuvieron un efecto significativo en incrementar el contenido de licopeno (Figura 7.10A), significa que cuanto mayor sea la presión mayor será el contenido de licopeno (7.10B). El modelo de regresión empírico ($R^2 = 88.2\%$), y la ecuación (1), permitieron determinar las condiciones de operación óptima (P: 4.0 bar, t: 24.6 s) para maximizar la respuesta ($0.0158\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{MS}$).

$$\text{Licopeno} = 0.0116172 - 0.0130871 \cdot P + 0.000673386 \cdot t + 0.00306303 \cdot P^2 - 0.0000289256 \cdot P \cdot t - 0.000011312 \cdot t^2 \quad (1)$$

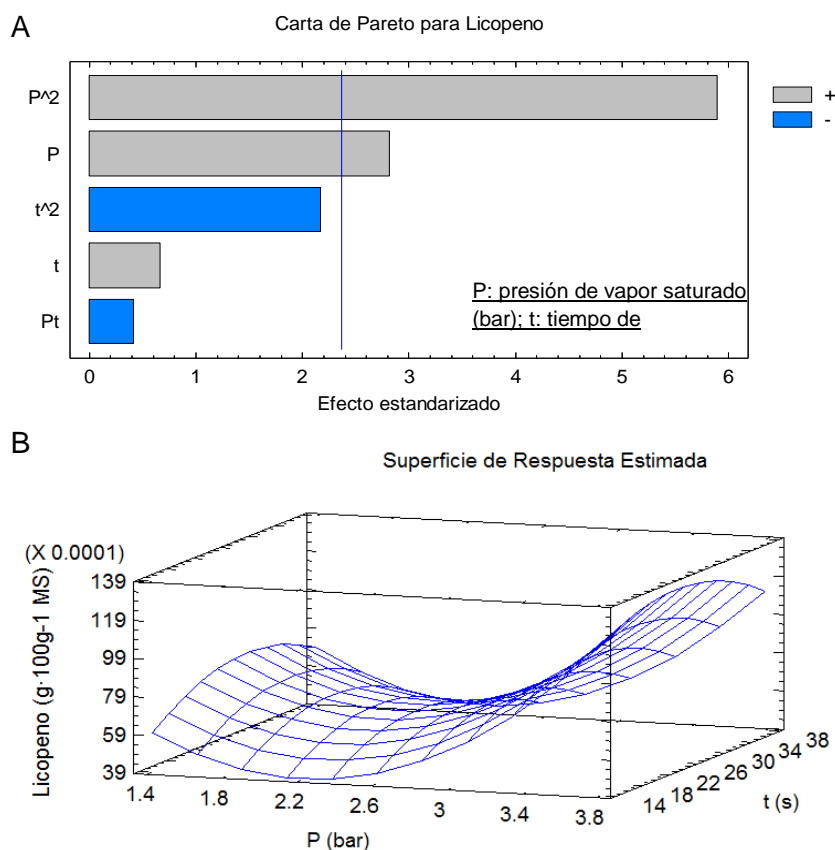


Figura 7.10 Grafico de superficie de respuesta para Licopeno. A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mayor contenido de licopeno

7.4.2 Respuesta de Compuestos Fenólicos Totales

La presión de vapor saturado fue el parámetro de mayor influencia en comparación con el tiempo de tratamiento térmico o las diferentes interacciones entre presión y tiempo (Figura 7.11A). Así cuanto mayor sea la presión de vapor saturado el contenido de compuestos fenólicos totales será mayor. Además, entre más se incremente la presión y mayor sea el tiempo de tratamiento térmico se obtendrá un valor alto para el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT)(Figura 7.11B).El modelo de regresión empírico ($R^2 = 61.7 \%$), y la ecuación (2), permitieron determinar las condiciones de operación óptima (P: 4.05 bar, t: 40.55 s) para maximizar la respuesta ($0.0217\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{MS}$).

$$\text{CFT} = 0.0921281 - 0.0784678 \cdot P - 0.00301619 \cdot t + 0.0203202 \cdot P^2 + 0.000609504 \cdot P \cdot t + 0.0000794413 \cdot t^2 \quad (2)$$

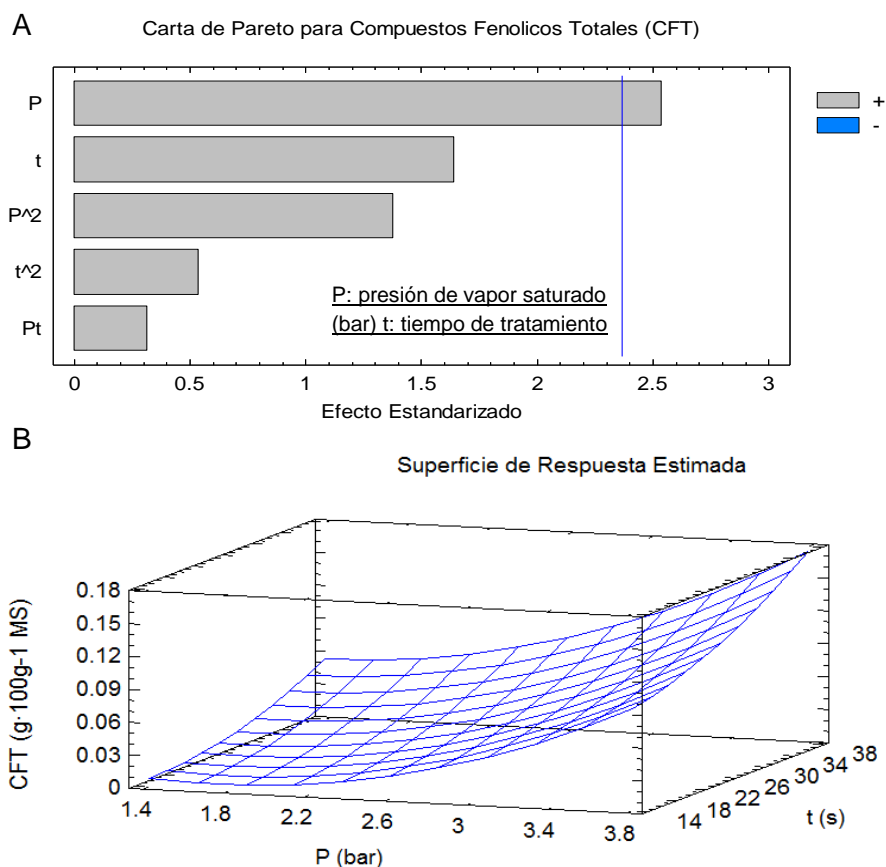


Figura 7.11 Grafico de superficie de respuesta para compuestos fenólicos totales (CFT). A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mayor contenido de CFT

7.4.3 Actividad Antioxidante

La línea vertical sobre la carta de Pareto determina los efectos que son estadísticamente significativos al nivel de 95% de confianza. El efecto estandarizado es el efecto estimado dividido por su error estándar. La presión de vapor saturado (P) fue el parámetro de mayor influencia y tuvo un efecto positivo, en comparación con el tiempo de tratamiento térmico (t) (Figura 7.12A), sin embargo, no es necesaria una presión tan alta para obtener una mayor actividad antioxidante, (7.12B). El modelo de regresión empírico ($R^2 = 55.7 \%$), y la ecuación (3), permitieron determinar las condiciones de operación óptima (P: 2.78 bar, t: 40.55 s) para maximizar la respuesta (88.4%).

$$\text{Actividad Antioxidante} = -129.599 + 85.3352 \cdot P + 4.86704 \cdot t - 8.81012 \cdot P^2 - 0.892355 \cdot P \cdot t - 0.0291549 \cdot t^2 \quad (3)$$

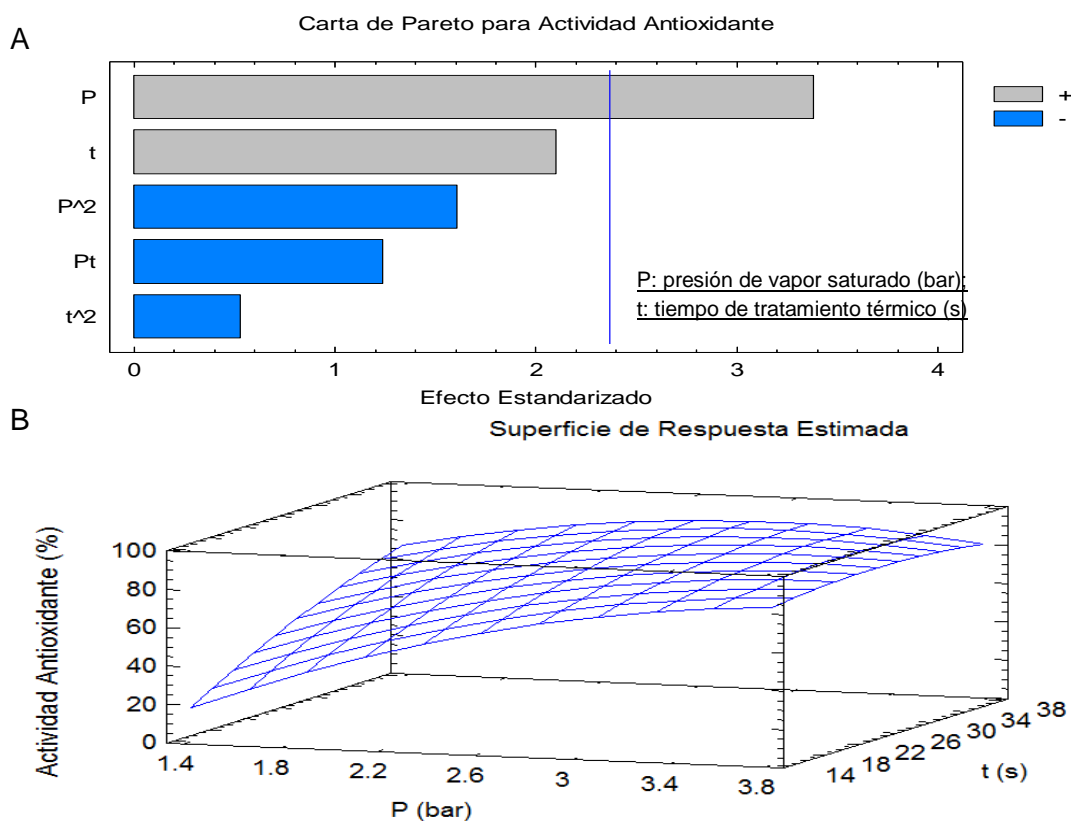


Figura 7.12 Grafico de superficie de respuesta para Actividad Antioxidante. A). Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener la mayor actividad antioxidante. tiempo para

7.4.4 Capacidad inhibitoria CI_{50}

La significancia de los parámetros se muestra en la figura 7.13A. La línea vertical sobre la carta de Pareto determina los efectos que son estadísticamente significativos al nivel de 95% de confianza. El efecto estandarizado es el efecto estimado dividido por su error estándar. La presión de vapor saturado (P) fue el parámetro de mayor influencia y tuvo un efecto negativo, en comparación con el tiempo de tratamiento térmico (t) (Figura 7.13A), cuando sea menor la presión mayor será el contenido de CI_{50} , (7.13B). El modelo de regresión empírico ($R^2 = 68 \%$), y la ecuación (4), permitieron determinar las condiciones de operación óptima (P: 0.94 bar, t: 28.25 s) para maximizar la respuesta ($54.24 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$).

$$CI_{50} = 54.6589 - 34.1318 \cdot P + 2.02787 \cdot t + 4.76065 \cdot P^2 - 0.0803719 \cdot P \cdot t - 0.0345424 \cdot t^2 \quad (4)$$

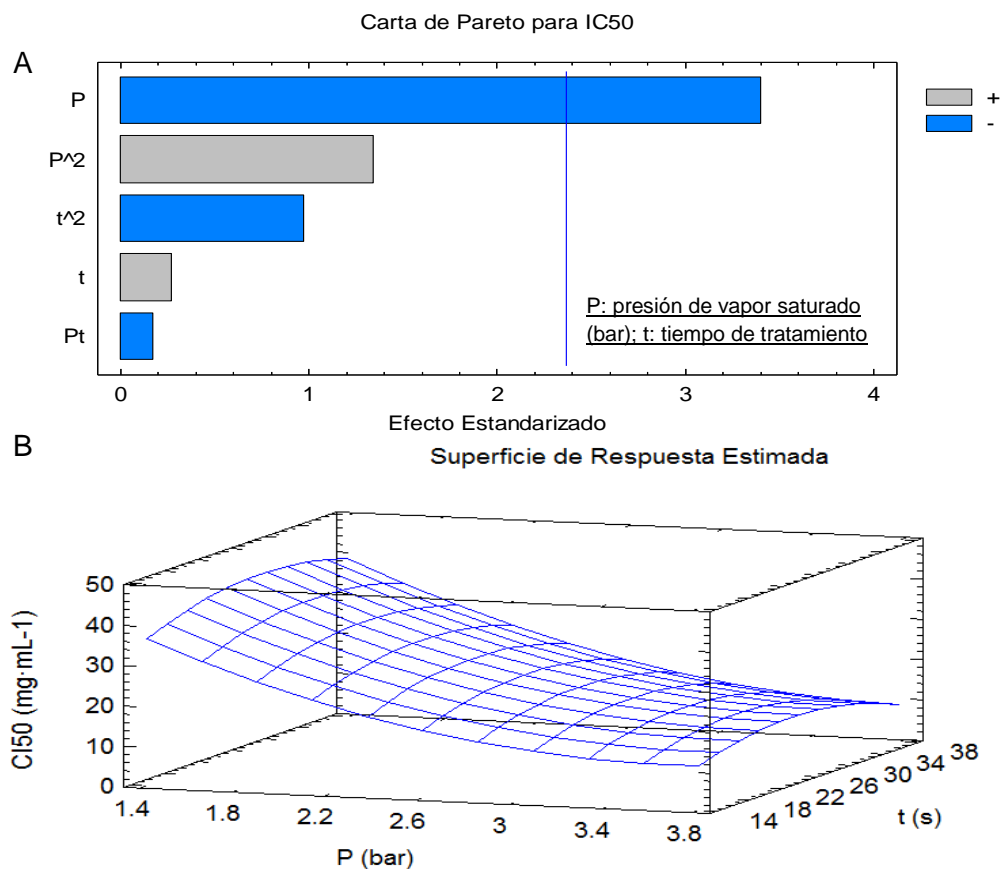


Figura 7.13 Gráfico de superficie de respuesta para CI_{50} . A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mejor resultado de CI_{50} .

7.4.5 Respuesta de Azucares Solubles Totales (AST)

La significancia de los parámetros se muestra en la figura 7.14A. La línea vertical sobre la carta de Pareto determina los efectos que son estadísticamente significativos al nivel de 95% de confianza. El efecto estandarizado es el efecto estimado dividido por su error estándar. La presión de vapor saturado (P) fue el parámetro de mayor influencia y tuvo un efecto positivo, en comparación con el tiempo de tratamiento térmico (t) (Figura 7.14A), cuanto mayor sea la presión mayor será el contenido de Azucares Solubles Totales (AST), (7.14B). El modelo de regresión empírico ($R^2 = 55.9\%$), y la ecuación (5), permitieron determinar las condiciones de operación óptima (P: 4.05 bar, t: 9.44 s) para maximizar la respuesta ($0.0249\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{MS}$).

$$\text{AST} = -0.00130294 + 0.00485758 \cdot P + 0.000327634 \cdot t + 0.000689055 \cdot P^2 - 0.000214876 \cdot P \cdot t + 0.00000337806 \cdot t^2 \quad (5)$$

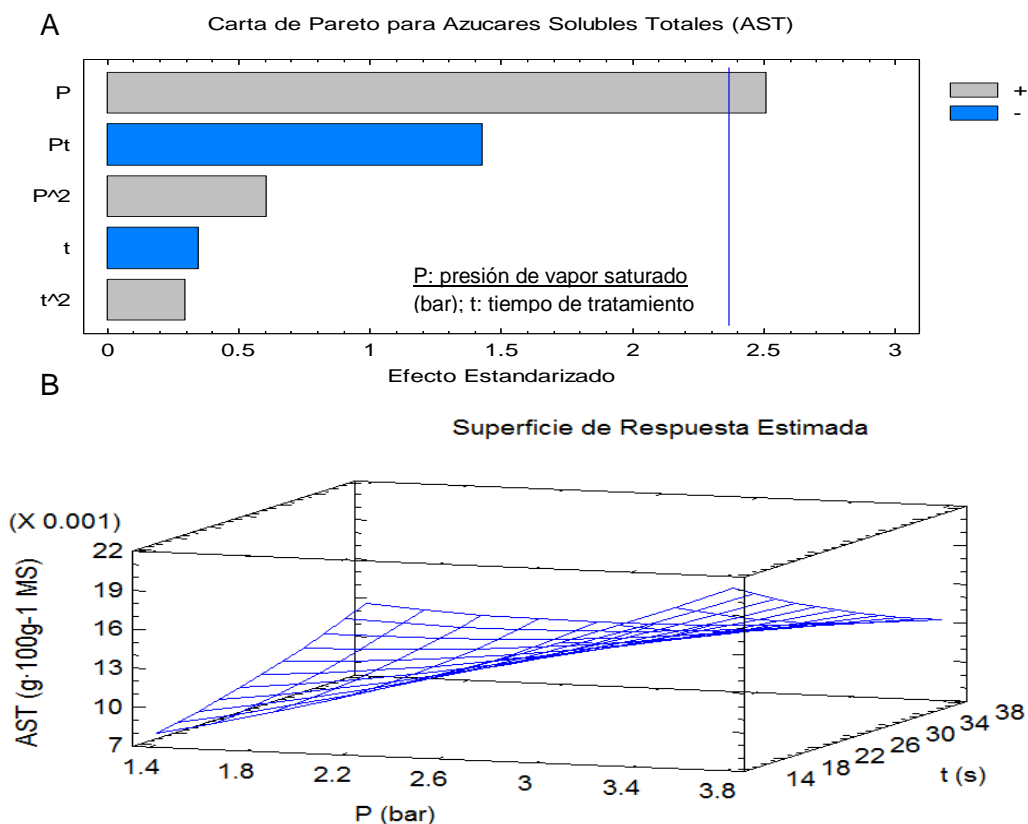


Figura 7.14 Grafico de superficie de respuesta para Azucares Solubles Totales. A) Diagrama de Pareto y la interacción del factor que afecta este compuesto. B) Gráfico de superficie de respuesta que muestra las mejores condiciones de presión y tiempo para obtener un mayor contenido de azucares solubles totales.

VIII DISCUSIÓN GENERAL

Las propiedades de calidad de las frutas pueden ser afectadas por los procesos de secado. En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías y equipos para el uso de secado, con el fin de producir alimentos con propiedades saludables y suplementos alimenticios bioactivos (SAB) (Cernîșev y Şleagun 2007).

En este trabajo se eligió para la deshidratación, un prototipo de deshidratador solar y la liofilización. Y se utilizó una nueva tecnología conocida como DIC (Descompresión Instantánea Controlada), la cual es una tecnología de procesado de alimentos; atractiva desde el punto de vista tanto tecnológico como económico, que consiste en un tratamiento termo-mecánico de alta temperatura en corto tiempo, combinado con una descompresión instantánea a vacío.

Para iniciar la presente investigación se planteó la hipótesis de que los compuestos nutricionales (azúcares solubles totales y minerales) y los compuestos bioactivos (licopeno, compuestos fenólicos, vitamina C y actividad antioxidante) presentan cambios por efecto de los tipos de procesamientos de deshidratación. Para dar respuesta a la hipótesis se analizaron las propiedades físico-químicas tanto en fruto fresco como en los frutos deshidratados, se determinó el color, compuestos nutricionales y compuestos bioactivos, además de su calidad microbiológica.

De una manera integrada, el efecto en los frutos de jitomate por el procesamiento de deshidratación, se detectó a través del análisis de componentes principales. Donde se distinguieron tres grupos definidos particularmente por la presión ejercida, indistintamente del tiempo, en los diferentes tratamientos, en los cuales los componentes nutricionales y bioactivos variaron de manera distinta. El Grupo I, que correspondió al tratamiento DIC con la mayor presión evaluada (4 bar), se distinguió por tener el valor más alto de compuestos fenólicos totales, el mejor valor de actividad antioxidante expresada como capacidad inhibitoria (CI_{50}) y valores altos de licopeno. El Grupo II, que incluyó también solo muestras del tratamiento DIC, con valores intermedios de presión (entre 1.4 y 3.6 bar) presentaron los contenidos más bajos de

licopeno. Y el Grupo III, se diferenci6 por contener los tratamientos con las presiones m6s bajas evaluadas y el tiempo m6s largo de procesamiento, incluye el tratamiento de deshidrataci6n solar (1 bar/633 min) y la liofilizaci6n (0.26 bar/400 min); particularmente la deshidrataci6n solar tuvo los valores mayores de: 6cido asc6rbico, actividad antioxidante y contenido de licopeno, mientras que la deshidrataci6n por liofilizaci6n no mostro ventajas respecto a los dem6s tratamientos evaluados en este estudio.

El an6lisis de superficie de respuesta aplicado a los tratamientos de deshidrataci6n DIC en los frutos de jitomate, sirvi6 para modelar e investigar como el licopeno, los compuestos fen6licos totales (CFT), la actividad antioxidante, la capacidad inhibitoria (CI_{50}) y los azucares solubles totales (AST) son afectados por la presi6n y el tiempo, con el prop6sito de mejorar las condiciones 6ptimas de operaci6n de la deshidrataci6n por el DIC. Se detect6 que la presi6n tuvo un efecto significativo y positivo para licopeno, compuestos fen6licos totales, actividad antioxidante y azucares solubles totales; solo en la capacidad antioxidante (CI_{50}) el efecto de la presi6n fue negativa. En el cuadro 8.1 se resumen las condiciones de operaci6n 6ptima del DIC de acuerdo a los modelos de regresi6n emp6ricos.

Cuadro 8.1 Respuesta m6xima por variable y condiciones 6ptimas de presi6n y tiempo en el an6lisis por superficie de respuesta en los tratamientos de deshidrataci6n de jitomate en la tecnolog6a DIC.

Variable	Presi6n (bar)	Tiempo (s)	Respuesta m6xima	R² (%)
Licopeno	4.0	24.6	0.0158 g·100g ⁻¹ MS	88.2
Compuestos fen6licos totales	4.0	40.55	0.0217 g·100g ⁻¹ MS	61.7
Actividad antioxidante	2.78	40.55	88.4 %	55.7
CI_{50}	0.94	28.25	54.24 g·mL ⁻¹	68
AST	4.0	9.44	0.0249 g·100g ⁻¹ MS	55.9

AST= azucares solubles totales.

Respecto a los análisis microbiológicos realizados a los frutos de jitomate deshidratados por las diferentes tecnologías no se presenta ningún tipo de contaminación.

8.1 Correlación de variables

En el cuadro 8.1A del anexo se concentran las correlaciones de los compuestos nutricionales y compuestos bioactivos de los frutos deshidratados. En este apartado se discutirán solo las interacciones que tuvieron significancia.

En el cuadro 8.2 se concentran las variables que tuvieron significancia en la correlación de Pearson en los tratamientos de deshidratación (TD) solar y liofilización con las condiciones de procesamiento y componentes bioactivos. Se detectó que los tratamientos de deshidratación tuvieron una correlación positiva y altamente significativa con el tiempo, mientras que con la temperatura la correlación fue negativa. En relación con los compuestos bioactivos presentes en los jitomates, los TD tuvieron una correlación directa con la capacidad antioxidante (CI_{50}), pero con el ácido ascórbico la correlación fue inversa.

Cuadro 8.2 Correlaciones de los tratamientos de deshidratación solar y liofilización con las condiciones de procesamiento y los compuestos bioactivos.

Interacción		R	<i>p</i>
TD	Temperatura	-0.3773	0.0106
	Tiempo	0.5823	<0.0001
	CI_{50}	0.2984	0.0465
	Ácido ascórbico	-0.6802	<0.0001

TD = tratamientos de deshidratación;

De las condiciones de procesamiento en los TD, se detectó que la presión fue la que tuvo un mayor impacto tanto con las demás condiciones (temperatura y tiempo) como con los compuestos bioactivos (CFT, actividad antioxidante, CI_{50} y ácido ascórbico), lo cual se hizo evidente por las correlaciones altamente significativas que presentaron (Cuadro 8.3). La temperatura tuvo una correlación altamente significativa pero negativa con el licopeno, CI_{50} y el ácido ascórbico. El tiempo tuvo un efecto directo y positivo con el licopeno y la CI_{50} (Cuadro 8.3).

Cuadro 8.3 Correlaciones de las condiciones de operación y los compuestos bioactivos, de los tratamientos de deshidratación solar y liofilización.

Interacción		r	p
Presión	Temperatura	0.6257	<0.0001
	Tiempo	-0.5824	<0.0001
	CFT	0.4716	0.0011
	Actividad antioxidante	0.4455	0.0022
	Cl ₅₀	-0.9029	<0.0001
	AST	0.5031	0.0004
	Ácido ascórbico	-0.3575	0.0159
Temperatura	Tiempo	-0.9725	<0.0001
	Licopeno	-0.5167	0.0003
	Cl ₅₀	-0.4556	0.0017
	Ácido ascórbico	-0.4097	0.0052
Tiempo	Licopeno	0.4008	0.0064
	Cl ₅₀	0.4748	0.0010

CFT = compuestos fenólicos totales; AST= azúcares solubles totales.

En los tratamientos de deshidratación solar y de liofilización, destaca la correlación del licopeno con el ácido ascórbico, la cual fue altamente significativa y positiva ($r=0.6127$; $p<0.0001$), al igual que la de los CFT con la Cl₅₀, la cual tuvo una relación inversa (Cuadro 8.4). Lo que sugiere que la actividad antioxidante de los frutos de jitomate deshidratados se debe principalmente a los CFT presentes en los tejidos, ya que valores bajos de la Cl₅₀ implican una mayor capacidad para atrapar los radicales libres.

Cuadro 8.4 Correlaciones entre los compuestos bioactivos de los tratamientos de deshidratación solar y liofilización.

Interacción		r	p
Licopeno	CFT	0.3540	0.0171
	Ácido ascórbico	0.6127	<0.0001
CFT	Actividad antioxidante	0.3735	0.0115
	Cl ₅₀	-0.6011	<0.0001
	AST	0.4862	0.0007
Actividad antioxidante	Cl ₅₀	-0.5967	<0.0001
	AST	0.4710	0.0011
Cl ₅₀	AST	0.4819	0.0008

CFT = compuestos fenólicos totales; AST= azúcares solubles totales.

En los jitomates deshidratados por la tecnología DIC, de manera similar que en la deshidratación solar y liofilización, la presión también tuvo una correlación directa y

positiva con la mayoría de las variables evaluadas, excepto con la Cl_{50} , la cual fue altamente significativa pero inversa ($r=-0.9332$; $p<0.0001$) (Cuadro 8.5). El tiempo presento una correlación positiva con los CFT y con la actividad antioxidante.

Cuadro 8.5 Coeficientes de correlación de Pearson de los frutos procesados mediante descompresión instantánea controlada (DIC) con las condiciones de procesamiento y los compuestos bioactivos.

Interacción		r	p
Presión	Licopeno	0.3647	0.0224
	CFT	0.5867	<0.0001
	Actividad antioxidante	0.6378	<0.0001
	Cl_{50}	-0.9332	<0.0001
	AST	0.6138	<0.0001
Tiempo	CFT	0.3777	0.0178
	Actividad antioxidante	0.3934	0.0132

CFT = compuestos fenólicos totales; AST = azúcares solubles totales.

Las correlaciones entre los compuestos bioactivos en los jitomates procesados por la tecnología DIC fueron muy similares a las que se procesaron por deshidratación solar y liofilización, excepto que en la DIC, la relación entre la Cl_{50} y los AST fue inversa (Cuadro 8.6).

Cuadro 8.6 Correlaciones entre los compuestos bioactivos de los frutos procesados mediante descompresión instantánea controlada (DIC).

Interacción		R	p
Licopeno	CFT	0.5304	0.0005
	AST	0.4100	0.0095
CFT	Actividad antioxidante	0.4124	0.0091
	Cl_{50}	-0.6835	<0.0001
	AST	0.5121	0.0009
Actividad antioxidante	Cl_{50}	-0.6532	<0.0001
	AST	0.5121	0.0009
Cl_{50}	AST	-0.5381	0.0004

CFT = compuestos fenólicos totales; AST = azúcares solubles totales

IX CONCLUSIONES

El análisis de los frutos de jitomate deshidratados por deshidratación solar, liofilización y descompresión instantánea controlada (DIC), mostraron cambios diferentes en el color, compuestos nutricionales y compuestos bioactivos, en función de las condiciones de procesamiento que se utilizan en cada método.

La calidad microbiológica de los frutos deshidratados no presentó diferencias entre los métodos de deshidratación evaluados. Los frutos de jitomate deshidratados por los tres métodos de deshidratación tuvieron valores dentro de los permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas para bacterias, hongos y levaduras.

El color de los frutos de jitomate deshidratados se conservó mejor respecto al fruto fresco, en el tratamiento de deshidratación solar con base en la proporción del parámetro de color a/b.

En los frutos procesados por la tecnología DIC el tratamiento I8 fue el que tuvo el color y valor de a/b más cercano al del fruto fresco. Y con base en el IC los tratamientos II2, I5, I8, I9, I10 y I13 tuvieron valores cercanos al del fruto fresco.

Los frutos de jitomate procesados mediante deshidratación solar, que funciona con presión baja (1 bar) y tiempo relativamente largo (633 min), se conservó mejor el licopeno, el ácido ascórbico y la actividad antioxidante.

En la deshidratación por DIC, la presión de 4 bar favoreció a conservar particularmente el contenido de azúcares solubles totales, licopeno, compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante (CI_{50}).

Los frutos procesados por la tecnología DIC tuvieron una relación directa y positiva del CI_{50} con los compuestos fenólicos totales y el licopeno, lo cual indica que la actividad antioxidante en estos tratamientos se debió particularmente a estos compuestos bioactivos.

Los frutos de jitomate deshidratados por liofilización no mostraron ventajas en conservar el color y los componentes bioactivos, respecto a la deshidratación solar y a la descompresión instantánea controlada.

En los minerales, los frutos procesados por tecnología DIC conservaron mejor el contenido de fósforo en todos los tratamientos; el potasio se conservó mejor en los frutos deshidratados por DIC; el calcio y el hierro se conservaron mejor en los frutos deshidratados por liofilización y por DIC (11. 2.5 bar y 0.41 min).

Con respecto a la presión y seis variables analizadas, el análisis por componentes principales explicó 98 % de la variación entre los tratamientos con los tres primeros componentes principales, se distinguieron tres grupos, Grupo I (DIC, 4 bar), Grupo II (DIC, 1.4, 2.5 y 3.6 bar) y Grupo III (DS, 1 bar y LIOF, 0.26 bar).

De acuerdo al análisis de superficie de respuesta por efecto del procesamiento de jitomate por tecnología DIC, el modelo de regresión empírico determinó las condiciones de operación óptima para maximizar la respuesta de licopeno en 4 bar y 24.6 s, de los compuestos fenólicos totales en 4.05 bar y 40.55 s, de la actividad antioxidante en 2.78 bar y 40.55 s, y de la Cl_{50} en 0.94 bar y 28.25 s.

La deshidratación de jitomate puede realizarse sin perder considerablemente el color, los compuestos nutricionales y bioactivos, si se diseña una estrategia de deshidratado mediante la combinación de algunos métodos, como puede ser el uso de la deshidratación solar, e inclusive como pre-tratamiento aunado a la descompresión instantánea controlada, con los cuales se puede llegar a disminuir la pérdida de propiedades organolépticas y de los compuestos bioactivos característicos del jitomate fresco.

X BIBLIOGRAFÍA

- Allaf K., Louka N.,Bouvier J. M., Parent F., Forget, M. 1993.** French Patent F2708419.
- Alvarado J. D. 1996.** Principios de ingeniería aplicada a alimentos. Editorial. Radio Comunicaciones OEA, Quito, Ecuador.
- Angostini L., Moron M., Ramón A., Ayala A. 2004.** Determinación de la capacidad antioxidante de flavonoides en frutas y verduras frescas y tratadas térmicamente. *Latinoamérica Nutrición.* 50, 5-18.
- Antolovich M.,Prenzler P.D., Patsalides E.,Mcdonald S., Robards K. 2002.** Methods for testing antioxidant activity. *Critical Review the Analyst.*127, 183-198.
- Arias R., Lee T.C.,Logendra L., Janes H. 2000.** Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 48, 1697-1702.
- Arnao M.B. 2000.** Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends Food Science and Technology.*11, 419-421.
- Arnous A.,Makris D., Kefalas P. 2002.** Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant properties in selected aged regional wines from Greece. *Journal of Food Composition and Analysis.*15, 655-665.
- Aruoma O.I. 1999.** Antioxidant actions of plant foods: use of oxidative DNA damage as a tool for studying antioxidant efficacy. *Free Radical Research.* 30, 419-427.
- Barreiro M. J. A., Sandoval B. A. J. 2006.** Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Equinoccio Universidad Simon Bolívar.
- Batey T., Chessner M.S., Willett I.R. 1974.** Sulphuricperchloric acid digestión of plant material for nitrogen determination. *Analytica Chimica Acta.* 69, 484-487.

- Berger C. N., Sodha S. V., Shaw R. K., Griffin P. M., Pink D., Hand P., Frankel G. 2010.** Fresh fruit and vegetables as vehicles for the transmission of human pathogens. *Environmental Microbiology*. 12, 2385-2397.
- Beuchat L. R., 2002.** Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes and Infection*. 4, 413-423.
- Binoy G. K., Charanjit D. S., Khurdiya D. S., Kapoor H. C. 2004.** Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*. 84, 45-51.
- Bonazzi C., Dumoulin E. 2011.** Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. In: Modern Drying Technology *Editorial Wiley-VCH Product Quality and Formulation*, pp. 1-4USA
- Calidad Suprema PC-020-2005**http://www.normich.com.mx/archivos/OC/mcs/PLIEGOS%20DE%20CONDICIONES%2012/PC_020_2005_Tomate.pdf, consultada el 14 de junio 2010.
- Candelas C., Guzmán A., Bautista J., Del Río O. F., García D. C. 2005.** Contenido De Licopeno En Jugo De Tomate Secado Por Aspersión *Revista Mexicana De Ingeniería Química*. 4, 299-307
- Cánovas B. G. V. 1996.** Dehydration of Foods, Chapman and Hall. 1ª ed. <http://books.google.com.mx/books?id=nWbmRj7YbUcC&printsec=frontcover&dq=Dehydration+of+Foods&cd=1#v=onepage&q=&f=false> Febrero 2010
- Cardona E.M., Ríos L. A., Restrepo G. M. 2006.** Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (*Lycopersicum esculentum*). *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 13(2), 44-53.
- Carrillo R. A. 2004.** Tendencias Históricas De La Producción De Jitomate En México Y Sinaloa. Red De Investigadores Del Agua En Cuencas Del Norte De México.
- Cernîșev S., Șleagun G. 2007.** Influence of dehydration technologies on dried tomato biological quality and value. *Agronomical Research in Moldova*, 3(131), 63-68
- Chamarro J. 2003.** Anatomía fisiología de la planta. En: El cultivo del tomate, Ediciones Mundi Prensa pp 43-91., Madrid, España.

Charm S. E. 1981. The Fundamentals of Food Engineering. Westport, Connecticut. AVI Publishing Co.

Chasquibol S. N., Lengua C. L., Delmas I., Rivera C. D., Bazan D., Aguirre M. R., Bravo A. M. 2003. Alimentos funcionales o fitoquímicos clasificación e importancia. *Revista Peruana de Química e Ingeniería*, 5(2), 9-20

Chassy A.W., Bui L., Renaud E.N., Van Horn M., Mitchell A.E. 2006. Three-Year Comparison of the Content of Antioxidant Microconstituents and Several Quality Characteristics in Organic and Conventionally Managed Tomatoes and Bell Peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 8244-8252.

Cirielli J., Diaz B. 2002. El tomate, una variedad que se debe controlar. Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina. **Clifford M. N. 1999.** Chlorogenic acids and other cinnamates: nature, occurrence and dietary burden. *Journal Science Food and Agriculture*. 79, 362-372

Codex alimenticio

<http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/commodities/details.html?id=320>

FAO 2006 Ficha técnica Tomate (*Lycopersicon esculentum*)

http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/TOMATE.HTM

Corpoica 2010. La deshidratación de frutas métodos y posibilidades. Corporación colombiana de investigación agropecuaria.

Davey M.W., Van Monatgu M., Sanmatin M., Kanellis A., Smirnoff N., Benzie I.J.J., Strain J.J., Favell D., Fletcher J. 2000. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80(7), 825–860

Davies J.N., Hobson G.E. 1981. The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 15, 205-280.

- Davis A. R., Fish W. W., Perkins P. V. 2003.** A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products. *Postharvest Biology and Technology*. 28,425–430.
- De Bruyn J.W., Garresten F., Kooistra E. 1971.** Variation in taste and chemical composition of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Euphytica*, 20, 214–227.
- Dickinson C. H., 1986.** Adaptations of microorganisms to climatic conditions affecting aerial plant surfaces, In *Microbiology of the Phyllosphere* Editorial Cambridge University. p 77 Cambridge
- Dimitrios B. 2006.** Sources of natural phenolic antioxidants. *Trend in Food Science and Technology*. 17, 505-512.
- Doaris M., Dominique A. D., Athanasios P.P., Wim V.I. 2004.** Greenhouse Tomato Fruit Cuticle Cracking. *Horticultural Reviews* ,3, 163-184
- Drago S. M. E., López L. M., Sainz E. T. 2006.** Componentes Bioactivos De Alimentos Funcionales De Origen Vegetal. *Revista Mexicana De Ciencias Farmaceuticas*, 37, 58-68.
- Escaff G. M. 2006.** Variedad de Tomate para procesamiento: Comportamiento Agronómico e Industrial de Chile. En Seminario Internacional “Producción de Tomate para Procesamiento” (17-28). Santiago de Chile: INIA.
- Escartín F. E. 2000.** Microbiología e Inocuidad de los Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro, México, pp: 520-527.
- Escartín F. E. 2002.** Perfil de contaminación de una planta productora de jitomate hidropónico evaluación de práctica de operación diseñada para eliminar riesgos microbianos. Cuaderno de Trabajo. Universidad Autónoma de Querétaro 1-13
- Farah A., Donangelo C.M. 2006.** Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18, 23–36.
- FAOSTAT 2010.** Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancorfao> 2010
producción mundial tomate estadísticas

- Fernández R. V., Cámara, M., Quintela J.C. 2007.** Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno. Ficha de Revisión. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria* 27(3),166-170.
- Fito M. P., Andrés A. M., Barat J. M., Albors S. A. M. 2001.** Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente; Editorial Universidad Politencina De Valencia <http://books.google.com.mx/books?id=cUEt038sq90C&pg=PA1&dq=tipos+de+deshidratacion+de+alimentos#v=onepage&q=&f=false>. Febrero 2010
- Fontes P.C.R., SilvaD.J.H. 2002.** *Produção de Tomate de Mesa*. Aprenda Fácil. Brazil.
- Foust A. S., Leonard W. A. 1997.** Principios de Operaciones Unitarias. CECSA.
- Foyer C.H., Rowell J., Walker D. 1983.** Measurements of the ascorbate content of spinach leaf protoplasts and chloroplasts during illumination, *Planta*. 157, 239-244.
- García A. J., Jacob K., Iniesta M. D., Martínez M. C., RosG., Periago J. M. 2007.** Evaluación de compuestos bioactivos durante la maduración del tomate. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha Y Agroexportaciones. U Memoria
- Gärtner C., StahlW., Sies H. 1997.** Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. *American Journal of Clinical Nutrition*. 66, 116-122.
- Georgé S., Tourniaire F., Gautier H., Goupy P., Rock E., Caris C. V. 2011.** Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*. 124, 1603-1611.
- George St. S.D., Cenkowski S., Muir W.E., 2004.** A review of drying technologies for the preservation of nutritional compounds in waxy skinned fruit., *The Society for Engineering in agricultural, food, and biological systems*. Paper No. MB04-104

- Giovanelli G., Lavelli V., Peri, C., Nobili S. 1999.** Variation in antioxidant compounds of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1583–1588.
- Giovannuci E., Ascherio A., Rimm E.B., Stampfer M.J., Colditz G.A., Willet, W.C. 1995.** Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *Journal on the National Cancer Institute*. 87(23), 1767-76.
- Gomez G., Mayra S. 2009.** Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias. Tesis Ingeniero en Alimentos inédita. Universidad Tecnológica de la Mixteca Oaxaca.
- González S. T. 2010.** Estudio de la actividad antioxidante y contenido de licopeno en jitomate fresco y deshidratado. Tesis Profesional Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad Ingeniería Química, Colegio de Ingeniería en Alimentos
- Guo X., Chen J., Brackett R., Beuchat L. 2002.** Survival of Salmonella on Tomatoes Stored at High Relative Humidity, in Soil, and on Tomatoes in contact with soil, *Journal of Food Protection*. 65, 274-279.
- Gustafson F. G. 1926.** Growth Studies on fruits. *Plant Physiology* 1, 265-272
- Haddad J., Louka N., Gadouleau M., Juhel F., Allaf K. 2001.** Application du nouveau procédé de séchage / texturation par Détente Instantanée Contrôlée (DIC) aux poissons: Impact sur les caractéristiques physico-chimiques du produit fini. *Sciences des Aliments*, 21(5), 481–498.
- Hadley C.W., Clinton S. K., Schwartz S. J., 2002.** The consumption of processed tomato products enhances plasma lycopene concentrations in association with a reduced lipoprotein sensitivity to oxidative damage. *Human Nutrition and Metabolism*. 133, 727-732
- Halliwell B. 1992.** How to characterise biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9, 1-32.

- Harris L. J., Farber J. M., Beuchat L. R., Parish M. E., Suslow T. V., Garrett E. H., Busta F. F. 2003.** Outbreaks associated with fresh-cut produce, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2, 78-141
- Hayes W.A., Smith P.G., Morris A.E. 2002.** The production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews.Food Science and Nutrition*. 38 (7), 537-564.
- Hertog M. G. L., Hollman P. C. H., Katan M. B. 1992.** Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.40, 2379-2383.
- Herrera C. B.E., Castillo G. F., Sánchez G. J. J., Ortega R. P., Goodman M. 2000.** Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23, 335-354
- Herrera C. B. E., Castillo G. F., Sanchez G. J. J., Hernandez C. J. M., Ortega P. R. A., Major G. M. 2004.** Diversidad del Maiz Chalqueño. *Agrociencia*. 38(2), 191-206
- Heuvelink E., Dorais M. 2005.** Crop Growth and Yield en Tomatoes. Editorial Cabi publishing pp. 85
- Ho L. C., Hewitt J.D. 1986.** Fruit Development. In, *The Tomato Crop: a Scientific Basis For Improvement*. Pp 201-239. New York.
- HunterLab e Izasa. 2001.** Principios Básicos de Medida y Percepción de Color. www.hunterlab.com
- Ibáñez M., Rosel J.R., Rosel J.I. 2004.** Tecnología Solar. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España.
- Ibarz R. A., Barbosa C. G.V.2005.** Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Editorial Mundi Prensa.
- INEGI 2008.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía [#'11.3!A1](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/nav/cer/2008/cerno/c11.xls)

- Iturriaga M., Tamplin M., Escartín F. 2007.** Colonization of Tomatoes by Salmonella Montevideo is affected by relative and storage temperature. *Journal of Food Protection* 70, 30-34
- Jackson M.L. 1976.** Análisis químico de Suelos. Traducción al español de J.M. Beltrán. Ed. Omega Barcelona, España: **Jones J.B., Jones J.P., Stall R.E., Zitter T.A. 1991.** Compendium of Tomato Diseases. *American Phytopathological Society*.
- Joshi S., Verma A., Mathela C. 2010.** Antioxidant and antibacterial activities of the leaf essential oils of Himalayan *Lauraceae species*. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 37–40
- Kamal M., Sobolik V., Kristiawan M., Mounir S.M., Allaf K. 2008.** Structure expansion of green coffee beans using instantaneous controlled pressure drop process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 534–541
- Kampfenkel K., Van M. M., Inze D. 1995.** Extraction and determination of ascorbate and dehydro ascorbate from plant tissue. *Analytical Biochemistry*. 225, 165-167
- Kamst G. F., Bonazzi C., Vasseur J., Bimbenet J.J. 2002.** Effect of deformation rate and moisture content on the mechanical proprieties of rice grains. En *Moder Driying Technology: Experimental Techniques*, 2, 132-142.
- Karel M., Lund D. B. 2003.** Physical principles of food preservation. New York: Marcel Dekker
- Kerkhofs N.S., Lister C.E., Savage G.P. 2005.** Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars Following Forced-Air Drying. *Plant Foods Human Nutrition*. 60, 117-121
- Kurkoski E., Asuero A., García M. P., Troncoso A., Fett, R., 2004.** Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Food Sciencieand Technology, Campinas*. 24(4), 691-693.
- Lee S. K., Kader A. A. 2000.** Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20, 207–220

- Leonardi C. A. P., Esposito F., Fogliano V. 2000.** Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh 'consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 4723-4727.
- Lenucci M. S., Cadinu D., Taurino M., Piro G., Dalessandro G. 2006.** Antioxidant Composition in Cherry and High-Pigment Tomato Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.54, 2606-2613
- Lindsay W.L., NorvellW.A.1978.**Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42,421-428.
- Luna G. L. 2011.** Producción de Autoinductores y Biopelículas microbianas y su relación con la calidad y composición química de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivado en la región de Aquixtla Puebla. (Tesis Doctoral). Puebla, México. Colegio de Postgraduados Campus Puebla.
- Luna G. L., Delgado A.A., Herrera C.B.E., Torres A.G., Avelino F.F., Navarro O.A.,Parada G.F. 2012.**Diversidad de enterobacterias asociadas a frutos de tomate (*Lycopersi-cum sculentum*Mill) y suelos de invernadero. *Scientia Agropecuaria*, 2, 161 - 169
- Luthria D. L., Mukhopadhyaya S., Krizek D. T. 2006.**Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 771-777.
- Martinez V. I., Periago M.J., Provan G., Chesson A. 2002.**Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82, 323-330.
- Martínez V.I.,Periago M.,Ros G. 2000.**Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Latinoamericanos de Nutrición*. 50(1), 5-18.
- Matsukawa R., Dubinsky Z., Kishimoto E., Masaki K., Masuda Y., Takeuchi T., Chihara M., Yamamoto Y., Niki E., Karube I. 1997.**A comparison of screening

methods for antioxidant activity in seaweeds. *Journal of Applied Phycology* 9, 29-35

Mínguez M. M. I. 1997. Clorofilas y carotenoides en tecnología de alimentos. Sevilla. Ediciones Universidad de Sevilla. Capítulos VI p. 103-107; VII p. 111-148

Monsalve J., Machado M. 2007. Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) variedad manzano. *Multiciencias*, 7 (3), 256-265

Montoya B.H., Lemeshko V., Lopez J.B., Pareja A., Urrego R., Torres R. 2003. Actividad anti oxidativa de algunos extractos vegetales. *Vitae*, 10(2), 72-79.

Montreuil J., Spik G., Fournet B., Troiller T. 1997. Nonenzymatic determinations of carbohydrates. En, Multon L. Analysis of Food Constituents. Editorial. Wiley-VCH. USA.

Nguyen C., Carlin F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 34, 371- 401

Nguyen M. L., Schwartz S. J. 1999. Lycopene: Chemical and Biological Properties. *Food Technology*, 53 (2), 38- 44.

Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa.

NORMA Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa

Nuez F., Rodríguez A., Tello J., Cuartelos J., Segura B., 2001. El cultivo del tomate. Primera Edición. Ediciones Mundi - prensa. Pp 16-18, 2,45,80-81, 96-99. España.

Olaniyi J.O., Akanbi W.B., Adejumo T.A., Akande O.G. 2010. Growth, fruit yield and nutritional quality of tomato varieties. *African Journal of Food Science* 4(6), 398-402

- Olmedilla B., Granado F., Blanco L., Vaquero M., Cajigal, C. 2001.** Lutein in patients with cataracts and age-related macular degeneration: a long-term supplementation study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81, 904-909.
- Olorunda A.O., Aworh O.C., Onuoha C.N. 1990.** Upgrading quality of dried tomato. Effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 52,447-454.
- O'Neill M. A., York W.S. 2003.** The Composition and structure of plant primary cell walls. En, Rose JKC. The Plant Cell Wall. Editorial Oxford Blackwell Publishing CRC. USA.
- Orrego A. C. E, 2004.** Procesamiento de alimentos universidad nacional de Colombia, facultad de ingeniería y arquitectura.
- Orozco L., Rico R. L., 2008.** Microbiological profile of greenhouses in a farm producing hydroponic tomatoes, *Journal of Food Protection*. 71, 60-65.
- Paganga G., Miller N., Rice E. C. A. 1999.** The polyphenolic content of fruit and vegetables and their antioxidant activities. *Free Radical Research*. 30 (2), 153-162.
- Palomo I., Moore C. R., Carrasco G., Villalobos P., Guzmán L. 2010.** El consumo de Tomates Previene el Desarrollo de Enfermedades Cardiovasculares y Cáncer: Antecedentes Epidemiológicos y Mecanismos de Acción. *IDESIA Arica* 28(3), 121-129.
- Pineda D., Salucci M., Lázaro R., Ferroluzzi A. 1999.** Capacidad antioxidante y potencial de sinergismo entre los principales constituyentes de algunos alimentos. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*. 13 (2), 104-111.
- Preedy R. V., Watson R. R., 2008.** Tomatoes and Tomato Products. Nutritional, Medicinal and Therapeutic Properties; Science Publisher.(libro electrónico)
https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=2q4bsRzV2tIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Tomatoes+and+Tomato+Products.+Nutritional,+Medicinal+and+Therapeutic+Properties&ots=u5Gv8HC_g-&sig=KCpCd8pwveoM-

[scL7f2GaK277rw#v=onepage&q=Tomatoes%20and%20Tomato%20Products.%20Nutritional%2C%20Medicinal%20and%20Therapeutic%20Properties&f=false](#)

- Podsdek A., Sosnowska D., Anders B. 2003.** Antioxidative capacity of tomato products. *European Food Research and Technology*, 217, 296-300.
- Prior R.L., CAO G. 1999.** In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods. *Free Radical Biology Medicine* 27(11/12), 1173-1181.
- Raffo A., Leonardi C., Fogliano V., Ambrosino P., Salucci M., Gennaro L., Burgianesi R., Giuffrida F., Quaglia G. 2002.** Nutritional value of Cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(22), 6550-6556
- Ramírez N. J. S. 2006.** Liofilización de alimentos. Universidad del Valle Cali Colombia:
http://www.researchgate.net/publication/259620189_Liofilizacin_de_alimentos Agosto 2009
- Ramirez J. S., Cañizares J. 2003.** Deshidratación de la papa mediante Liofilización Atmosférica, (Tesis Doctoral) universidad central del Ecuador, escuela de ingeniería química, Quito Ecuador. *Revista Reciteia*.
- Ratti C. 2009.** Advances in Food Dehydration. CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, London New York.
- Re R., Bramley P. M., Rice E. C. 2002.** Effects of food processing on Flavonoids and Lycopene status in a Mediterranean tomato variety. *Free Radical Research* 36 (7), 803-810.
- Rezzoug S. A., Maache R. Z., Mazoyer J., Jeannin M., Allaf K. 2000.** Effect of instantaneous controlled pressure drop process on the hydration capacity of scleroglucan: optimization of operating conditions by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*. 42(1), 73-84.

- Rice E. C.A., Miller N.J., Paganga G. 1996.** Structure antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 20 (7), 933-956.
- Robards K.,Prenzler P.D., Tucker G., Swatsitang P., Glover W. 1999.** Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*. 66(4), 401-436.
- Romero F., Martinez M., Pretel M.T. 2007.** Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en postcosecha de productos agrarios, <http://www.horticom.com/pd/imagenes/65/906/65906.pdf>, consultada el 14 de junio del 2010.
- Rosales M. A., Ruiz J. M., Hernández J., Soriano T., Castilla N., Romero L. 2006.** Antioxidant content and ascorbate metabolism in cherry tomato exocarp in relation to temperature and solar radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.86(10), 1545–1551
- Sadler G., Davis J., Dezman D. 1990.** Rapid Extraction of Lycopene and β -carotene from Reconstituted Tomato Paste and Pink Grape-fruit Homogenates. *Journal of Food Science*, 55(5), 1460-1461
- Samalia A. A., Amans E. B., Babaji B. A. 2011.** Yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) as influenced by mulching, nitrogen and irrigation interval. *Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 1 (3), 90-95.
- Santos P. H. S., Silva M. A. 2008.** Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables. *Drying Technology*, 26, 1421-1437
- SAS institute. 2002.** Statistical Analysis System (SAS), version 6
- Sheehy R., Kramer M., Hiatt W. 1988.** Reduction of polygalacturonase activity in tomato fruit by antisense RNA. *Proceedings of the National Academy Sciences*. USA 85, 8805–8809.
- Shi J., Dai Y., Kakuda Y., Mittal G., Jun S. X.2008.** Effect Of Heating And Exposure To Light On The Stability Of Lycopene In Tomato Purée. *Food Control* 19(5), 514-520.

- SIAP 2011.** Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Agropecuario.
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ventana.php?idLiga=1740&tipo=1> Avance De Siembras Y Cosechas Año Agrícola 2010
- Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela. R. R. M. 1999.** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, (299C), 152-178.
- Slimestad R., Verheul M. 2005.** Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53 (8), 3114–3119.
- Slimestad R., Verheul, M. 2009.** Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Journal of Science and Food Agriculture*, 89(8), 1255- 1270
- Smith J. L., Fratamico P. M., 2005.** Diarrhea-inducing Escherichia coli. En, Foodborne pathogens-microbiology and molecular biology. (357-382). EditorialCaister Academic Press.
- Sneath P.H.A., Sokal R. R. 1973.** Numerical taxonomy, the principles and practices of numerical classification. WH Freeman and Co, San Francisco, p 573
- Sobrinho V. E., Sanz E. M. 2010.** *Solanum* en Flora Ibérica, RJB/CSIC, Madrid, 20-12
- Stevens M.A., Kader A. A. Marjorie, A. 1979.** Potential for Increasing Tomato Flavor via Increased Sugar and Acid Content. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104(1), 40-42.
- Suslow T.V., 2002.** Production practices affecting the potential for persistent contamination of plants by microbial foodborne pathogens. In Phyllosphere microbiology. Pp. 241-256. St. Paul USA. Editorial APS Press.
- Tsotsas E., Mujumdar A. S. 2011.** Modern Drying Technology, Product Quality and Formulation. 3 (5-7) Editorial Wiley VCH.

- Varnalis A. I., Brennan J. G., MacDougall D. B., Gilmour S. G. 2004.** Optimization of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 61(2), 153–163.
- Walker J.R.L. 1962.** Phenolic acids in ‘cloud’ and normal tomato fruit wall tissue. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 13(7), 363–367.
- Wayne W. F., Perkins P. V., Collins J. K. 2002.** A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organics solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309-317.
- Yanovsky 2003.** Entrevista realizada por diario LA NACION, presentada con el título: “en Chumbut, una planta única en el mundo,” lunes 3 de febrero de 2003, argentina.
- Zhu K-X., Lian C-X., Guo X-N., Peng W., Zhou H-M. 2011.** Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ. *Food Chemistry* 126, 122–1126.

XI Anexos

Cuadro 6.1A Curva de calibración de azúcares

Concentración (mg.mL ⁻¹)	Absorbancia
0	0
50	0.261
100	0.635
150	0.994
200	1.335

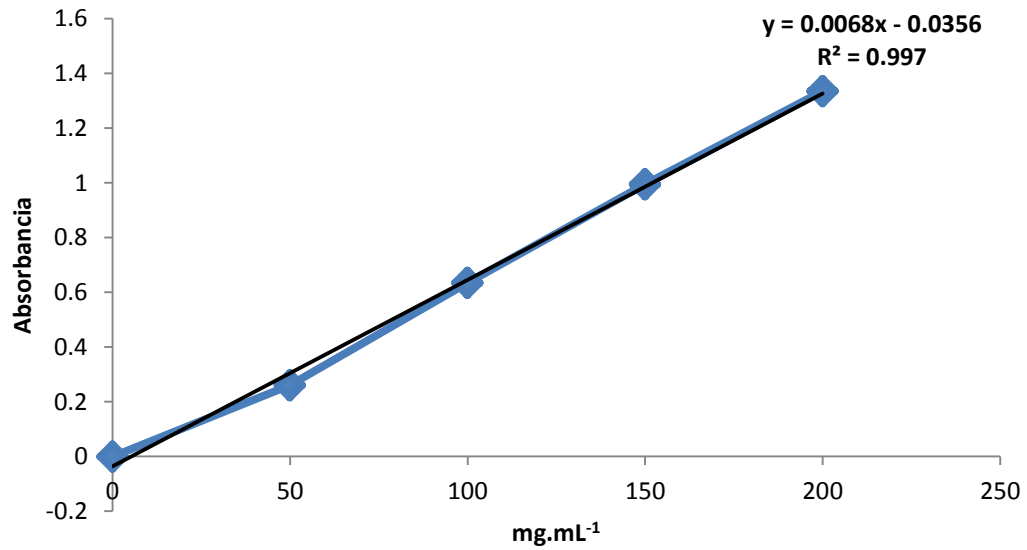


Figura 6.1A Curva de calibración de Azúcares Totales, utilizando como estándar glucosa

Cuadro 6.2A Curva de Calibración de Compuestos Fenólicos Totales

Concentración (mg.mL ⁻¹)	Absorbancia
0	0.003
50	0.044
100	0.084
150	0.139
200	0.201
250	0.249

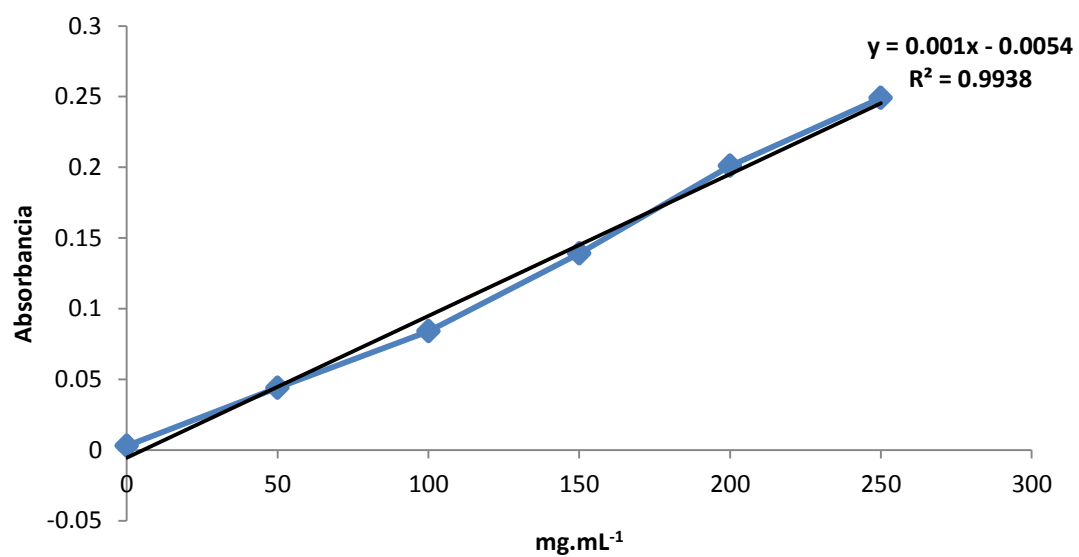


Figura 6.2A Curva de calibración de Compuestos Fenólicos Totales, utilizando ácido gálico como estándar.

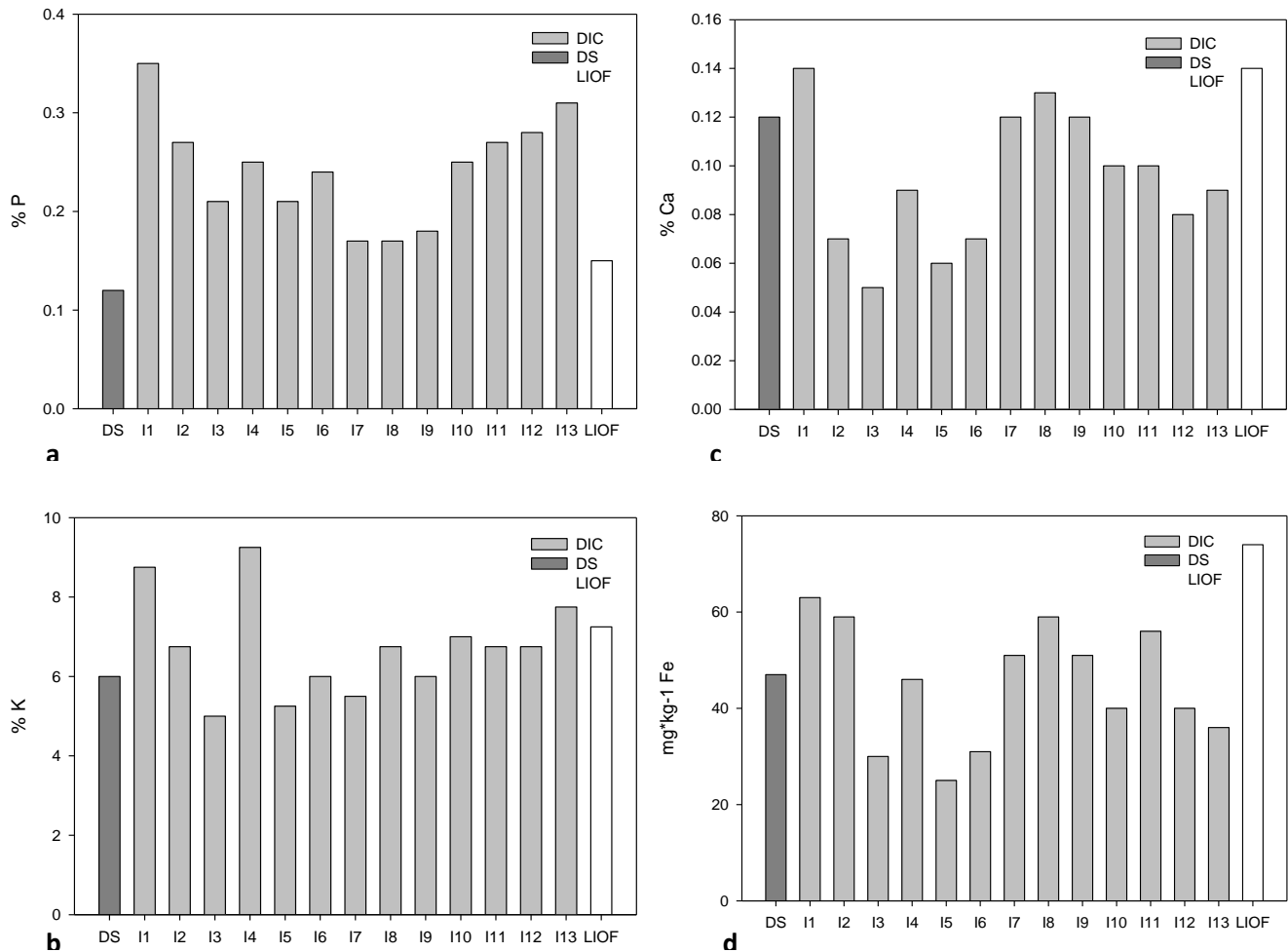


Figura 7.1A Contenido de Minerales para frutos de jitomate deshidratados. a) Fosforo (P) b) Potasio (K). c) Calcio (Ca). d) Hierro (Fe). Tratamientos DIC: I1=2.5 bar/0.41 min; I2=4.0 bar/0.41 min; I3=2.5 bar/0.66 min; I4=2.5 bar/0.41 min; I5=3.6 bar/0.60 min; I6=3.6 bar/0.23 min; I7=2.5 bar/0.41 min; I8=1.4 bar/0.23 min; I9= 1.4 bar/0.60 min; I10 2.5 bar/0.41 min; I11 1 bar/0.41 min; I12 2.5 bar/0.16 min; I13 2.5 bar/0.41 min DS = Deshidratación Solar. LIOF = Liofilización

Cuadro 8.1A Coeficientes de correlación de Pearson

	TD	Presión	Temp	Tiempo	Licopeno	Compuestos Fenólicos Totales	Capacidad Antioxidante	Cl ₅₀	Azúcares solubles totales	Ácido Ascórbico
TD	1.00000									
Presión	-0.13216 0.3868	1.00000								
Temp	-0.37733 0.0106	0.62574 <.0001	1.00000							
Tiempo	0.58233 <.0001	-0.58249 <.0001	-0.97259 <.0001	1.00000						
Licopeno	-0.21036 0.1654	-0.16626 0.2750	-0.51671 0.0003	0.40078 0.0064	1.00000					
Compuestos Fenólicos Totales	0.04332 0.7775	0.47160 0.0011	0.02160 0.8880	-0.00800 0.9584	0.35398 0.0171	1.00000				
Capacidad Antioxidante	-0.29137 0.0521	0.44549 0.0022	0.02095 0.8913	-0.09147 0.5501	0.21281 0.1605	0.37355 0.0115	1.00000			
Cl ₅₀	0.29843 0.0465	-0.90286 <.0001	-0.45561 0.0017	0.47484 0.0010	0.02515 0.8698	-0.60112 <.0001	-0.59666 <.0001	1.00000		
Azúcares solubles totales	0.02174 0.8873	0.50307 0.0004	0.04637 0.7623	-0.03527 0.8181	0.26103 0.0833	0.48625 0.0007	0.47102 0.0011	-0.48192 0.0008	1.00000	
Ácido Ascórbico	-0.68022 <.0001	-0.35754 0.0159	-0.40970 0.0052	0.18884 0.2141	0.61268 <.0001	-0.05601 0.7148	0.26706 0.0762	0.06421 0.6752	-0.05229 0.7330	1.00000

