



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

Y USO INTEGRAL DEL AGUA

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN POR MICROONDAS SOBRE LOS COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN FRUTOS DE XOCONOSTLE

(Opuntia matudae).

TESIS

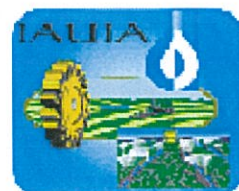
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



PRESENTA:

ANEL CYNDYBELL ROMERO VILLEGAS

Chapingo, Texcoco México, Noviembre 2014

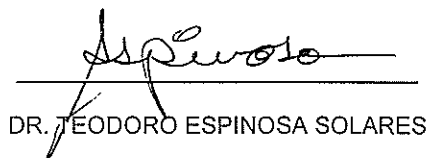


EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN POR MICROONDAS SOBRE LOS COMPUESTOS ANTIOXIDANTES
EN FRUTOS DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*).

Tesis realizada por Anel Cyndybell Romero Villegas bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



DR. TEODORO ESPINOSA SOLARES

CO-DIRECTOR:



DR. DIANA GUERRA RAMÍREZ

ASESOR:



DR. MATILDE VILLA GARCÍA

ASESOR:



M.C. JOSÉ CARLOS MENESES REYES

DATOS BIOGRÁFICOS

Anel Cyndybell Romero Villegas nace en San Felipe, Texcoco, Estado de México un 1 de Julio de 1985, realizó sus estudios de primaria en la escuela La Reforma en el municipio de Texcoco Estado de México. Cursó secundaria en la escuela Secundaria Oficial Netzahualcóyotl # 130 en Texcoco Estado de México. En el año 2000 ingresa a la Unidad Académica Preparatoria #2 de la Universidad Autónoma de Zacatecas, en la ciudad de Zacatecas, Zacatecas. En el año 2005 ingresa a la licenciatura de Químico en Alimentos en la facultada de Ciencias Química de la Universidad Autónoma de Zacatecas egresando en el año 2010. En el año 2012 se postula para ingresar al Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, es aceptada para ingresar en agosto del 2012 y se interesó por el área de Biosistemas, con el trabajo de “EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN POR MICROONDAS SOBRE LOS COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN FRUTOS DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*)”.

DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado hasta este camino, a mis padres que siempre han sido mis pilares y un gran ejemplo de amor y respeto, a mis hermanos por su apoyo incondicional, a Cristian mi amor y compañero de vida, gracias a ustedes por creer en mí aun cuando yo no lo hacía.

A mi hermoso angelito Cloe Aimé Vargas Romero †, y a las personas que siempre llevare en mi corazón, Jesús Villegas Oyarzaval † y Sonia González G. †.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por permitirme seguir con mis estudios a través de la beca de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad que me brindó para desarrollarme académicamente y a todo el personal del posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, al laboratorio de Productos Naturales del Área de Química del Departamento de Preparatoria Agrícola por el uso de sus instalaciones, laboratorios y a todas las personas que en él laboran..

A Dios por la fortaleza que me dio para culminar esta meta en mi vida, rodeándome de personas amadas.

A mis padres Alejandrina y Flavio por su amor incondicional, su sabiduría y confianza a través de mi formación académica, por sus desveladas trabajando para brindarme una mejor educación, solo puedo decirles muchas gracias no los defraudare.

A mi hermanos Dilan y Edder por su apoyo, cariño y su manera de hacerme reír aun en los peores momentos, y por su confianza en mí.

A Cristian por su amor incondicional, su apoyo y su presencia en mi vida, gracias por siempre estar a mi lado aún cuando no salía el sol, por creer en mí y en mis capacidades.

A mis angelitos Cloe Aimé Vargas Romero †, Jesús Villegas Oyarzaval † y Sonia González G. † que aunque en este momento no están conmigo físicamente, lo están en mi corazón y en cada cosa que hago, gracias por cuidarme.

A la Familia Villegas Hernández con todo mi cariño a mis abuelitos que también son mis padres, a mis tía Vicky y Leti por su apoyo en todo momento, a mi tío el Dr. Jacobo que me ha acompañado en mi formación académica, a mis primos, a todos muchas gracias.

A la Familia Romero Chávez por su cariño, su confianza y sobre todo su apoyo, gracias por ser parte de un sueño realizado.

A la Familia Hernández Romero gracias por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, por su cariño y su compañía.

A la Familia Quesnel Romero por sus consejos y su apoyo durante la realización de este trabajo.

A mi director de Tesis Dr. Teodoro Espinosa Solares, por sus sabios consejos, por la presión que siempre ejerció en mi trabajo, me ayudo a ser una mejor estudiante, gracias por creer que sería capaz de realizar este trabajo.

A mi co-directora de Tesis Dr. Diana Guerra Ramírez gracias por todo, por su ayuda sus consejos y por siempre endulzarnos el trabajo, fue un placer trabajar a su lado.

A mis asesores Dr. Matilde Villa García y M.C. José Carlos Meneses Reyes por la paciencia que tuvieron para revisar mi trabajo.

A mis maestros de IAUIA gracias por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales, por el tiempo dedicado aún fuera de las aulas, por su paciencia y sus consejos.

A mis amigos: Dr. Jesús, Nayuki, Brenda, Mari Carmen, Susy, Eddy, Zea, Martín, Jesús, Guille, Nara, Sule, Chela, Karen y en especial a la Dra. Irma Salgado por brindarme su amistad y las oportunidades de mi vida y a todos los que se me escapan en este momento, muchas gracias por su ayuda en la realización de este trabajo, en el laboratorio y fuera de él.

Sería imposible escribir el nombre de todas las personas que han aportado algo para la realización de este trabajo, sin embargo, muchas gracias a todos y cada uno de ustedes que hicieron posible la culminación de una meta más en mi vida, sin ustedes no sé si hubiera sido posible lograrlo.

ÍNDICE

Lista de figuras	i
Lista de figuras de anexos	iv
Lista de cuadros	v
Resumen	vii
Capítulo 1	
1 Introducción	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivos generales	4
1.2.2 Objetivos particulares	4
Capítulo 2	
2 Revisión de Literatura	5
2.1 Xoconostle (<i>O. matudae</i>)	5
2.2 Variedades del xoconostle	6
2.3 Generalidades del xoconostle cv. Cuaresmeño	7
2.4 Propiedades del xoconostle	10
2.4.1 Compuestos antioxidantes en xoconostle	11
2.4.2 Betalaínas	12
2.5 Usos tradicionales en la medicina	15
2.6 Producción nacional de xoconostle	16

2.7 Métodos de conservación por secado de alimentos	19
2.7.1 Secado por microondas	21
2.7.2 Fundamento del calentamiento en microondas	21
2.7.3 Propiedades dieléctricas	23
2.7.4 Parámetros que afectan el calentamiento en microondas	25
2.7.5 Horno de microondas	27
2.7.6 Calidad de los alimentos deshidratados	28

Capítulo 3

3 Materiales y Métodos	33
3.1 Equipo analítico	33
3.1.1 Reactivos	34
3.2 Material vegetal	34
3.3 Morfología del fruto (caracterización física) del xoconostle	35
3.4 Determinación de la potencia del microondas	36
3.5 Secado en el horno de microondas	37
3.6 Actividad de agua a_w	38
3.7 Evaluación del color	38
3.8 Vitamina C (ácido ascórbico)	38
3.9 Extractos metanólicos	40
3.10 Cuantificación de fenoles totales	41
3.11 Cuantificación de flavonoides totales	42
3.12 Cuantificación de betalaínas totales	42
3.13 Actividad antioxidante (DPPH•)	43
3.14 Análisis estadístico	46

Capítulo 4

4 Resultados y Discusión	47
4.1 Características físicas	47
4.2 Determinación de la potencia del microondas	48
4.3 Secado por microondas	50
4.4 Actividad de agua (a_w)	52
4.5 Evaluación del color	54
4.6 Vitamina C	55
4.7 Cuantificación de fenoles	59
4.8 Cuantificación de flavonoides	63
4.9 Cuantificación de betalaínas totales	66
4.10 Actividad Antioxidante	67
4.11 Análisis estadístico	72

Capítulo 5

5 Conclusiones	74
Referencias bibliográficas	75
Anexos	80

Lista de figuras	Página
Figura 1 Características internas y externas del xoconostle (a) y la tuna (b) (Gallegos et al., 2012).	6
Figura 2 Plantas productoras de xoconostle.	7
Figura 3 Partes del xoconostle.	8
Figura 4 Flor del <i>O. matudae</i> (Sánchez, 2006).	10
Figura 5 Ruta de degradación de la betalaína por efecto de la temperatura (Azeredo, 2009).	14
Figura 6 Principales estados productores de xoconostle (Scheinvar and Gallegos, 2009).	17
Figura 7 Estado de México: superficie sembrada (hectáreas) de nopal tunero, nopal verdura y xoconostle (Saravia, 2002).	18
Figura 8 Superficie de producción en porcentaje de xoconostle en el Estado de México (Saravia, 2002).	19
Figura 9 Mecanismo de calentamiento del agua debido al campo de microondas (Tsuji et al., 2005).	22
Figura 10 Esquema de un alimento calentado por microondas (Arballo et al., 2010).	23
Figura 11 Temperatura en la cavidad del microondas al calentar un alimento (Chandrasekaran et al., 2013).	28
Figura 12 Escala de evaluación de color en alimentos (Agudo et al., 2014)	30
Figura 13 Frutas deshidratadas mediante métodos combinados con microondas; HHC (aire caliente-aire frio), H/VM (aire caliente - microondas al vacio), HP (bomba de calor) y HP/VM (bomba de calor- microondas al vacio) (Chong et al., 2013).	32
Figura 14 Material vegetal de xoconostle Cuaresmeño.	35
Figura 15 Caracterización física del xoconostle.	35
Figura 16 Determinación de la potencia del microondas.	36

Lista de figuras	Página
Figura 17	Muestra de xoconostle deshidratado. 37
Figura 18	Evaluación de la a_w del xoconostle a través del tiempo de deshidratación. 38
Figura 19	Estructuras químicas de DPPH• y trolox. 44
Figura 20	Distribución de las muestras (0 s y 15 s de tratamiento en microondas), referencia, blanco y control. 45
Figura 21	Potencia calculada del microondas a diferentes niveles de potencia. Se incluyen barra de error, promedio de 3 muestras. 48
Figura 22	Porcentaje de humedad en el xoconostle antes y después del secado. Se incluyen las barras de error para un promedio de 3 muestras. 50
Figura 23	Pérdida de peso del xoconostle y cambio de temperatura por efecto de secado de microondas con una densidad energética de 2.45 kJ gpf-1. Se incluyen las barras de error, n=3. 51
Figura 24	Cambios físicos y de coloración del xoconostle durante el proceso de secado, n=3. 52
Figura 25	Actividad de agua en función en el contenido de humedad del xoconostle atreves del tiempo de secado en microonda. Se muestran barras de error, n=3. 53
Figura 26	Evaluación de los parámetros “a y b” del color atreves del secado del producto mediante microondas, n=3. 54
Figura 27	Degradación de Vitamina C por efecto del microondas (Valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P<0.05$)). Se presentan barras de error, n=3. 57
Figura 28	Cinética de degradación de la vitamina C y cambio de temperatura durante el secado en microondas. Se muestran barras de error, n=3. 58

Lista de figuras	Página
Figura 29	Fenoles en xoconostle secado en microondas. Valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P<0.05$). Se presentan las barras de error, $n=3$. 60
Figura 30	Comparación del contenido fenólico de varios productos frescos (Coria et al., 2011, Marinova et al., 2005, Thaipong et al., 2006, Beserra et al., 2011) 62
Figura 31	Degradación de flavonoides en xoconostle secado en microondas, valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P<0.05$). Se muestran barras de error, $n=3$. 64
Figura 32	Degradación de las betalaínas totales en xoconostle deshidratado mediante microondas, valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P<0.05$). Se muestran barras de error, $n=3$. 67
Figura 33	Análisis descriptivo de componentes principales; FT (fenoles totales), FI (flavonoides totales), VC (vitamina C) y AA (actividad antioxidante) 72

ANEXOS

Lista de figuras	Página
Figura A	Cambio de peso del xoconostle deshidratado respecto al tiempo de secado a distintos niveles de potencia del microondas. 80
Figura B	Cambio de temperatura externa del xoconostle deshidratado respecto al tiempo de secado a distintos niveles de potencia del microondas. 80
Figura C	Curva de calibración de ácido gálico empleada para xoconostle. 81
Figura D	Curva de calibración de catequina para xoconostle. 81
Figura E	Porcentaje de DPPH degradado con respecto al tiempo de reacción para trolox. 82
Figura F	Porcentaje de DPPH degradado respecto a la concentración mM de trolox. 82
Figura G	Área bajo la curva respecto a la concentración del trolox 83

Lista de cuadros		Página
Cuadro 1	Catorce especies de nopal productoras de xoconostle reconocidas en México (Scheinvar and Gallegos, 2009).	7
Cuadro 2	Características del <i>O. matudae</i> (Scheinvar and Gallegos, 2009).	9
Cuadro 3	Características nutricionales de la cascara del xoconostle (<i>Opuntia spp.</i>) en base seca (García et al., 2005)	11
Cuadro 4	Especies productoras de xoconostle Saín Alto, Zacatecas (Scheinvar and Gallegos, 2009).	16
Cuadro 5	Métodos de secado tradicional (Chandrasekaran et al., 2013).	20
Cuadro 6	Parámetros que afectan el calentamiento (Secmeler, 2003).	26
Cuadro 7	Investigaciones en deshidratación de alimento mediante métodos combinados con microondas.	31
Cuadro 8	Resultado de las características físicas del xoconostle cv. Cuaresmeño.	47
Cuadro 9	Potencia del microondas en los diferentes niveles.	49
Cuadro 10	Contenido de vitamina C en frutas y verduras frescas.	53
Cuadro 11	Contenido de vitamina C en diversas frutas y verduras frescas.	56
Cuadro 12	Contenido de fenoles totales en xoconostle a través del tiempo deshidratado.	59
Cuadro 13	Contenido de fenoles en diferentes productos deshidratados mediante microondas.	61
Cuadro 14	Resultado de flavonoides totales en xoconostle deshidratado a 203.6 W.	63
Cuadro 15	Contenido de flavonoides totales en diferentes vegetales frescos (Marinova et al., 2005)	65

Lista de cuadros		Página
Cuadro 16	Concentración Inhibitoria del 50% del DPPH• del producto deshidratado a través del tiempo.	68
Cuadro 17	Actividad antioxidante del xoconostle deshidratado (RDSC).	69
Cuadro 18	Degradación de la capacidad antioxidante en xoconostle secado en microondas.	70
Cuadro 19	Matriz de correlación, FT (fenoles totales), FI (flavonoides totales), VC (vitamina C), AA (actividad antioxidante), B (betalaínas totales) y CI ₅₀ (concentración inhibitoria).	73

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN POR MICROONDAS SOBRE LOS
COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN FRUTOS DE XOCONOSTLE (*Opuntia
matudae*).**

**EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN
XOCONOSTLE FRUITS (*Opuntia matudae*).**

Anel Cyndybell Romero-Villegas¹ and Teodoro Espinosa-Solares²

Resumen

El xoconostle es utilizado en la comida mexicana, contiene compuestos antioxidantes a los cuales se les atribuye la inactivación de radicales libres. Este trabajo pretende evaluar el efecto de la deshidratación mediante microondas sobre compuestos que contribuyen con la capacidad antioxidante del xoconostle. El xoconostle se deshidrató aplicando una energía de $2.45 \text{ kJ g}_{\text{pf}}^{-1}$ con un horno de microondas. El tiempo de secado fue de 120 s, muestreando cada 15 s. Se evaluó el contenido total de fenoles, flavonoides, betalaínas y capacidad antioxidante a los extractos metanólicos del fruto.

Abstract

The xoconostle is a cactus fruit used to prepare Mexican dishes. It contains antioxidant compounds, which are attributed with the inactivation of free radicals. This work assesses the effect of dehydration by microwave on compounds contributing to the antioxidant capacity of xoconostle. The xoconostle was dehydrated applying $2.45 \text{ kJ g}_{\text{pf}}^{-1}$ of energy with a microwave. The drying time was 120 s, sampling every 15 s. The methanolic extract of the fruit was assessed for total content of phenols, flavonoids, betalains, and antioxidant capacity. Additionally, vitamin C content

Adicionalmente se determinó el contenido de vitamina C y parámetros de color. Los resultados muestran que el contenido de los compuestos evaluados disminuye; sin embargo, desde el punto de vista estadístico, no existe diferencia significativa en la reducción del parámetro de la capacidad antioxidante (RDSC). El producto presentó una actividad acuosa de 0.51.

Palabras clave: Fenoles, betalaínas, vitamina C, RDSC, a_w .

¹ Tesista

² Director

and color parameters were determined.

The results show that the content of the evaluated compounds decreases with microwave drying. However, statistically, there was no significant reduction in the of antioxidant capacity parameter (RDSC).

The product has a water activity of 0.51.

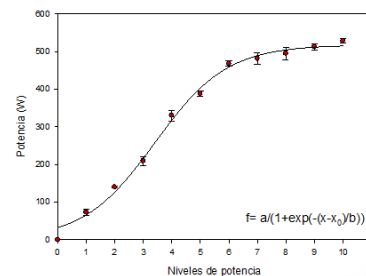
Keywords: Phenols, betalains, vitamin C, RDSC, a_w .

GRAPHICAL ABSTRACT

Xoconostle deshidratado

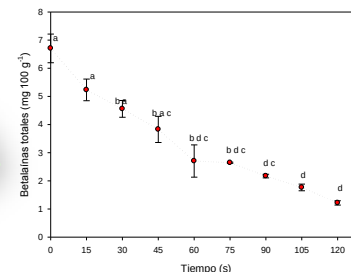


Microondas

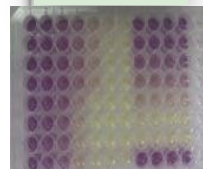


Betalainas

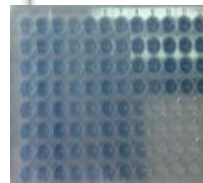
Resultados



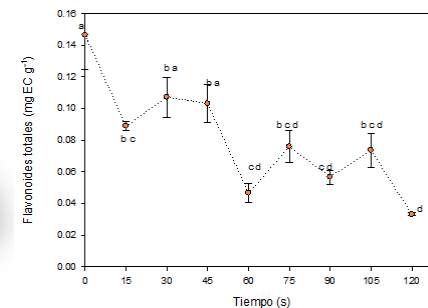
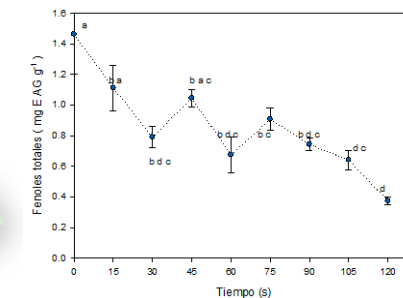
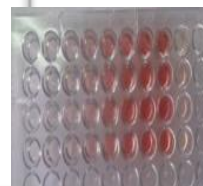
DPPH



Folin-Ciocalteu

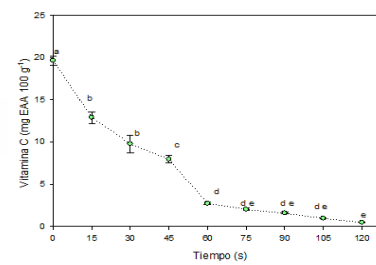


Flavonoides



Extracto metanólico

Vitamina C



CAPÍTULO

1

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las cactáceas han sido motivo de investigación en nuestro país debió a sus múltiples usos; hoy en día, son una opción para las comunidades de zonas áridas y semiáridas de nuestro país como fuente de ingresos para los campesinos (Pinedo et al., 2007).

Los frutos del *Opuntia joconostle* y *Opuntia matudae* comúnmente llamados tunas ácidas o xoconostles, son utilizados como condimento en la comida mexicana, en la fabricación de dulces, mermeladas y bebidas. El xoconostle logra conservarse por varios meses en la planta sin sufrir deterioro, incluso se conserva por varias semanas en lugares frescos y secos sin perder sus propiedades de sabor, color y humedad (Zavaleta et al., 2001).

En años recientes, se ha incrementado la industrialización de productos elaborados a base de xoconostle, por lo cual ha sido importante su conservación

y la continuación de estudios que ayuden a entender mejor los beneficios que puedan aportar sus componentes en la dieta humana (Pinedo et al., 2007).

Existen diferentes especies y variedades de xoconostle; sin embargo, la más importante desde un punto de vista comercial es el xoconostle cv. Cuaresmeño (*O. matudae*). El fruto es consumido en fresco o procesado, llegando a ser apreciado en varios países debido a que es utilizado como medicina tradicional contra la diabetes, la obesidad y enfermedades respiratorias (Guzmán et al., 2010).

Las características del xoconostle tales como; el color de piel y pulpa, textura de la pulpa, contenido de azúcar y acidez del jugo, están relacionadas directamente con la presencia, la concentración y la actividad de compuestos nutricionales y funcionales (García et al., 2005).

Aunque posee amplias características nutricionales con un alto valor nutraceutico, el xoconostle no se considera como un alimento convencional en México, por lo que una de las alternativas para popularizar el consumo del fruto ha sido su industrialización (Reyes et al., 2006).

En la actualidad, el secado por medio de microondas ha ganado popularidad debido a las ventajas sobre el secado convencional, mediante este método se reduce el tiempo de secado sin deteriorar considerablemente su calidad física y nutritiva (Arslan and Musa, 2010).

Recientemente, los frutos secos de diversas especies han sido promovidos como un beneficio en la salud, por lo que su consumo aumenta constantemente convirtiéndose en una valiosa adición a los desayunos, postres, y refrigerios entre comidas (Wojdylo et al., 2009)

Dado el alto potencial de uso y consumo de xoconostle y la falta de información acerca de su composición nutricional, se planteó evaluar el efecto que tiene la deshidratación mediante microondas sobre las propiedades nutritivas y antioxidantes en la pulpa del fruto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto que tiene la deshidratación por microondas sobre los compuestos que contribuyen a la capacidad antioxidante en los frutos de xoconostle.

1.2.2 Objetivos particulares

- Determinar los niveles de potencia posibles en un horno de microondas convencional para elegir aquella que permita obtener xoconostle deshidratado tipo botana.
- Evaluar el contenido de fenoles totales, flavonoides totales, vitamina C, betalaínas totales y capacidad antioxidante en los extractos metanólicos del xoconostle deshidratado por microondas.

CAPÍTULO

2

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Xoconostle (*O. matudae*)

Xoconostle o tuna ácida como lo describe su nombre azteca (xoco= ácido, noxtle= tuna), es producido por una cactácea específica (*Opuntia matudae*) de frutos carnosos y pulpa ácida. Son morfológicamente diferentes a las tunas, las cuales son reconocidas por su dulzor y jugosidad. Ambas plantas crecen en condiciones semiáridas de las mesetas de México, siendo tolerantes a suelos pedregosos y lluvias escasas, logrando convertirse en cultivos formales durante las últimas cinco décadas (Gallegos et al., 2012).

En el caso de los xoconostles, estos no se desprenden de los cladodios cuando maduran, persistiendo en condiciones de cultivo durante uno y hasta tres años, a diferencia de las especies productoras de tunas dulces que solo persisten de 3 a 4 meses sobre ellos.

La pared exterior del xoconostle es delgada como de una pera, mientras que las paredes interiores son gruesas y ácidas. Las semillas del fruto son desechadas y se localizan en el centro con funículos secos o semi-secos, que no acumulan azúcares y en el campo son fácilmente detectados por no ser consumidos por pájaros (Figura 1) (Scheinvar and Gallegos, 2009).



Figura 1. Características internas y externas del xoconostle (a) y la tuna (b) (Gallegos et al., 2012).

2.2 Variedades del xoconostle.

Existe una gran dificultad para la diferenciación de las especies de xoconostle debido a que presentan colores similares entre sí, aunque en la actualidad se reconocen 14 especies productoras de xoconostle en México , en el Cuadro 1 se muestran dichas especies.

En la medida en que se ha incrementado el trabajo de campo, se ha detectado la presencia de estas especies en los estados del país aunque podría elevarse a 20 o más (Scheinvar and Gallegos, 2009).

Cuadro 1. Catorce especies de nopal productoras de xoconostle reconocidas en México (Scheinvar and Gallegos, 2009).

Especies productoras de xoconostle	
<i>O. chavena</i>	<i>O. chiangiana</i>
<i>O. durangensis</i>	<i>O. elizondoana</i>
<i>O. guilanchi</i>	<i>O. heliabravoana</i>
<i>O. joconostle</i>	<i>O. leucotricha</i>
<i>O. matudae</i>	<i>O. oligacantha</i>
<i>O. olmeca</i>	<i>O. spinulifera</i>
<i>O. tehuacana</i>	<i>O. zamudioi</i>

2.3 Generalidades del xoconostle cv. Cuaresmeño

Las cactáceas productoras de xoconostle pueden ser arbóreas de 4.1 hasta 8 m de alto, arbustivas altas de 4 m de alto, subarbustivas de 1 m de alto o rastreras ver Figura 2 (Scheinvar and Gallegos, 2009).



Figura 2. Plantas productoras de xoconostle.

El *O. matudae*, es una planta que produce un fruto de aproximadamente 60 g y un diámetro de 4.5 cm (Osorio et al., 2011). El mesocarpio mide aproximadamente de 1 a 1.3 cm de espesor, es la parte que es consumida como alimento después de remover la delgada piel del fruto (aproximadamente 1 o 2 mm de espesor). El endocarpio está compuesto principalmente por las semillas que generalmente son descartadas.

Morfológicamente, el fruto se caracteriza por tener una forma ovoide o esférica, con una depresión en el extremo distal, llamada también “cicatriz umbilical” que es el lugar donde se encontraba el perianto de la flor (Figura 3) (Guzmán et al., 2010).

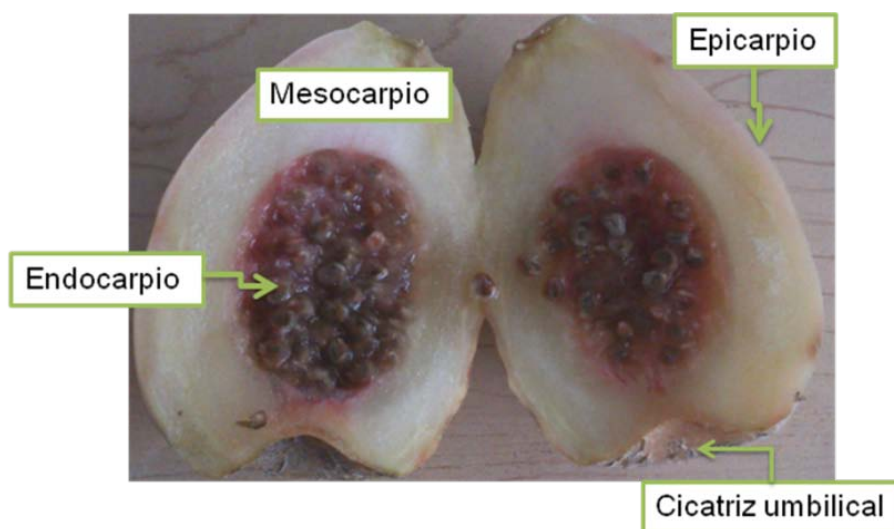


Figura 3. Partes del xoconostle.

En el Cuadro 2 se presentan las características principales del xoconostle (*O. matudae*), especie que se cultiva en el Estado de México.

Cuadro 2. Características del *O. matudae* (Scheinvar and Gallegos, 2009).

Característica	Descripción
Arbustiva	1.5 a 4.5 m de altura
Tronco	Definido y ancho
Cladodio o artículo	Angostamente abovados, de 20-25 cm de largo y de 10-15.5 cm de ancho, verde-azuloso algo grisáceo, generalmente con manchas purpureas alrededor de las aréolas.
Epidermis	Con tricomas y papilas microscópicas. A simple vista es glabra.
Aréolas	De 13-14 cm series espiralazas, distantes aproximadamente 2 cm entre sí. Fielto grisáceo-negruzco. Glóquidas de 2-3 mm de largo, castaño rosado.
Espinas	De 1-8 cm generalmente en todas la aréolas, son desiguales, de 0.7 a 3.5 cm de largo, muy delgadas, flexibles, de color blanco grisáceo o amarillento, con el ápice traslúcido.
Flor	De 5-7 cm de largo y hasta 8 cm de diámetro en la antesis, amarilla brillante con manchas rojas, pasando con el tiempo a rosado y rojo (Figura 4).
Fruto	Elipsoide a periforme de 2.5-4 cm de largo y 1.5-2.5 cm de ancho, externamente verde-purpureo y pulpa roa-rojiza, con cicatriz umbilical profunda; areolas sin espinas, con lana grisáceo y Glóquidas castaño-rojizos.
Semillas	Discoides, de 4 mm de largo, 3 mm de ancho y 2 mm de espesor aproximadamente, blanquecinas con tonos rosados.



Figura 4. Flor del *O. matudae* (Sánchez, 2006).

2.4 Propiedades del xoconostle

Entre las propiedades fisicoquímicas del fruto xoconostle se destaca su acidez, con un pH de 3.7 a 4.5, de ahí su nombre y su restricción de consumo. En contraste a la tuna dulce la cual tiene un pH de 5.2 a 6.0, el pH extremadamente bajo permite al xoconostle conservarse por varias semanas después de haber madurado sin deteriorarse. (Sánchez et al., 2013)

Las características nutricionales de la cáscara de xoconostle de diferentes variedades se presentan en el Cuadro 3 (García et al., 2005) donde se observan las diferencias entre variedades.

Cuadro 3. Características nutricionales de la cáscara del xoconostle (*Opuntia spp.*) en base seca (García et al., 2005).

Propiedad	1	2	3	4	5	6
pH	3.3	3.1	3.2	4.5	2.9	3.1
Proteína (%)	2.9	3.1	3.2	3.2	3.4	2.2
Lípidos (%)	0.8	0.9	1.0	1.2	0.8	0.8
Carbohidratos (%)	12.0	9.1	10.7	15.0	9.3	14.9
Fibra (%)	14.4	11.6	16.7	13.5	14.4	14.4
Na (mg 100 g ⁻¹)	14.4	5.9	12.1	10.9	4.8	10.5
K (mg 100 g ⁻¹)	1776.8	1943.3	3328.7	3277.0	1742.2	1451.8

1, *O. duranguensis*; 2, *O. joconostle* (Colorado); 3, *O. joconostle* (Xoconostle); 4, *O. leucotricha*; 5, *O. matudae* cv. Blanco; 6, *O. matudae* cv. Cuaresmeño.

2.4.1 Compuestos antioxidantes en xoconostle

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante.

Las reacciones de oxidación son las causantes de la producción de radicales libres, los cuales comienzan las reacciones en cadena, causando daño celular. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando el radical libre intermedio e inhiben otras reacciones de oxidación, oxidándose ellos mismos. Debido a esto es

que los antioxidantes son a menudo agentes reductores tales como los polifenoles, las betalaínas, la vitamina C, entre otros (Huang et al., 2005).

Varios estudios han sugerido que la actividad antioxidante de las tunas se debe a su contenido de vitamina C, compuestos polifenólicos, flavonoides (por ejemplo, kaempferol, quercetina, y isorhamnetina), pigmentos (betalaínas) y taurina (Fernández et al., 2010, Osorio et al., 2011) .

La alta capacidad antioxidante en diferentes partes del *O. joconostle* (62.96% en pericarpio, 42.27% en mesocarpio y 51.70% en endocarpio) se ha relacionado con la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides (Osorio et al., 2012).

Los frutos provenientes de *Opuntia* deben su color a la presencia de betalaínas (Sánchez et al., 2013, Osorio et al., 2011), que son pigmentos solubles en agua N-heterocíclicos que se encuentran depositados en las vacuolas (Azeredo, 2009).

Se reporta un contenido de betalaínas y vulgaxantinas de 3.26 mg 100 g⁻¹ y 2.80 mg 100 g⁻¹ en xoconostle (variedad Invierno) (Gallegos et al., 2014) y 0.98 mg 100 g⁻¹ y 2.23 mg 100 g⁻¹ en xoconostle (Cuaresmeño) (Guzmán et al., 2010).

2.4.2 Betalaínas

El ácido betalámico es el precursor de las betalaínas, las cuales consisten en un sistema de 1,7-diazaheptametina, un sistema extendido de electrones π que exhibe un color amarillo canario, dicho ácido puede estar condensado con la ciclo-

Dopa-5-O- β -gucosido para producir betanidina. Siendo la aglicona el precursor común de las betacianinas rojas, que a su vez pueden ser glicosiladas y/o aciladas, produciendo 29 estructuras conocidas hasta la fecha (Azeredo, 2009).

Durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos, a temperatura, es el factor más importante en la estabilidad de las betalaínas, dichos compuestos se degradan con el aumento de las temperaturas entre 50 y 85 °C (Herbach et al., 2006). Esto se debe a que tanto en las betaninas como en las isobetaninas puede ocurrir una ruptura del enlace almidina obteniendo dos compuestos, el ácido betálmico (amarillo brillante) y otro la ciclo- Dopa 5-O- β -glucósido (incoloro); los colores combinados de cada uno de estos compuestos van disminuyendo el valor de absorbancia del espectro de absorción, en la Figura 5 se muestra la ruta de degradación de las betalaínas por efecto de la temperatura.

Al exponer a altas temperaturas las betalaínas generalmente pierden color debido a una deshidrogenación y descarboxilación formando los compuestos de neobetaninas (amarillo) y 17-decarboxi-betanina (rojo naranja) (Azeredo, 2009).

Figura 5. Ruta de degradación de la betalaína por efecto de la temperatura (Azeredo, 2009).

2.5 Usos tradicionales en la medicina

Las semillas del xoconostle contienen aceites vegetales, fibras, almidones y carbohidratos, que le confieren características favorables como alimento nutritivo (Prieto et al., 2006). Recientes evaluaciones en ratones, han demostrado que los extractos de semillas de *O. joconostle* poseen un alto contenido de antioxidantes, capaces de reducir los niveles de colesterol en la sangre (Osorio et al., 2012).

El xoconostle es utilizado, como laxante, ayuda a la disminución de problemas de colitis, pérdida de peso corporal y la reducción de la presión sanguínea (Scheinvar, 1999).

En México, el xoconostle se emplea como tratamiento alternativo de la diabetes mellitus (DM), que es un problema de salud pública en aumento. El consumo habitual de la cascara puede ser útil para controlar la glucosa sérica en individuos con DM2. En personas sanas puede coadyuvar a prevenir hipoglucemia, niveles altos de colesterol y triglicéridos que pueden relacionarse con un síndrome metabólico (Pimienta et al., 2008, Cassiana et al., 2010).

En la actualidad se reporta que el xoconostle es una fuente que provee compuestos funcionales, que podrían incorporarse en formulación de alimentos para prevenir enfermedades degenerativas (Morales et al., 2014).

2.6 Producción nacional de xoconostle

Uno de los principales productores y consumidores de xoconostle en México incluye los municipios del oriente del Estado de México, como Texcoco y San Martín de las Pirámides, en los cuales se cultiva *O. oligacantha* y *O. matudae* comúnmente llamados Chivo y Cuaresmeño respectivamente, siendo Cuaresmeño el más cultivado en la zona y alcanzando un precio superior en el mercado.

Se tienen datos, algunos publicados y otros no publicados, sobre regiones donde hay cultivos de especies productoras de xoconostles en el centro de la República Mexicana por ejemplo: Estado de México, Hidalgo y Jalisco, principalmente, donde hay monocultivos, de más de 20 ha, de varias especies.

En recientes excursiones al estado de Zacatecas, en el municipio de Saín Alto, se observó el crecimiento de 8 especies diferentes en la misma área geográfica, todas silvestres y no utilizadas por los ejidatarios, en el Cuadro 4 se observan las especies productoras.

Cuadro 4. Especies productoras de xoconostle Saín Alto, Zacatecas (Scheinvar and Gallegos, 2009).

Especies productoras de xoconostle	
<i>Opuntia leucotricha</i>	<i>O. chavena</i>
<i>O. matudae</i>	<i>O. joconostle</i>
<i>O. durangensis</i>	<i>O. oligacantha</i>
<i>O. guilanchi</i>	<i>O. spinulifera</i>

Actualmente, la producción de tunas y xoconostles en nuestro país se encuentra ampliamente distribuida en una gran variedad de zonas, con condiciones edáfico-climáticas diversas.

Los Estados que producen tuna y xoconostle pueden agruparse en dos grandes regiones: Región Centro-Norte (Estados de Zacatecas, SLP, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Jalisco) y la Región Centro-Sur (Estados de México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla) (Scheinvar and Gallegos, 2009).

En Figura 6 se observan los estados productores de xoconostle, siendo de los principales el Estado de México, Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí y Jalisco.

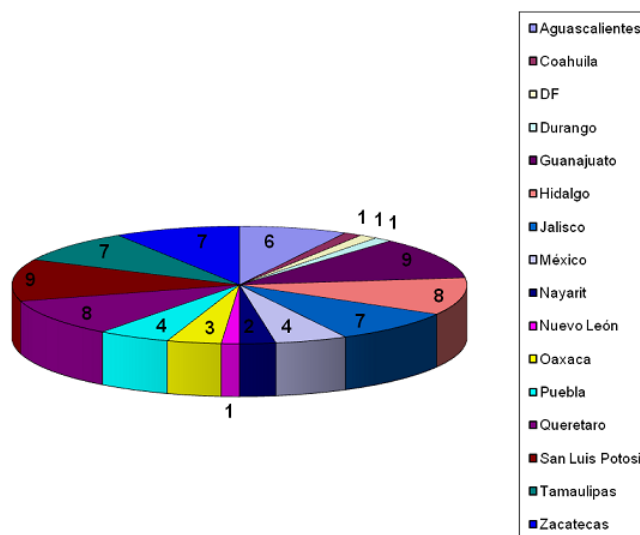


Figura 6. Principales estados productores de xoconostle (Scheinvar and Gallegos, 2009).

Se estima que en el año 2002, en el Estado de México, se sembró cerca de 15,000 ha de nopal tunero, 428 ha de nopal verdura y 1,350 ha de xoconostle. Ello significa que el nopal tunero se constituye en la principal actividad productiva del Estado seguido por el cultivo de xoconostle como se puede observar en la Figura 7.

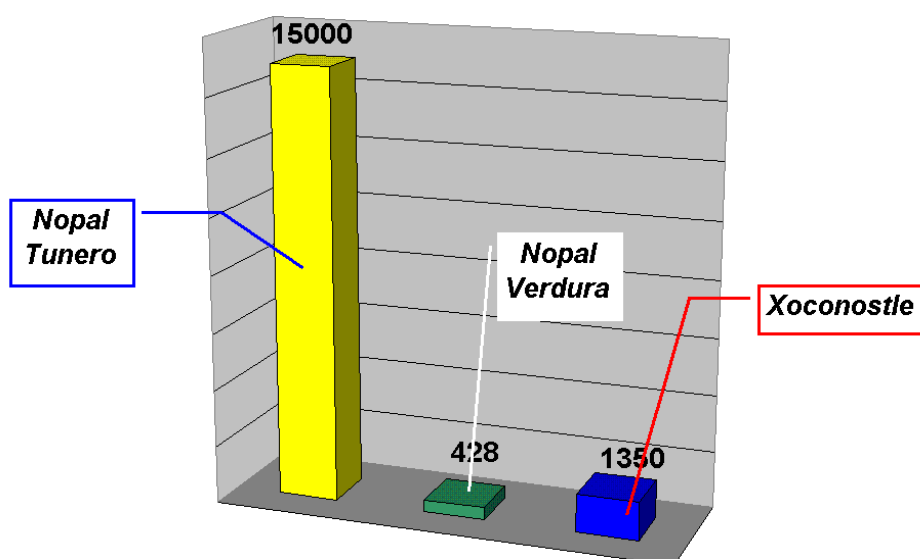


Figura 7. Estado de México: superficie sembrada (hectáreas) de nopal tunero, nopal verdura y xoconostle (Saravia, 2002).

En el Estado de México la siembra y producción de xoconostle se concentra en los municipios de Axapusco y San Martín de las Pirámides (el 22%, respectivamente), lo siguen en orden de importancia Temascalapa (19%), Otumba y Nopaltepec (15%, respectivamente) ver Figura 8 (Saravia, 2002).

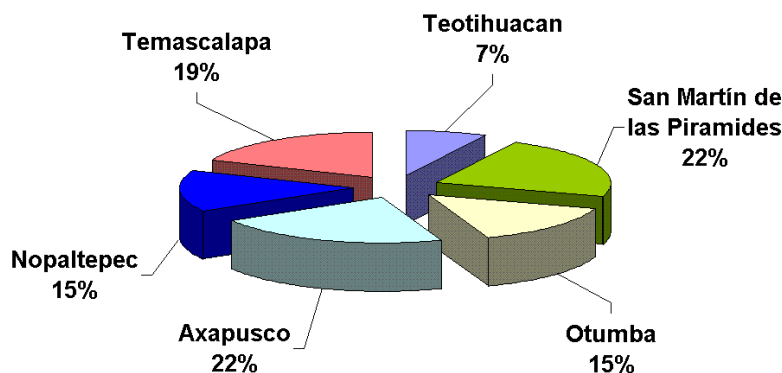


Figura 8. Superficie de producción en porcentaje de xococonostle en el Estado de México (Saravia, 2002).

2.7 Métodos de conservación por secado de alimentos

En los últimos años, los hábitos alimenticios de los consumidores han cambiado hacia un mayor consumo de comida instantánea y productos mínimamente procesados. Este tipo de productos han sido conservados mediante tecnologías térmicas convencional.

Por lo general, se requiere del uso de altas temperaturas combinadas con largos tiempos de proceso, los cuales son asociados con un marcado deterioro de la calidad de los alimentos, especialmente con el desarrollo de malos sabores, alteración del color y la pérdida de compuestos termosensibles (Benlloch et al., 2013).

El secado, es probablemente el método más antiguo de conservación de alimentos, siendo de los más comunes utilizados para mejorar su calidad. Este método logra conservar los alimentos mediante la eliminación de la humedad, por lo tanto la disminución de la actividad acuosa, y en estas condiciones se reduce la

actividad microbiológica, por lo tanto, minimiza los cambios físicos y químicos durante el almacenamiento.

En general, el límite inferior de la actividad de agua para el crecimiento microbiano es 0.90 para la mayoría de las bacterias , 0.87 para la mayoría de las levaduras y 0.80 para la mayoría de los hongos (Zarein et al., 2013).

Una vez deshidratado el alimento, se prolonga el período de almacenamiento en condiciones de temperaturas ambientales, observándose una reducción en peso y volumen. Por lo tanto, la minimización en costos de embalaje y transporte, (Malafronte et al., 2012). La deshidratación de los alimentos se puede llevar a cabo mediante diversos métodos, ver Cuadro 5 (Chandrasekaran et al., 2013).

Cuadro 5. Métodos de secado (Chandrasekaran et al., 2013).

Método de secado	Alimento
Solar y ahumado	Carne y alimentos del mar
Por pulverización	Líquidos, té, café, entre otros.
Lecho fluidizado	Chicharos y lácteos
Por tambor	Leche, ciertos jugos de hortalizas, arándanos y plátanos
Por congelación	Carne, leche, frutas, entre otros.
Osmótico	Frutas y verduras

2.7.1 Secado por microondas

El secado por microondas es un método eficiente en tiempo y energía, además de mejorar la calidad del producto en algunos casos. En el secado por microondas, las ondas electromagnéticas interactúan directamente con las partículas iónicas y moléculas dipolares del alimento, causando la excitación y la fricción entre ellas, generando calor y por consecuencia el rápido aumento de la temperatura.

Cuando la potencia del microondas es apagada, estas actividades son detenidas y la temperatura cae inmediatamente, estas características distinguen el secado por microondas de todos los otros métodos de secado convencionales, donde el calor se suele transportar desde la superficie hacia el núcleo y la temperatura aumenta y disminuye lentamente.

En la etapa intermedia del secado, se elimina rápidamente la humedad, se pierde una gran cantidad de aroma y a menudo se produce la carbonización. Generalmente, la salida del vapor causa daño a la calidad, realizando cambios indeseables en la textura de los alimentos (Zhenfeng et al., 2011).

2.7.2 Fundamento del calentamiento en microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas cuya frecuencia varía dentro de 300 MHz a 300 GHz. Los microondas domésticos operan generalmente a una frecuencia de 2.45 GHz, mientras los microondas industrial operan a frecuencias de 915 MHz y 2.45 GHz.

El calentamiento producido por microondas es causado por la capacidad de los materiales para absorber la energía de las microondas y convertirla en calor. Dicho calentamiento, ocurre principalmente por los mecanismos dipolares e iónicos.

La presencia de agua o humedad provoca el calentamiento dieléctrico debido a la naturaleza dipolar de agua, cuando un campo eléctrico oscilante es incidente en las moléculas de agua, las moléculas dipolares permanentemente tratan de realinearse en la dirección del campo eléctrico (Figura 9).

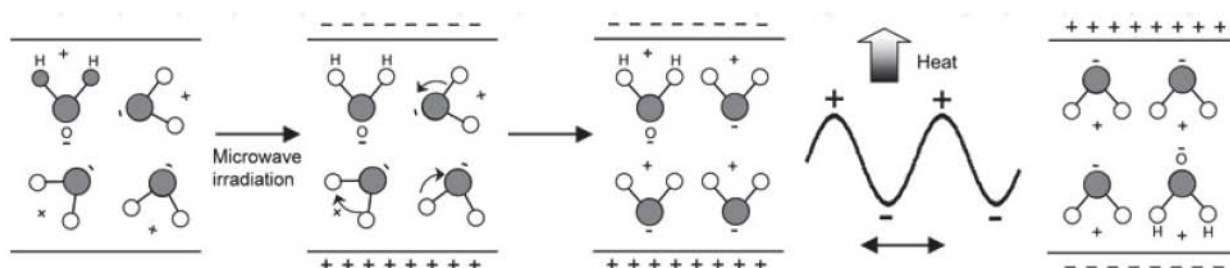


Figura 9. Mecanismo de calentamiento del agua debido al campo de microondas (Tsuji et al., 2005).

Debido a la alta frecuencia del campo eléctrico, este reajuste se produce millones de veces por segundo, haciendo que la fricción interna de las moléculas provoquen el calentamiento volumétrico del material.

Este calentamiento, también puede ocurrir debido a la migración oscilatoria de los iones en la comida, que genera calor en presencia de una alta frecuencia de oscilación del campo eléctrico.

Hay muchos factores que afectan a calentamiento por microondas y su distribución de calor, y las más importante son las propiedades dieléctricas y la profundidad de penetración (Chandrasekaran et al., 2013)

Desde un punto de vista físico, el alimento puede considerarse como una combinación de una matriz sólida, una fase acuosa, y una fase gaseosa (aire y vapor de agua), que pueden cambiar con la composición del material, la estructura y la temperatura, así, como con las características del campo electromagnético, ver Figura 10 (Arballo et al., 2010).

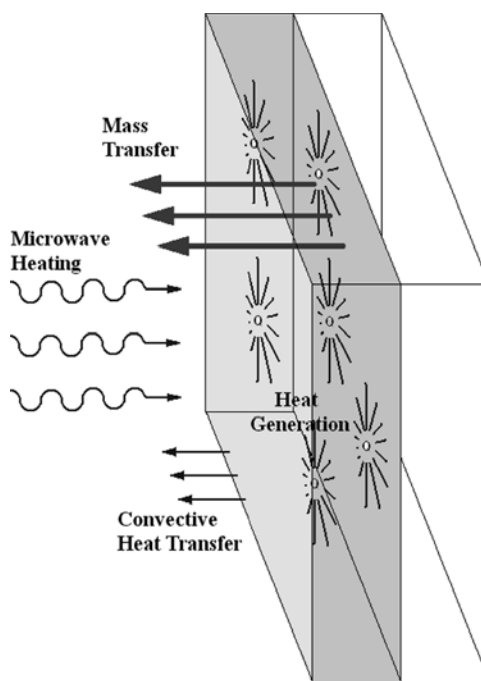


Figura 10. Esquema de un alimento calentado por microondas (Arballo et al., 2010).

2.7.3 Propiedades dieléctricas

La capacidad de un material para convertir la energía del microondas en calor debe entenderse por sus propiedades dieléctricas. La parte real de la propiedad, es denominada como: constante dieléctrica, que significa la capacidad de almacenar la energía eléctrica, y la parte imaginaria es denomina: pérdida

dieléctrica, que significa la capacidad para convertir la energía eléctrica en calor (Chandrasekaran et al., 2013).

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

Donde ϵ' y ϵ'' son la constante dieléctrica y la pérdida dieléctrica respectivamente y $j = \sqrt{-1}$. La tangente de pérdida está definida como: la relación de la pérdida dieléctrica para la constante dieléctrica

$$\tan \delta = \frac{k''}{k'} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2)$$

Donde k' y k'' son la constante relativa dieléctrica y la pérdida dieléctrica respectivamente, las cuales están dadas como $k' = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0}$ y $k'' = \frac{\epsilon''}{\epsilon_0}$ (permisividad del espacio libre, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$).

Las propiedades dieléctricas se ven afectadas principalmente por la temperatura, el funcionamiento y la frecuencia usada en el microondas.

Basado en la absorción de microondas, los materiales son clasificados en:

1. Absorbentes o de alta pérdida dieléctrica, son fuertes absorbentes de microondas.
2. Transparentes o de baja pérdida dieléctrica, donde la energía de microondas pasa a través del material y van desapareciendo.
3. Opacos o conductores que reflejan las microondas.

La cantidad de energía que puede ser absorbida por una sustancia se expresa con la siguiente ecuación:

$$P = \sigma E^2 \text{ [W cm}^{-3}\text{]} \quad (3)$$

Donde P es la potencia absorbida en watts (cm^{-3}), σ el equivalente a la conductividad dieléctrica y E el gradiente del campo eléctrico en volts cm^{-1} .

La profundidad de penetración de la potencia (D_p), se define como la distancia a la que la densidad de potencia disminuye a un valor de $1e^{-1}$ de su valor en la superficie y se expresa como:

$$D_p = \frac{c}{\sqrt{2\pi f} \left[k' \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{k''}{k'} \right)^2} \right\} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

Donde:

$c = (\mu_0 \varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$, f es la frecuencia angular y μ_0 es la permeabilidad del espacio ($\mu_0 = 4\pi^{-7} \text{Hm}^{-1}$) (Chandrasekaran et al., 2013).

2.7.4 Parámetros que afectan el calentamiento en microonda.

El calentamiento de materiales por microondas se ve afectado por una serie de propiedades del equipo y el material que está siendo calentado. El impacto de cada uno de ellos debe ser considerado en el diseño de un sistema de procesamiento, estos parámetros se muestran en el Cuadro 6 (Secmeler, 2003).

Cuadro 6. Parámetros que afectan el calentamiento (Secmeler, 2003)

Parámetros	Descripción
Frecuencia	Existen dos frecuencias disponibles para el calentamiento 915 y 2450 MHz, con longitudes de onda de 0.33 y 0.122 m, respectivamente, afecta la profundidad de penetración en un material.
Potencia del microondas	Cuanto mayor sea la salida de potencia, más rápido es el calentamiento. La variación de la potencia de salida, controla la velocidad de calentamiento y la distribución de la temperatura.
Masa	Se considera, la masa total que se calienta al mismo tiempo, y la masa individual. En cuanto a la masa total, existe una relación directa entre la masa y la cantidad de potencia de microondas, que debe aplicarse para lograr el calentamiento deseado.
Humedad	Cuanto más agua se presenta, mayor es el factor de pérdida dieléctrica, por lo tanto, el calentamiento es mejor.
Densidad	A medida que aumenta la densidad de un material, también lo hace su constante dieléctrica, a menudo de una manera lineal.
Temperatura	La pérdida dieléctrica puede aumentar o disminuir con la temperatura, dependiendo del material. Dado que la temperatura y nivel de humedad cambian durante el calentamiento, pueden tener efecto sobre el factor de la pérdida de la constante dieléctrica.

Parámetros	Descripcion
Tamaño y forma	El tamaño influye en la profundidad de penetración, controlando el calentamiento uniforme, el calentamiento es más uniforme en formas regulares, la presencia de bordes y esquinas afiladas provocan el sobrecalentamiento en estos lugares, es decir, la forma esférica es mejor que un cuadrado.

2.7.5 Horno de microondas

Los componentes de un horno de microondas responsable de la transferencia de energía a un producto alimenticio son: generador de microondas (magnetron), transformador, rectificador y el dispositivo para controlar el suministro de energía de microondas en los alimentos, siendo el más importante el magnetron (Secmeler, 2003).

Se trata de un generador, que convierte la potencia eléctrica en energía de microondas. Esto ocurre en las frecuencias de 2.45×10^9 ciclos por segundo (2450 MHz) o 9.15×10^8 ciclos por segundo (915 MHz). Una pequeña antena en la parte superior del tubo del magnetron recoge estas oscilaciones de alta frecuencia y las transmite a la onda de guía, que es un conducto metálico que sirve como el sistema de acoplamiento entre el magnetron y la cavidad del horno (Secmeler, 2003).

En la cavidad del horno se coloca el alimento, la energía es dirigida y reflejada para calentarlo. La Figura 11 muestra la temperatura del contorno del microondas al calentar muestras de alimentos, la presencia de una mesa giratoria o carrusel mejora la uniformidad del calentamiento en la dirección radial. Por otra parte, la uniformidad de calentamiento varía a través del eje de la rotación (Chandrasekaran et al., 2013).

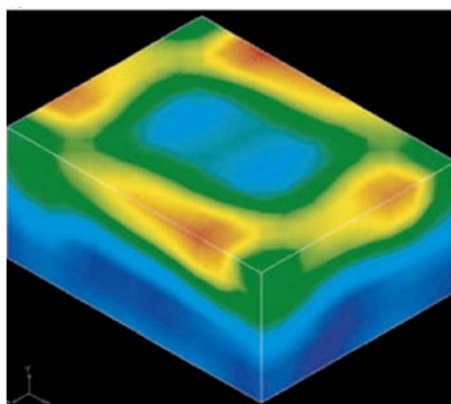


Figura 11. Temperatura en la cavidad del microondas al calentar un alimento (Chandrasekaran et al., 2013).

2.7.6 Calidad de los productos deshidratados

Durante el tratamiento térmico, el alimento puede estar expuesto a elevadas temperaturas que tienen un efecto adverso en la calidad y hacer los productos susceptibles al deterioro del color. Un parámetro de calidad hecho por un consumidor, es su aspecto visual.

El color es uno de los atributo de apariencia más importante para la mayoría de los alimentos, ya que influye en la aceptación del consumidor. Por lo tanto, muchos productores de alimentos utilizan el efecto psicológico del color para mejorar sus productos.

Para minimizar el estrés térmico y mantener los compuestos importantes en los alimentos (carotenoides, vitamina C, tocoferoles, capsaicina), es necesario una selección adecuada de las condiciones de secado.

La pérdida del color es causada por la autooxidación de los carotenoides. Los carotenoides son muy estables cuando están presentes en el tejido vegetal intacto, pero cuando se procesa, los carotenoides son aislados y son vulnerables a los efectos del calor, la luz y el oxígeno de alta tensión.

Dos procesos parecen estar implicados: una degradación autoxidativa, que se acelera por el calor, y una destrucción autocatalítica, que implica la absorción directa de energía luminosa (Ramesh et al., 2001).

El color de los productos es medido por luminosidad L , " a " es el valor que toman los colores de rojo a verdoso y el valor de " b ", con barras de color que van de amarillo a azul (ver Figura 12). Durante el secado los cambios de color son relacionados a las reacciones de pardeamiento u oscurecimiento que van tomando lugar durante el secado de frutas y vegetales.

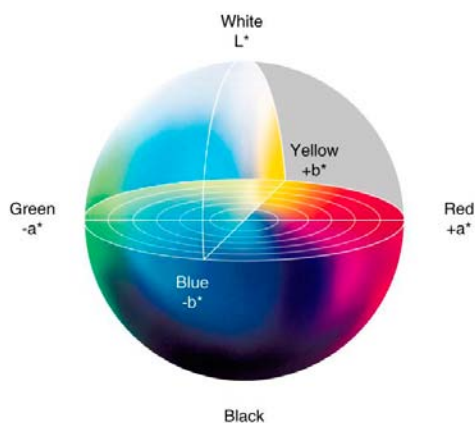


Figura 12. Escala de evaluación de color en alimentos, (Agudo et al., 2014)

El pardeamiento de frutas y vegetales durante el secado es debido a las reacciones enzimáticas y no enzimáticas, el incremento en los valores de “a” denota un tono más rojo, el cual es indicativo de reacciones de pardeamiento.

El secado por microondas causa un pequeño incremento de los valores de “a”, el cual quiere decir que los productos finales son menos cafés que los secados convencionalmente por aire (Vadivambal and Jayas, 2007).

En el Cuadro 7, se muestran trabajos previos y sus hallazgos principales en deshidratación de alimentos mediante microondas y métodos combinados. Observándose reducciones considerables en los compuestos antioxidantes al final del secado.

Cuadro 7. Investigaciones en deshidratación de alimento mediante métodos combinados con microondas. FT, fenoles totales; AA, Actividad Antioxidante; Vit. C, Vitamina C; FI, flavonoides

Producto	Método	Potencia (kJ g _{pf} ⁻¹)	Parámetros evaluados	Principales hallazgos	Referencia
Durazno	Microondas-aire caliente	1.5	FT	FT disminuye en un 60%	(Igal et al., 2012)
Betabel	Microondas	12.0	Betanina AA Color Vit. C	Cambio de color de rojo a amarillo. AA disminuye 30% en 20 min.	(Pires et al., 2013)
Col	Microondas	6.7 10.1 13.4	FT Flavonoides AA Firmeza Color	Disminución del 90, 73, 98, 61.6 y 36.9% de FT, FI, AA, firmeza y color respectivamente	(Jaiswal and Abu- Ghannam, 2013)
Aguaymanto	Microondas- convectivo	5.7	FT AA	Reducción del 75% en FT y AA	(İzli et al., 2014)
Cascara cítricos	de Microondas	16.0 19.8 22.5 20.2 15.0	FT Color	Se observó en la potencia 450 W una mínima pérdida de FT (40%) y un cambio de color	(Ghanem et al., 2012)
Manzana Mango Papaya	Microondas-aire caliente al vacío.	0.9	FT AA	Reducción del 9-70% de FT y para la AA una pérdida del 20-88.7%	(Chong et al., 2013)
Pera	Microondas –bomba de calor al vacío	2.2			

En la Figura 13 se muestran algunos ejemplos de frutas deshidratadas mediante métodos combinados con microondas, observándose el cambio de color, tamaño y forma.

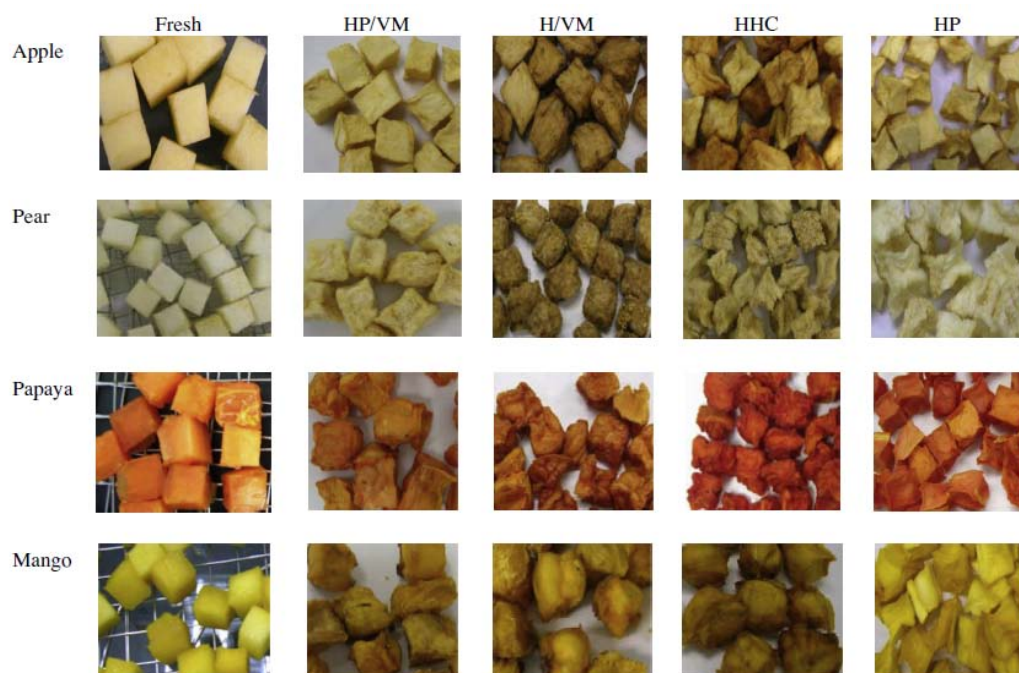


Figura 13. Frutas deshidratadas mediante métodos combinados con microondas; HHC (aire caliente-aire frío), H/VM (aire caliente-microondas al vacío), HP (bomba de calor) y HP/VM (bomba de calor- microondas al vacío) (Chong et al., 2013).

CAPÍTULO

3

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Equipo analítico

Para la realización del trabajo experimental se utilizaron los siguientes equipos analíticos:

Balanza analítica (Precisa, XT 120A, capacidad 120 g, precisión ± 0.1 mg), Vernier digital Mitutoyo (ABSOLUTE, precisión ± 0.001), Lector de micro placas equipado con bombas de inyección automáticas y un software de análisis de datos Gen5TMdata (Biotek Instruments Inc., Winooski, VT, USA), Sonicador (8890, Cole-Parmer), Incubadora con agitación (Thermo scientific, MxQ 4450 Shaker, 5-500 rpm), Horno de microondas domestico; “ACROS”, Modelo: AM1007Q, 120 V, 60 MHz y 1050 W, Sensor de temperatura, Potenciómetro (Conductronic, pH120), Estufa eléctrica, Parrilla con agitación, Centrifuga (J-600, SOLBAT), Vortex, Termómetro infrarrojo (FLUKE 501 de GRAINGER de -40 a 500 °C, ± 1 °C.), Aqualab Model Series 3TE Serial No 0403845 (± 0.003 a_w). Dispositivo Xerox WorkCentre 7120/7125.

3.1.1 Reactivos

Reactivo de Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio anhidro, ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico (ácido gálico), ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (trolox), 2,2'-difetil-1-picrilhidrazilo (DPPH•), catequina, cloruro de aluminio, nitrito de sodio, hidróxido de sodio, ácido ascórbico, ácido metafosfórico, 2,6-dicloroindofenol, ácido acético glacial, metanol, ácido clorhídrico, agua destilada y buffer pH 4 y 7.

3.2 Material vegetal

Los frutos de xoconostle *O. matudae* cv. Cuaresmeño fueron recolectados (buscando uniformidad entre los frutos) en el mes de mayo, en la localidad de San Martín de las Pirámides, Estado de México en su etapa de madurez, los cuales estuvieron libres de daño morfológico y patológico. Almacenados a temperatura ambiente en oscuridad, para su posterior evaluación.

Los xoconostles presentaron colores y tamaños uniformes con forma ovoide y una depresión en el extremo distal, llamado también “cicatriz umbilical”. Los frutos fueron lavados y separados en pericarpio (cáscara), mesocarpio (pulpa comestible) y endocarpio (mucílago con semillas), para su posterior deshidratación, ver Figura 14.



Figura 14. Material vegetal de xoconostle antes de ser sometido a la deshidratación.

La fase experimental se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Productos Naturales del Área de Química del Departamento de Preparatoria Agrícola, de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.3 Morfología del fruto (caracterización física) del xoconostle

Para esta determinación, se seleccionó treinta frutos sanos de xoconostle, cada uno de ellos se pesó en una balanza analítica y con la ayuda del vernier digital, se midió la altura y el espesor de cada fruto (Figura 15).



Figura 15. Caracterización física del xoconostle.

3.4 Determinación de la potencia del microondas

Para el cálculo de la potencia del microondas, se introdujeron 100 mL de agua destilada por un periodo de 15 s dentro de la cámara del microondas, como lo muestra la Figura 16, una vez sometida al tratamiento se midió el cambio de peso y de temperatura, el procedimiento anterior se repitió por triplicado para cada uno de los 10 niveles de potencia del equipo de microondas (Domínguez, 2011).

Para calcular la potencia utilizada por el microondas se utilizó la siguiente ecuación 5:

$$P = \frac{(m_1 + m_2)C_p\Delta T + m_2\lambda}{t} \quad (5)$$

Donde P es la energía del microondas (W), m_1 es a masa del agua calentada, C_p es la capacidad calorífica del agua, ΔT es el incremento de la temperatura, m_2 es la masa perdida por evaporación, λ es el calor de vaporización del agua y t es el tiempo (s).



Figura 16. Determinación de la potencia del microondas.

3.5 Secado en horno de microondas

Las muestras de xoconostle, con dimensiones de 5 cm de diámetro y 1 cm de espesor fueron sometidos a secado en un horno de microondas doméstico, ver Figura 17.

El xoconostle fue deshidratado en un periodo de 120 s, tomando muestras en intervalos de 15 s para los análisis posteriores, realizando tres repeticiones del secado.



Figura 17. Muestra de xoconostle deshidratado en un horno de microondas.

Se registró el cambio de peso y de temperatura con un termómetro infrarrojo en cada intervalo. Mediante pruebas preliminares al trabajo experimental se caracterizó las potencias a las que trabaja el horno de microondas, determinando la potencia de cada una mediante la metodología descrita por Domínguez (2011).

Para el presente trabajo se deshidrato el fruto en el nivel de potencia 3 del microondas, debido a que el producto mostraba características tipo botana.

3.6 Actividad de agua (a_w)

Para la determinación de la actividad de agua del producto sometido a diferentes tiempos de deshidratación, se utilizó el equipo Aqualab, ver Figura 18.

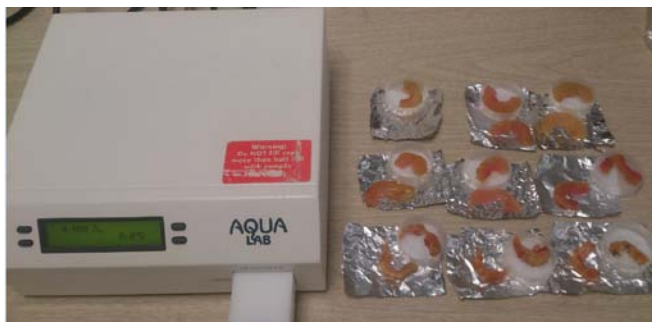


Figura 18. Evaluación de la a_w del xoconostle a través del tiempo de deshidratación.

3.7 Evaluación de color

La evaluación del color del xoconostle a través del tiempo de secado se llevo a cabo digitalizando las muestras con el dispositivo Xerox, mediante el software Adobe Photoshop CS5 se determino el valor de los parámetros “a y b”.

3.8 Vitamina C (ácido ascórbico)

Se empleó el método de titulación visual del 2-6-diclorofenol indofenol (AOAC, 1997). La técnica consistió en triturar 1 g de cada muestra tratada mediante microondas con 5 mL de la solución extractora de ácido metafosfórico al 3 %. Se agitó en el vortex por 5 min y se centrifugó 10 min. Se tomó la capa superior y el precipitado se trato nuevamente con 5 mL de la solución extractora repitiendo el procedimiento anterior, se colocó en un matraz erlenmeyer la mezcla de ambos

extractos y se tituló una alícuota de 2 mL por triplicado con la solución de sal sódica de 2-6-diclorofenol indofenol hasta que viró de color azul a rosa.

Tan pronto como la sal sódica se puso en contacto con el ácido inmediatamente se decoloró por acción de la vitamina C, se tomó la lectura del volumen gastado hasta que se presentó un tono rosa y persistió por lo menos 10 s.

Se preparó una solución estándar de ácido ascórbico (0.04 mg mL^{-1}) diluida en solución de ácido metafosfórico al 3 % y como titulante, una solución de indofenol (0.01 mg mL^{-1}). Posteriormente se tomó 2 mL de estándar de ácido ascórbico y se tituló para calcular el factor F. Se hizo una determinación utilizando como blanco la solución de ácido metafosfórico al 3% para corregir las titulaciones.

Los resultados se expresaron en mg Equivalentes de Ácido. Ascórbico por g de muestra ($\text{mg EAA } 100 \text{ g}^{-1}$).

El contenido de vitamina C en xoconostle se calculó mediante la siguiente ecuación 6:

$$\text{Vitamina C} = \frac{(V - V_1) F V}{M V} \quad [\text{mg EAA } 100 \text{ g}^{-1}] \quad (6)$$

Donde:

V= mL gastados en la titulación de la muestra

V_1 = mL gastados en la titulación del blanco

F= mg de ácido ascórbico contenido en 1 mL de la solución titulada de la sal sódica 2-6 diclorofenol indofenol

M= g de la muestra

U= mL inicial de la muestra

V= mL de la alícuota de la muestra

Se determinó el orden de reacción mediante la ecuación de Arrhenius:

$$\frac{A}{A_0} = e^{-kt} \quad (7)$$

Donde A es el parámetro estimado, y el subíndice 0 indica el valor inicial del parámetro, t es el tiempo del tratamiento con microondas y k es la constante de velocidad.

3.9 Extractos metanólicos

Las muestras sometidas a calentamiento fueron trituradas (1 g), se mezclaron con metanol al 80% (5 mL) y se acidificó con HCl al 5% hasta alcanzar un pH de 3. Esta mezcla se agitó durante 30 min a temperatura ambiente de esta manera se aseguró la solubilización de los componentes y se mantuvo en oscuridad para evitar la degradación de los compuestos de interés.

Una vez transcurridos los 30 min, se sometió a sonicación durante 15 min, se colocó en el vortex 3 min, finalmente se filtró y el residuo se sometió a una segunda extracción repitiendo el procedimiento anterior. Ambos filtrados se mezclaron y se aforaron a un volumen de 10 mL con la solución extractora metanol al 80% (Osorio et al., 2012).

3.10 Cuantificación de fenoles totales

La cuantificación de compuestos fenólicos se llevó a cabo mediante el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (mezcla de fosfomolibdato y fosfotungstato), llevándose a cabo una oxidación en solución alcalina entre los fenoles presentes de la muestra y el reactivo, dando como resultado una coloración azul (Cicco et al., 2009). Se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 760 nm después de 30 min de reposo. El ácido gálico, compuesto polifenólico, se utilizó como estándar para la elaboración de la curva de calibración (Figura A, anexos). A partir de una disolución con una concentración de 0.496 mg mL^{-1} de la cual se tomó alícuotas para obtener 6 disoluciones con las siguientes concentraciones: 0.002, 0.005, 0.007, 0.009, 0.01 y $0.015 \text{ (mg mL}^{-1}\text{)}$.

También se utilizó una disolución de carbonato de sodio al 20% (p/v) que brindó la alcalinidad a la reacción, el reactivo Folin-Ciocalteu y se diluyó con agua destilada con una proporción de 1:10 (v/v).

En una microplaca de 96 pozos se mezcló, en cada pozo, $25 \mu\text{L}$ de los extractos metanólicos de cada tratamiento de xoconostle deshidratado y de las diferentes diluciones de ácido gálico, $30 \mu\text{L}$ de carbonato de sodio al 20 %, $125 \mu\text{L}$ de agua destilada y $20 \mu\text{L}$ del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido.

Cabe mencionar que el agua y el reactivo de Folin-Ciocalteu fueron inyectados automáticamente por el equipo de microplacas. El contenido de fenoles totales se expresó en mg Equivalentes de Ácido Gálico por gramo de muestra (mg EAG g^{-1}).

3.11 Cuantificación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se hizo a través de un método colorimétrico (Morales et al., 2012) con ligeras modificaciones. Como estándar para la elaboración de la curva de calibración se utilizó un flavonoide llamado Catequina (Figura B, anexos). A partir de una disolución de concentración 0.293 mg mL^{-1} , se tomaron alícuotas para obtener 5 disoluciones con las siguientes concentraciones: 0.015, 0.029, 0.059 y $0.176 \text{ (mg mL}^{-1}\text{)}$ usando como blanco metanol al 80%.

En placa de 96 pozos se mezcló $50 \mu\text{L}$ de agua destilada, $65 \mu\text{L}$ de cada uno de los extractos metanólicos y las disoluciones de la curva de calibración, $15 \mu\text{L}$ de NaNO_2 al 5%, después de 6 min se adicionó $20 \mu\text{L}$ de AlCl_3 al 10%, dentro del equipo se agitó la muestral y pasados 6 min finalmente se añadió $50 \mu\text{L}$ de NaOH al 4% y $50 \mu\text{L}$ de agua destilada, se agitó después de 15 min se leyó su absorbancia a una longitud de onda de 510 nm. El resultado de flavonoides totales se expresó en mg Equivalentes a Catequina por gramo de muestra (mg EC g^{-1}).

3.12 Cuantificación de betalaínas totales

El contenido de betacianinas y betaxantinas se cuantificó mediante la absorbancia de los extractos metanólicos a 535 y 480 nm. Para la conversión de las unidades de absorbancia en unidades de concentración se utilizó la ecuación de Lambert-Beer

$$A = \epsilon Lc \quad (8)$$

Dónde A es la absorbancia a 535 nm para betacianinas y 480 nm para betaxantinas, ϵ es el coeficiente de extinción molar (Betacianina = 60 000 L (mol.cm)⁻¹, y betaxantina = 48 000 L (mol.cm)⁻¹) y L es la longitud del pozo (0.38 cm) y c es la concentración (mg g⁻¹). Los resultados de betalaínas son equivalentes a la sumatoria del contenido de betacianinas y betaxantinas, que se expresó como: betalaínas totales (mg 100 g⁻¹) (Prakash et al., 2013).

3.13 Actividad antioxidante (DPPH•)

La evaluación de la actividad antioxidante del xoconostle deshidratado por microondas se realizó mediante de ensayo de la capacidad de remoción del DPPH• (Cheng et al., 2006).

Para la preparación de todas las disoluciones se utilizó metanol al 80 %. La disolución stock de DPPH•, se preparó el mismo día con una concentración final de 202.9 µM y se almacenó en oscuridad para evitar su degradación.

El trolox análogo a la vitamina E, fue utilizado como antioxidante de referencia, a una concentración de 495.4 µM. A partir se tomó diferentes alícuotas para obtener diluciones con las siguientes concentraciones: 0.62, 9.9, 19.8 y 37.1 µM·mL⁻¹. En la Figura 19 se observan las estructuras químicas del DPPH y trolox.

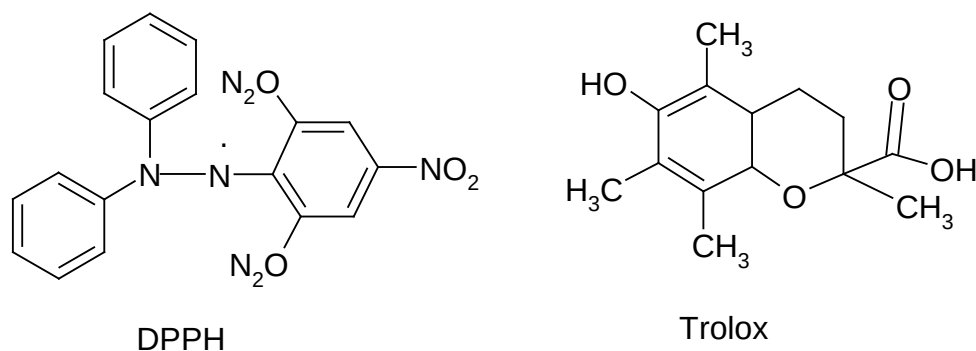


Figura 19. Estructuras químicas de DPPH• y trolox.

Para cada uno de los extractos metanólicos del xoconostle deshidratado se hicieron 4 diluciones para obtener 4 concentraciones diferentes. En una microplaca de 96 pozos se distribuyeron 100 μL de cada una de las cuatro concentraciones de los extractos y 100 μL en diferentes concentraciones de trolox, 100 μL de disolución de metanol al 80% y 8 pozos para el blanco, se colocó 200 μL de metanol al 80%.

El equipo por inyección automática adicionó 100 μL de DPPH• [202.9 μM] a todos los pozos con excepción del blanco, la placa se agitó por 20 segundos y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm siguiendo las lecturas cada minuto por un periodo de 30 min.

En la Figura 20 se observa un ejemplo de la distribución de las muestras, Trolox, blanco y control dentro de la microplaca.

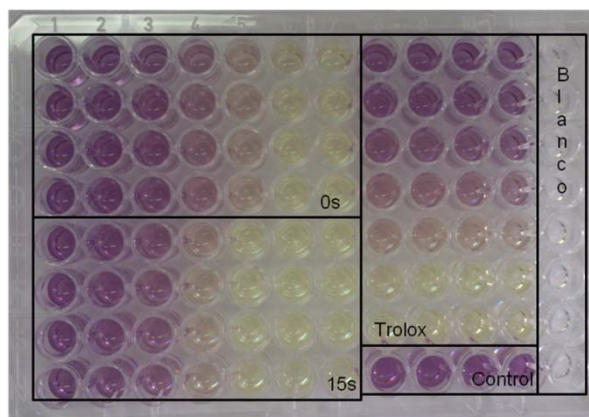


Figura 20. Distribución de las muestras (0 s y 15 s de tratamiento en microondas), referencia, blanco y control.

Para estimar la capacidad total de remoción del radical DPPH• se calculó el %DPPH• degradado de acuerdo a la ecuación 9:

$$\%DPPH_{degradado} = \left[1 - \frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right] \times 100 \quad (9)$$

Dónde A_m , A_b y A_c representan las absorbancias de las diferentes concentraciones seleccionadas de la muestra, blanco y control leídas a 515 nm después de 30 minutos de reacción con el radical DPPH•.

Los valores del porcentaje de DPPH• degradado a diferentes tiempos de reacción obtenidos de la ecuación (9) se graficaron contra el tiempo de reacción (Figura C, anexos). A partir de las cinéticas de degradación, se obtuvieron los valores del área bajo la curva para cada muestra evaluada y para el trolox. El área bajo la curva (AUC por sus siglas en ingles) se calculó aplicando la ecuación (10)

$$AUC = 0.5 f_0 + (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{i-1}) + 0.5 * f_i \quad (10)$$

Donde f_0 es el % de DPPH• inicial y f_i es el % DPPH• total consumido a un determinado tiempo de reacción, en este caso a 30 min. Los datos se procesaron para calcular las áreas bajo la curva de cada tratamiento y del Trolox. Las áreas bajo la curva se graficaron contra la concentración. (Figura D,E y F, anexos).

El valor de CI_{50} ; concentración requerida de un antioxidante seleccionado para reducir la concentración de DPPH• al 50%, se calculó a partir del porcentaje de DPPH• degradado que permaneció después de 30 min de reacción, tiempo en el que ya no se observaron variaciones en los valores de la absorbancia (Herald et al., 2012).

Para calcular el valor de RDSC (capacidad relativa de captación de DPPH•, por sus siglas en ingles) se aplicó la ecuación (11) que relaciona el área bajo la curva de las muestras (extractos metanólicos de xoconostle) y el área bajo la curva del trolox al degradar el 50% del radical DPPH•.

$$RDSC = \left[\frac{ABC_m}{ABC_T} \right] \times \left[\frac{\text{molaridad del Trolox}}{\text{masa de la muestra}} \right] \quad (11)$$

Los valores de RDSC se expresaron en μmol Equivalentes de Trolox por gramo de muestra ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$).

3.14 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico ANOVA, con un nivel de significancia del 0.05 para cada tratamiento con ayuda del Software SAS versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, EE.UU).

CAPÍTULO

4

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características físicas

Los frutos de xoconostle presentaron forma elíptica y en la mayoría de los materiales evaluados no se observaron diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey a una ($P < 0.05$). En el Cuadro 8 se observan los resultados para longitud ecuatorial (diámetro, cm), masa (g) y longitud polar (largo, cm).

Cuadro 8. Resultado de las características físicas del xoconostle.

Diámetro (cm)	Largo (cm)	Peso(g)	Especie	Fuente
4.9 ± 0.43	5.6 ± 1.14	66.5 ± 0.1	<i>O. matudae</i>	Este trabajo
3.2 - 6.4	3.2 – 4.7	18 – 71.9	<i>O. duranguensis</i>	(García et
			<i>O. joconostle</i>	al., 2005)
			<i>O. leucotricha</i>	

Promedio de 30 frutos, se incluye el error estándar.

El fruto estudiado de xoconostle cuaresmeño, se encuentra dentro del rango de peso y medias de las variedades de xoconostle, excepto en el diámetro que se muestra superior.

4.2 Determinación de la potencia del microondas

De acuerdo a la metodología descrita por Domínguez (2011), se calculó la potencia para los diferentes niveles del microondas, donde los resultados se muestran en la Figura 21.

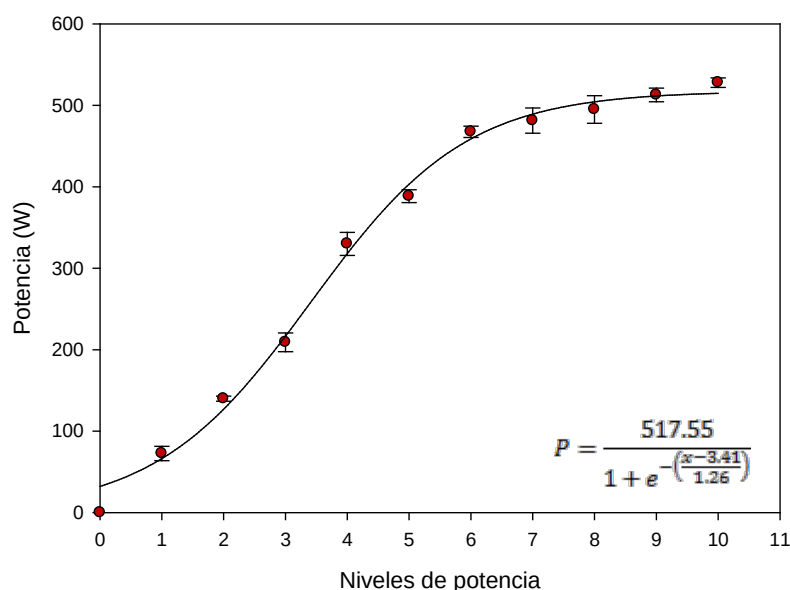


Figura 21. Potencia calculada del microondas a diferentes niveles de potencia. Se incluyen barra de error, promedio de 3 muestras.

Se realizó los cálculos para los 10 niveles de potencia del microondas, aplicando 15 s el tratamiento a una cantidad de agua (de acuerdo al procedimiento 3.4), se observó que el incremento de la potencia siguiendo un comportamiento de una curva sigmoidea ($r^2 = 0.9924$), hasta el nivel de potencia 6 (Figura 21); de este nivel de potencia hasta el nivel de potencia 10, la potencia no se incrementó,

manteniéndose constante. Este comportamiento puede atribuirse a que en los 15 segundos de tratamiento aplicados al agua, los niveles de potencia de 6 a 10 no alcanzan a desarrollarse, ya que necesitan más tiempo para alcanzar la potencia programada, esto se debe al modo de funcionamiento del microondas, lo que no ocurre para los niveles de potencias de 1 a 5.

Para el diseño experimental de este trabajo, se tomó el nivel de potencia 3, con un valor estimado de 203.6 W equivalente a una densidad energética de $2.45 \text{ kJ g}_{\text{pf}}^{-1}$. En el Cuadro 9 se expresan los resultados obtenidos de la potencia (W) para cada nivel del microondas.

Cuadro 9. Potencia del microondas en los diferentes niveles.

Nivel de Potencia	Potencia(W)
1	68.0 ± 0.9
2	139.9 ± 1.8
3	203.6 ± 7.4
4	328.7 ± 7.6
5	388.6 ± 4.5
6	469.3 ± 2.8
7	486.6 ± 10.3
8	490.3 ± 6.6
9	518.3 ± 3.5
10	530.8 ± 0.7

Se incluye el error estándar de un promedio de 3 muestras.

4.3 Secado por microondas

Las muestras de xoconostle con humedad de $93.9 \pm 0.18\%$ se deshidrataron de forma intermitente en un horno de microondas aplicando una densidad energética de $2.45 \text{ kJ g}_{\text{pf}}^{-1}$ hasta reducir la humedad a $31.5 \pm 0.30\%$ (Figura 22).

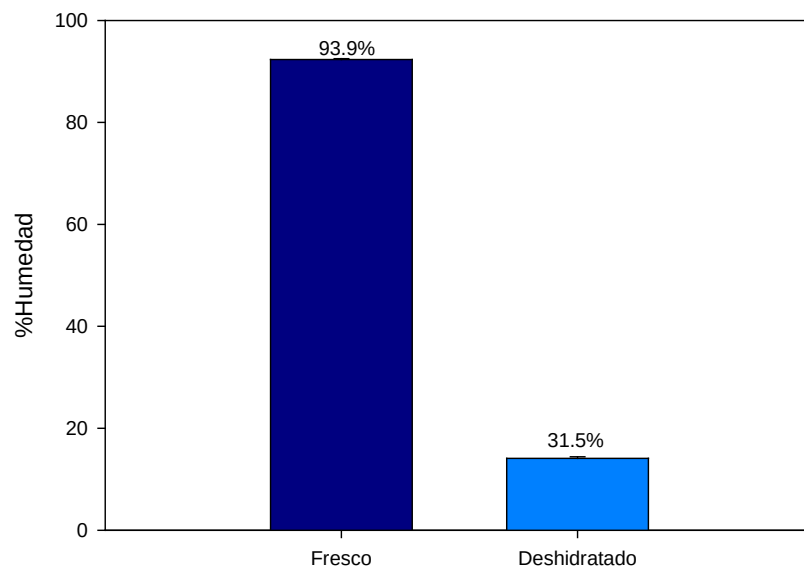


Figura 22. Porcentaje de humedad en el xoconostle antes y después del secado. Se incluyen las barras de error para un promedio de 3 muestras.

Durante el tratamiento de secado se observó una pérdida de peso como lo muestra la Figura 23. Se registró el cambio de temperatura superficial, observándose que en los primeros 15 s la temperatura se eleva hasta 70.1°C manteniéndose constante a partir de los 60 s hasta 105 s, una vez que el producto esta deshidratado la temperatura disminuye debido a que el xoconostle ha perdido humedad aumentando sus sólidos.

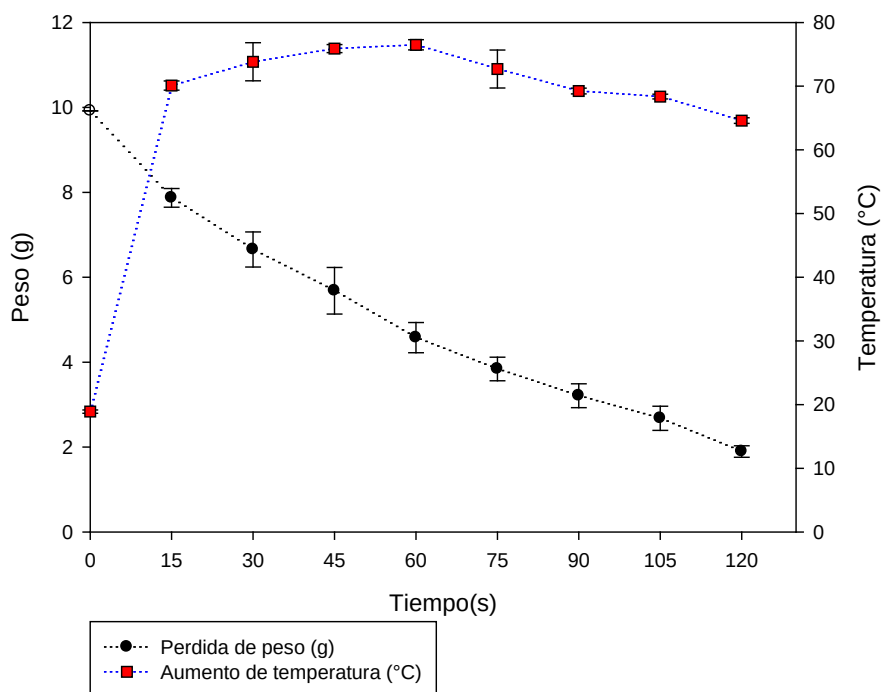


Figura 23. Pérdida de peso del xoconostle y cambio de temperatura por efecto de secado de microondas con una densidad energética de $2.45 \text{ kJ g}_{\text{pf}}^{-1}$. Se incluyen las barras de error.

En el proceso de secado del xoconostle, no solo se observa el cambio de peso y de temperatura a través de los 120 s dentro del microondas, la Figura 24 muestra el cambio de color que se va presentado conforme aumenta el tiempo y temperatura del deshidratado.

Se puede atribuir que debido al tratamiento térmico, las betaninas pueden ser degradadas por isomerización, descarboxilación o escisión (por calentamiento o acidez), resultando en una gradual reducción del color rojo y finalmente, la aparición de un color marrón claro.

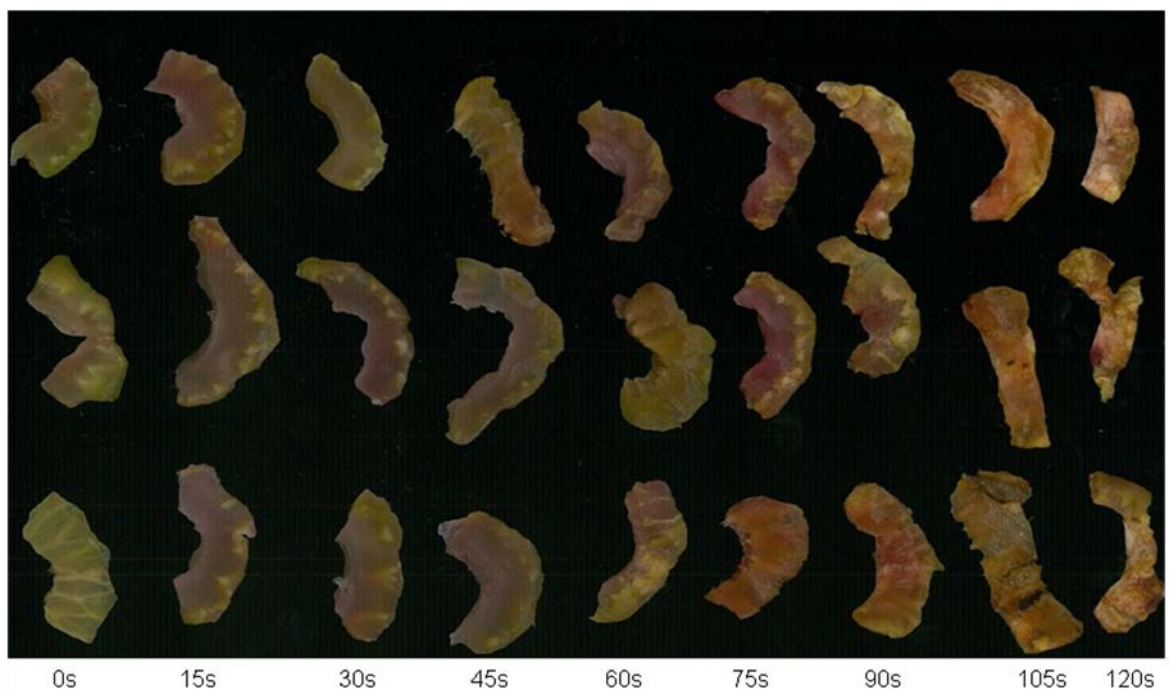


Figura 24. Cambios físicos y de coloración del xonostle durante el proceso de secado, n=3.

Debido a la degradación térmica de las betalaínas, en los segundos de 45 a 105 se intensifica el color rojizo debido a la presencia del compuesto isobetanina el cual es producto de la isomerización de la betanina a una temperatura de 75.4°C, posteriormente, como producto de una deshidrogenación se presenta en el segundo 120 un color amarillo, debido a la neobetanina.

4.4 Actividad de agua (a_w)

El xonostle fresco presenta una a_w inicial de 0.97 la cual a través del tratamiento de secado disminuye, de acuerdo a la Figura 25, se observa que la actividad de agua final es de 0.51 para el producto deshidratado, el isoterma muestra la relación que existe entre el contenido de humedad y la a_w .

El xoconostle deshidratado cumple con las especificaciones de un producto seco y donde no hay proliferación de microorganismos.

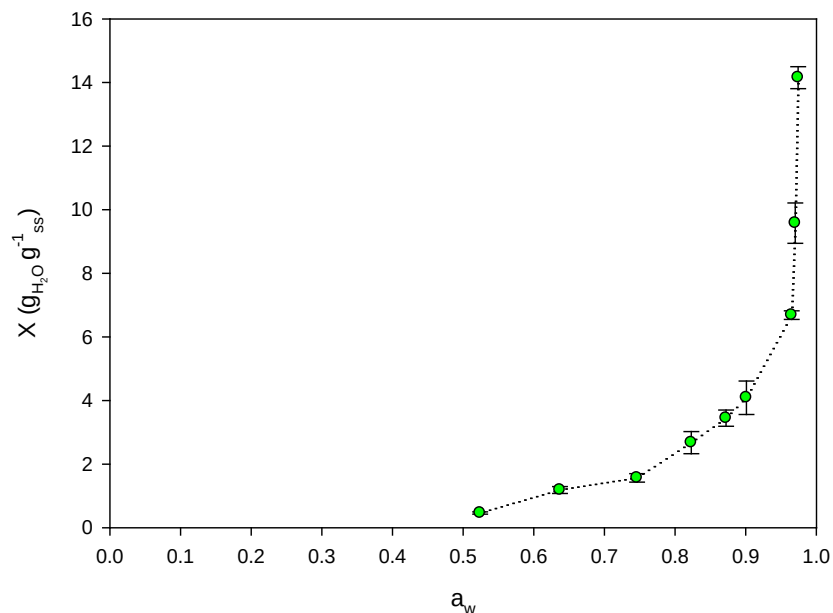


Figura 25. Actividad de agua en función en el contenido de humedad del xoconostle atreves del tiempo de secado en microonda. Se muestran barras de error de un promedio de 3 muestras.

En el Cuadro 10, se muestran investigaciones previas de frutos deshidratados y su a_w .

Cuadro 10. Actividad de agua de diversos frutos deshidratados

Producto	a_w	Referencia
Plátano	0.66	(Cano et al., 2004)
Papaya	0.13	(Vega and Lemus, 2006)
Fresa	0.11	(Contreras, 2006)
Zanahoria	0.55	(Changrue, 2009)

4.5 Evaluación del color

La evaluación de los parámetros “a y b” en color del xoconostle deshidratado se muestran en la Figura 26, debido a que los pigmentos se van degradando el color cambia considerablemente a través del tiempo de secado. El xoconostle fresco presento un valor de 9.33 y 31 para los parámetros “a y b” respectivamente, siendo valores positivos el fruto se posicionan en una gama de color rojo y amarillo. *O. xoconostle* reportó 6.34 para “a” y 7.84 para “b” (Osorio et al., 2011) , 6.77 y 1.16 para “a y b” en tuna roja (*Myrtillocactus geometrizans*) (Herrera-Hernández et al., 2011). Una vez deshidratado el fruto dichos parámetros disminuyeron resultando 0.33 para “a” y 25 para “b”, debido a que predominaba un color marrón en el xoconostle deshidratado.

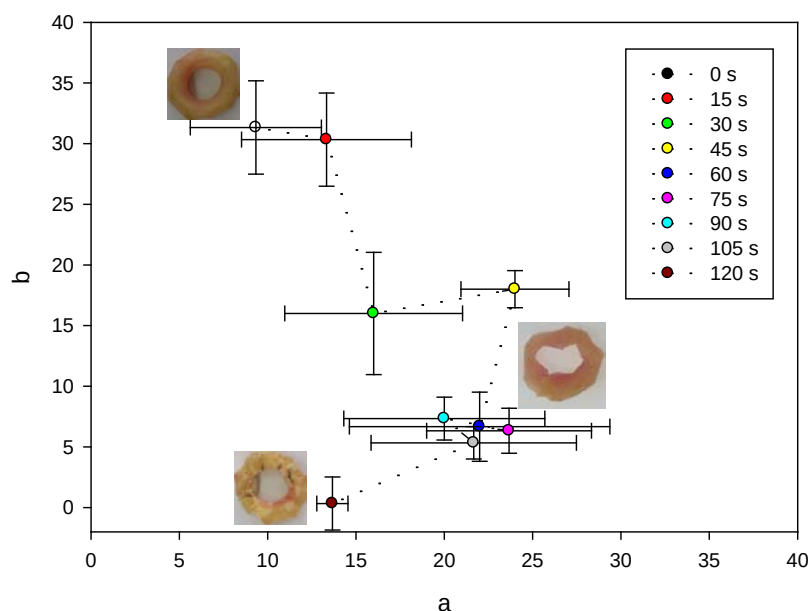


Figura 26. Evaluación de los parámetros “a y b” del color a través del secado del producto mediante microondas, n=3.

En la literatura se han reportado los parámetros “a y b” en diversos frutos deshidratados mediante microondas, para manzana “a” 4.73 y “b” 18.7, plátano “a” 9.57 y “b” 17.6 y zanahorias “a” 19.8 y “b” 21.7 (Vadivambal and Jayas, 2007), teniendo en común con el xoconostle el parámetro “b” debido a que presentan un color marrón al final del tratamiento térmico.

4.6 Vitamina C

En el contenido de vitamina C se observan diferencias estadísticas ($P < 0.05$), en los diferentes tiempos de secado del xoconostle. El xoconostle fresco muestra un contenido de 19.6 mg EAA 100 g^{-1} , un valor similar al reportado por Morales et al. (2012) que reportaron en promedio 20.1 mg EAA 100 g^{-1} mientras Guzmán et al. (2010) 7.6 mg EAA 100 g^{-1} , la diferencia entre los valores reportados se debe a las diversas condiciones de extracción para cada experimento y a la madurez que presentó el fruto. El consumo del xoconostle fresco podría aumentar significativamente la ingesta de vitamina C.

En investigaciones previas, se ha cuantificado el contenido de vitamina C en diversos vegetales frescos, los resultados están representados en el Cuadro 11, del cual se concluye que el xoconostle tiene un contenido de vitamina superior al de las tunas y un valor no muy lejano al de plátano, ciruela y naranja.

Cuadro 11. Contenido de vitamina C en frutas y verduras frescas.

Producto	Vitamina C (mg EAA 100 g⁻¹)	Autor
Espinaca	50.2	(Ozkan et al., 2007)
Naranja	33.1	(Vikram et al., 2005)
Tuna (roja, amarilla y blanca)	5.3 - 0.9	(Sumaya et al., 2011)
Plátano	20.6	(Abrol et al., 2014)
Limón	40.5	(Vasanth et al., 2013)
Ciruela	29.6	(Beserra et al., 2011)
Fresa	30.7	(Cardoso et al., 2011)
Xoconostle	19.6	Este trabajo.

Durante el deshidratado en microondas, se alcanzó una temperatura de 75.3 °C a partir de los 60 s y debido a que existen diversos factores que influyen en el proceso de degradación de la vitamina C, tales como; la exposición a la luz, pH=5, iones metálicos, la temperatura de almacenamiento y la sensibilidad a las condiciones de procesamiento de los alimentos (Sapei and Hwa, 2014), la vitamina C se degradó en los primeros 15 s, perdiendo un 50% de su concentración en 30 s. Finalmente la vitamina C es degradada por efecto de la temperatura casi en su totalidad ya que el xoconostle deshidratado solo conserva el 2.4% del total de dicha vitamina ver Figura 27.

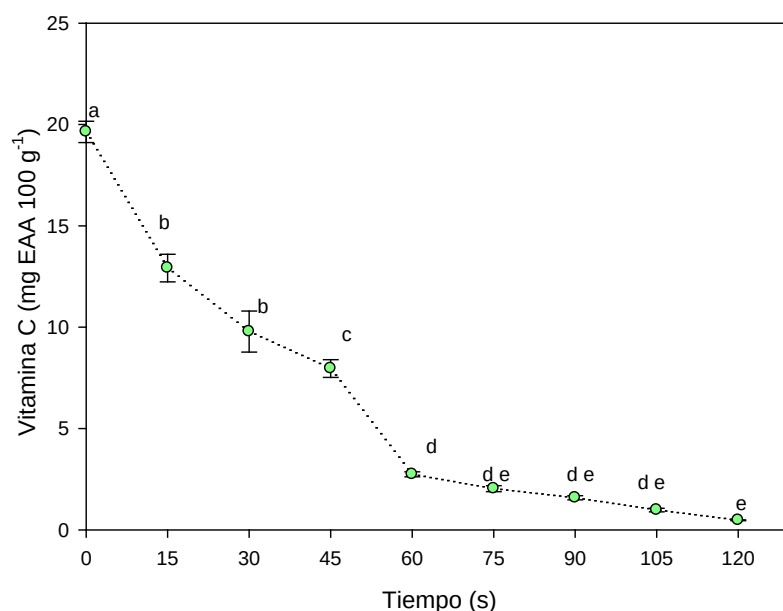


Figura 27. Degradación de Vitamina C por efecto del microondas (Valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Se presentan barras de error.

En la Figura 27 se observa que en los segundos 75, 90 y 105 la degradación de la vitamina no cambia significativamente, en comparación con los primeros segundos del secado.

Para poder prevenir la pérdida tan importante de la vitamina C, se han desarrollado métodos de secado combinados con microondas, tal como el secado en microondas al vacío, en el cual se deshidrató fresas mostrando una pérdida total de vitamina C del 12% (Wojdylo et al., 2009), un porcentaje mucho menor al del xoconostle.

El proceso de degradación de la vitamina C responde a una cinética de primer orden (Figura 28), donde $R^2 = 0.9756$, de la ecuación de Arrhenius se obtuvo que la constante $k = 0.02 \text{ s}^{-1}$. Se observa que la degradación de la vitamina C mostro una fuerte relación con el tiempo y la temperatura de secado mediante microondas.

Se reporta una constante menor en pulpa de mango ($k = 4.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) que fue sometida a un tratamiento térmico a 60°C (Ordoñez and Yoshioka, 2012) y para guayaba $k = 0.013 \text{ s}^{-1}$ (Ordóñez et al., 2013), dicha constante es cercana a la de xoconostle. La espinaca deshidratada mediante microondas (180 W) reportó una $k = 4.41 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (Dadali and Ozbek, 2009), y en papa (38 W) $k = 1.15 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (Khraisheh et al., 2004).

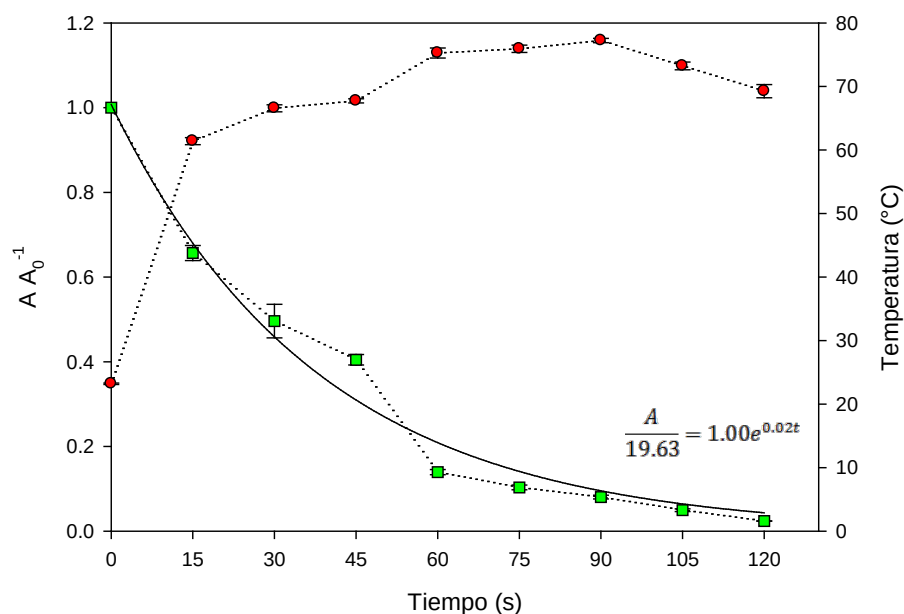


Figura 28. Cinética de degradación de la vitamina C y cambio de temperatura durante el secado en microondas. Se muestran barras de error, $n=3$.

4.7 Cuantificación de Fenoles totales

El contenido total de fenoles se determinó en extractos obtenidos con metanol, los cuales en los se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). Para la cuantificación de los fenoles totales en el xoconostle se elaboró una curva de calibración usando como estándar el ácido gálico. Los resultados del contenido de fenoles en las muestras se expresan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Contenido de fenoles totales en xoconostle deshidratado.

Tiempo (s)	Fenoles totales (mg E AG g ⁻¹)
0	1.5 ± 0.3
15	1.1 ± 0.1
30	0.8 ± 0.1
45	1.0 ± 0.1
60	0.7 ± 0.1
75	0.9 ± 0.1
90	0.7 ± 0.04
105	0.6 ± 0.1
120	0.4 ± 0.03

Se incluye el error estándar, n=3..

En la Figura 29 se muestra el comportamiento que presentó el contenido de Fenoles totales (Ft) durante el tratamiento de secado. En los primeros 30 s se observó una disminución del contenido de Ft lo que podría atribuirse al incremento de temperatura.

La tendencia del contenido total de fenoles es la degradación a través del tiempo de secado. Estadísticamente los existe diferencia entre los tratamientos.

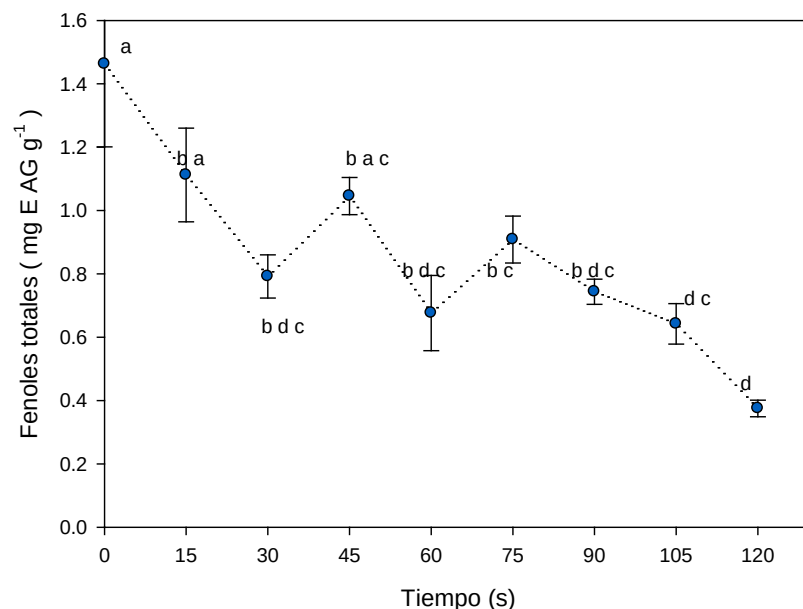


Figura 29. Fenoles en xoconostle secado en microondas. Valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Se presentan las barras de error, $n=3$.

El secado puede acelerar la liberación de compuestos fenólicos unidos durante la descomposición de algunos constituyentes celulares (Arslan and Musa, 2010). Posteriormente los Ft comienzan a degradarse, y el xoconostle solo conserva el 25.7% del total de los compuestos.

El contenido inicial de Ft en el fruto fresco de xoconostle fue de $1.46 \text{ mg EAG g}^{-1}$, un valor similar al reportado en la literatura que va de 1.38 a $1.66 \text{ mg EAG g}^{-1}$ (Osorio et al., 2011, Guzmán et al., 2010, Gallegos et al., 2014).

No hay reportes previos acerca del contenido de Ft en xoconostle deshidratado por microondas, sin embargo, se han realizado diversas investigaciones con frutas deshidratadas en microondas o métodos combinados con microondas.

En el Cuadro 13 se observa diversos frutos que han sido deshidratados con microondas- aire caliente, a una potencia de 200 W y se expresa el contenido final de Ft al final del proceso. El xoconostle muestra un contenido de fenoles menor al los reportados, sin embargo comparado con la col es el mismo valor. Es importante mencionar que el contenido inicial de fenoles en los frutos frescos es diferente al del xoconostle.

Cuadro 13. Contenido de fenoles en diferentes productos deshidratados mediante microondas.

Producto	Ft(mg EAG g ⁻¹)	Potencia	Referencia
Manzana	2.0	200	
Pera	0.8	200	
Papaya	1.7	200	(Jaiswal and Abu-Ghannam, 2013)
Mango	1.2	200	
Col	0.4	200	(Chong et al., 2013)
Xoconostle	0.4	203.6	Este trabajo

Es bien conocido que el contenido de fenoles en los extractos del fruto contribuye a la actividad antioxidante, lo cual ha sido reportado en diferentes frutos, los cuales se pueden comparar con el xoconostle fresco como se muestra en la Figura 30.

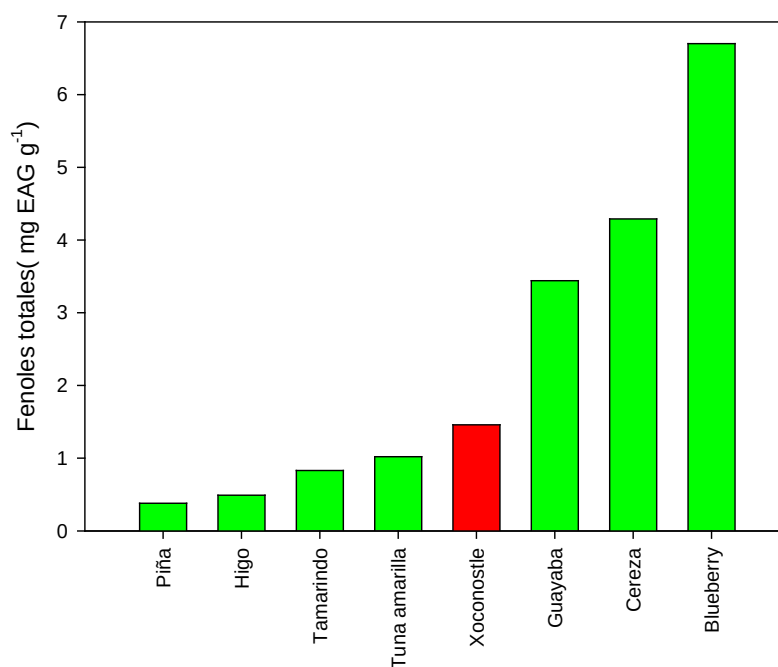


Figura 30. Comparación del contenido fenólico de varios productos frescos (Coria et al., 2011, Marinova et al., 2005, Thaipong et al., 2006, Beserra et al., 2011)

El xoconostle presenta un mayor contenido de fenoles en comparación con la piña y la tuna dulce, en contraste con la guayaba, cereza y blueberry el nivel de fenoles es inferior, teniendo en cuenta que son frutos con alto contenido de compuestos antioxidantes.

El xoconostle es una fuente rica en biocompuestos como los polifenoles, incluyendo ácido gálico, vanílico, 4-hidroxibenzoico, caféico, y sirínico (Osorio et al., 2011, Guzmán et al., 2010), demostrando un efecto protector contra el estrés oxidativo (Osorio et al., 2013), de ahí que es considerado un alimento nutraceutico.

4.8 Contenido de flavonoides totales

La cuantificación de flavonoides en el xoconostle a través del proceso de secado, se determinó mediante un método colorimétrico. Haciendo uso de la curva de calibración de catequina, se calculó el contenido de Flavonoides Totales (FI) en xoconostle deshidratado y los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Resultado de flavonoides totales en xoconostle deshidratado a 203.6 W.

Tiempo(s)	Flavonoides totales (mg EC g ⁻¹)
0	0.15 ± 0.02
15	0.09 ± 0.0
30	0.11 ± 0.01
45	0.10 ± 0.01
60	0.05 ± 0.01
75	0.08 ± 0.01
90	0.06 ± 0.0
105	0.07 ± 0.01
120	0.03 ± 0.0

Se incluye error estándar.

El xoconostle fresco mostró un contenido de FIT de 0.15 mg EC g⁻¹, comparado con la literatura, en xoconostle (*Opuntia matudae* cv. Rosa) se reportó para pulpa 0.9 mg EC g⁻¹ y 3.9 mg EC g⁻¹ en *O. joconostle* cv. Cuaresmeño (Morales et al., 2012), la diferencia entre los valores reportados se atribuye al proceso de extracción metanólica y el tiempo de madurez de los frutos para cada trabajo.

Durante el tiempo de secado, los flavonoides se degradaron conservándose el 22.7% de su totalidad, la Figura 31 muestra la degradación de los compuestos a través del tiempo de secado.

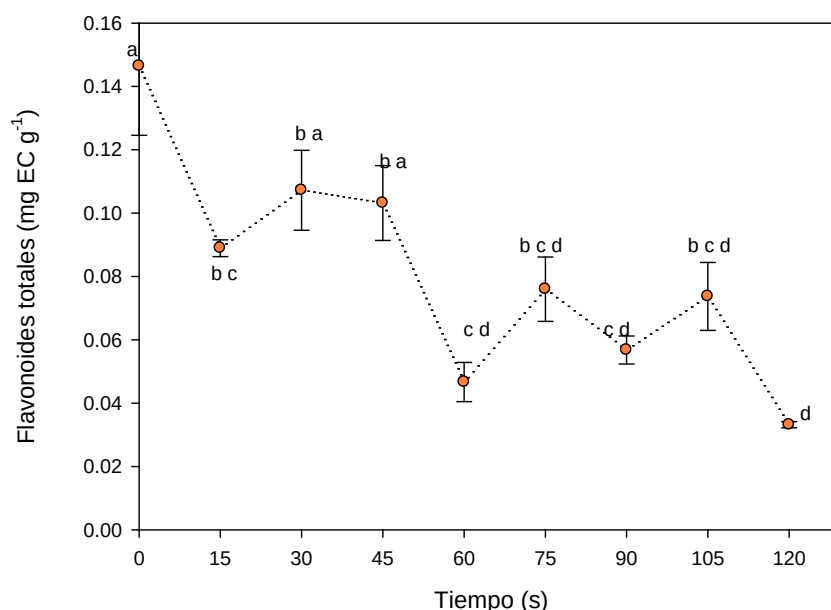


Figura 31. Degradación de flavonoides en xocnostle secado en microondas, valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Se muestran barras de error, $n=3$.

El comportamiento que presentan los flavonoides en los tiempos de 30, 75 y 105 s es diferente comparando con los fenoles totales, lo cual podría atribuirse a la presencia de intermediarios de la ruta de degradación de la betanina, ya que dan una mayor pigmentación rojiza que estaría aumentando la absorbancia y se ve reflejado en el aumento del contenido de flavonoides.

Transcurridos 60 s, se observa una disminución considerable del 68.1 % de flavonoides, al igual que en los fenoles totales que disminuyen el 53.8%, debido a que los compuestos fenólicos están conformados por más de 8,000 sustancias

identificadas, y estos pueden ser divididos en grupos según su estructura química, tal como, estibenos, cumarinas, ligninas y flavonoides, que son compuestos termosensibles (Beserra et al., 2011).

Se han identificado 3 flavonoides presentes en el fruto de xoconostle; catequina, rutina y quercetina, los flavonoides actúan como antioxidantes que retrasan o evitan considerablemente la oxidación del sustrato, y están fuertemente correlacionados con la actividad antioxidante (Morales et al., 2014). Los flavonoides se encuentran principalmente en la piel de la fruta, ya que tienen como función la pigmentación, la protección contra la luz UV y la regulación de la actividad enzimática o de microorganismos en la planta (Treutter, 2006).

Marinova (2005) reportó un contenido de flavonoides en diferentes vegetales, los resultados se muestran en el Cuadro 15 observándose la gran diferencia entre un fruto con piel y sin piel.

Cuadro 15. Contenido de flavonoides totales en diferentes vegetales frescos (Marinova et al., 2005)

Vegetal fresco	Flavonoides totales (mg EC g⁻¹)
Zanahoria	0.3
Tomate	0.1
Pimiento rojo	0.1
Manzana verde sin piel	0.2
Manzana verde con piel	4.4
Durazno	0.1

El xoconostle fresco tiene un contenido de 0.15 flavonoides totales (mg EC g⁻¹) similar al reportado para los vegetales, siendo diferente a la manzana con piel. En la literatura no se han evaluado los flavonoides presentes en la piel del xoconostle por lo cual no es posible la comparación del fruto con y sin piel.

4.9 Cuantificación de betalaínas totales

El xoconostle fresco presentó un contenido total de betalaínas de 6.70 mg 100g⁻¹ similar a lo encontrado por Guzmán et al., (2010) en xoconostle cv. Cuaresmeño del estado de Puebla (8.24 mg 100g⁻¹ de betalaínas) y superior al xoconostle cv. Cuaresmeño del Estado de México (3.21 mg 100g⁻¹ de betalaínas). La tuna roja contiene 49.04 mg 100g⁻¹ de betalaínas (Chavez et al., 2009) y en betabel 47.11 mg 100g⁻¹ de betalaínas (Georgiev et al., 2010) estos frutos se caracterizan por su alto contenido de betalaínas.

Las betalaínas se degradan a través del tiempo de secado, como lo muestra la Figura 32, en los primeros 15 s se pierde el 21.9% de los compuestos, esto debido a que la temperatura alcanza los 70.3 °C, donde los pigmentos no son estables facilitando su degradación. Al final del tiempo de secado, el xoconostle solo retuvo el 18.21% del total de las betalaínas, equivalente a 1.22 mg 100g⁻¹.

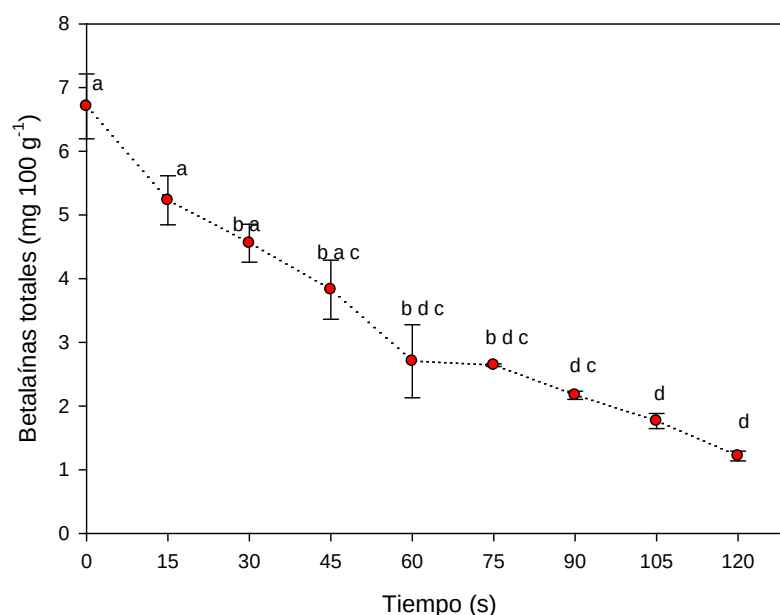


Figura 32. Degradación de las betalaínas totales en xoconostle deshidratado mediante microondas, valores con las mismas letras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Se muestran barras de error, $n=3$.

En la literatura no se ha reportado para xoconostle deshidratado, sin embargo, se reportó para betabel deshidratado mediante microondas (450 W) una disminución del 67.5% de betalaínas (Ravichandran et al., 2013), pitaya deshidratada a 70°C pierde el 76.9% de betalaínas (Sengkhamparn et al., 2013).

4.10 Actividad antioxidante

Las fuentes primarias de antioxidantes de origen natural son los granos enteros, frutas y verduras, que contienen antioxidantes como la vitamina C, vitamina E, carotenos, ácidos fenólicos, flavonoides y fitoestrógenos (Mishra et al., 2010).

Para este trabajo se calculó la concentración a la cual el DPPH• es reducido en un 50% (CI_{50}) a partir de los extractos metanólicos, los resultados se expresan en el Cuadro 16. Estadísticamente no hay diferencia entre los tratamientos.

Cuadro 16. Concentración Inhibitoria del 50% del DPPH• del producto deshidratado a través del tiempo.

Tiempo	CI₅₀ (mg mL⁻¹)
0	21.39 ± 0.4
15	23.60 ± 0.5
30	22.75 ± 0.4
45	32.34 ± 0.01
60	30.44 ± 0.7
75	23.75 ± 0.3
90	29.03 ± 0.3
105	26.84 ± 0.5
120	33.02 ± 0.4

Estadísticamente no hay diferencia significativa, n=3

Mediante los extractos metanólicos del xoconostle, se evaluó la capacidad antioxidante por la degradación del radical DPPH•, expresando los resultados en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Actividad antioxidante del xoconostle deshidratado (RDSC).

Tiempo(s)	RDSC($\mu\text{mol ET g}^{-1}$)
0	1.0 ± 0.1
15	1.0 ± 0.2
30	1.0 ± 0.1
45	0.8 ± 0.2
60	0.8 ± 0.0
75	1.0 ± 0.0
90	0.9 ± 0.1
105	1.0 ± 0.2
120	0.8 ± 0.1

Se incluye error estándar.

La actividad antioxidante que presenta el xoconostle fresco es de $1.0 \mu\text{mol ET g}^{-1}$, un valor que se asemeja al reportado en *Opuntia ondúlate* (tuna dulce) de $1.08 \mu\text{mol ET g}^{-1}$, a diferencia de la tuna *O. ficus indica* y *O. stricta* que reportan 5.22 y $4.72 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ respectivamente (Fernández et al., 2010). La diferencia entre la tuna dulce y el xoconostle es debido a la intensa pigmentación que presentan las tunas.

En estudios recientes se ha evaluado la capacidad antioxidante de diversas frutas frescas, tales como: cereza ($4.22 \mu\text{mol ET g}^{-1}$), mora ($41.89 \mu\text{mol ET g}^{-1}$), arándanos azules ($125.52 \mu\text{mol ET g}^{-1}$), zarzamora ($18.61 \mu\text{mol ET g}^{-1}$), grosellas

(13.73 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$) y fresa (6.11 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$) (Jakobek et al., 2007), las cuales muestran una capacidad antioxidante superior al xoconostle.

En el Cuadro 18 se puede observar los cambios de la capacidad antioxidante a través del tiempo de secado en microondas, a la mitad del deshidratado se perdió el 23.2% de la capacidad antioxidante del xoconostle, sin embargo, estadísticamente no hay diferencia durante todo el tratamiento de secado.

Cuadro 18. Degradación de la capacidad antioxidante en xoconostle secado en microondas.

TIEMPO(s)	RDSC($\mu\text{mol ET g}^{-1}$)
0	1.04
15	0.98
30	1.05
45	0.80
60	0.80
75	1.00
90	0.86
105	0.97
120	0.77

Como se ha observado en la degradación de fenoles totales y flavonoides totales, en el tiempo de 60 s hay una disminución de dichos compuestos, lo que demuestra que están estrechamente entre ellos. El aumento de temperatura se mantiene constante a partir del segundo 60, en donde comienza la mayor

degradación de antioxidantes, ya que la alta temperatura es un factor influyente en la degradación de los compuestos.

El deshidratado de xoconostle podría ocasionar la disminución de la actividad antioxidante, ya que se degradan compuestos fenólicos, flavonoides, betalainas y vitamina C. Sin embargo, después de 120 s de tratamiento, la actividad antioxidante estadísticamente permanece sin cambios durante el proceso, lo cual puede atribuirse al aumento de temperatura, el cual puede promover la formación de compuestos antioxidantes como los productos de la reacción de Maillard (melanoidinas).

Investigaciones previas en café tostado, reportaron que el café procesado térmicamente presentó una actividad antioxidante mayor a sus respectivos granos verdes de origen, se observó la degradación de fenoles, sin embargo esto no afectó su actividad antioxidante, probablemente a alto contenido de melanoidinas ($30.5 - 67.6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) (Pérez et al., 2013). En otro estudio se dio tratamiento térmico (100°C) a diferentes azúcares (glucosa / glicina, diglicina y triglicina), por un tiempo de 120 min. Posteriormente se evaluó la actividad antioxidante, obteniendo como resultado el incremento de dicha actividad en función del tiempo de calentamiento, lo cual se le atribuye a la presencia de melanoidinas producto de la reacción de Millard (Kim and Lee, 2009).

4.11 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza, donde los tratamientos fueron los tiempos de secado y las variables respuesta los parámetros evaluados en el trabajo cuando existen diferencias. Se aplicó la prueba de Tukey para encontrar diferencias estadísticas a $P < 0.05$. Ver resultados en anexos.

Los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales (ACP) mostraron que los dos primeros componentes explican el 94% de la variabilidad entre los tratamientos. El primer componente (PC1) explicó el 79.42% de la variabilidad y segundo componente (PC2) el 14.80% de la variabilidad total.

En la Figura 33 se observa que la vitamina C, el contenido de fenoles, flavonoides y betalaínas están mayormente relacionados con el tiempo de 0 y 15 s, el tiempo 30 y 75 s tiene mayor relación con actividad antioxidante, la concentración inhibitoria esta relacionada con el tiempo 60 s. A partir del tiempo de secado 90 y hasta el 120 s la relación con estos compuestos disminuye, esto puede ser debido a la degradación que ocurre dado el incremento de tiempo de secado en el microondas.

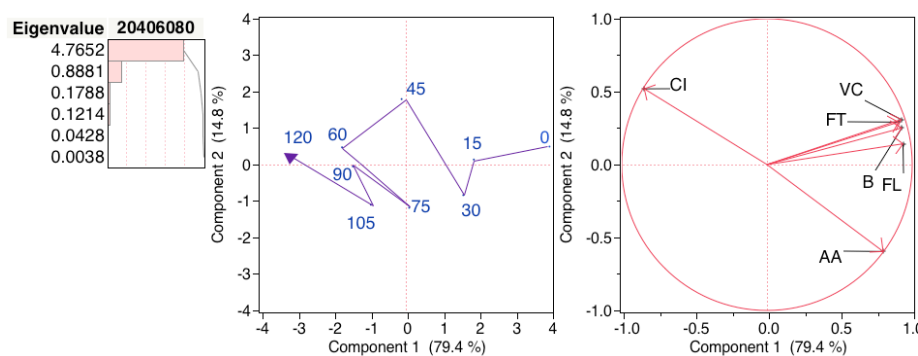


Figura 33. Análisis descriptivo de componentes principales; FT (fenoles totales), FI (flavonoides totales), VC (vitamina C) y AA (actividad antioxidante)

En el Cuadro 19 se muestra la matriz de correlación de los componentes evaluados. Fenoles totales, flavonoides, betalaínas y vitamina C están estrechamente relacionados (correlación de aproximadamente 0.88). Por otro lado, la relación entre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante fue menor (correlación de aproximadamente 0.54). Finalmente la relación de la concentración inhibitoria con la vitamina C, los fenoles totales, flavonoides y betalaínas fue aún menor (correlación de aproximadamente -0.62).

Cuadro 19. Matriz de correlación

	FT	FI	V C	A A	B	CI₅₀
FT	1.000	0.882	0.8808	0.5443	0.8665	-0.62229
FI	0.882	1.000	0.8835	0.6825	0.8530	-0.6802
V C	0.8808	0.8835	1.000	0.5525	0.9516	-0.6285
AA	0.5443	0.6825	0.5525	1.000	0.5869	-0.9760
B	0.8665	0.8530	0.9516	0.5869	1.000	-0.6663
CI₅₀	-0.62229	-0.6802	-0.6285	-0.9760	-0.6663	1.000

FT (fenoles totales), FI (flavonoides totales), VC (vitamina C), AA (actividad antioxidante), B (betalaínas totales) y CI₅₀ (concentración inhibitoria).

CAPÍTULO

5

5 Conclusiones

- La potencia que favoreció la obtención de la botana de xoconostle fue la de 203.6 W.
- Aplicando una energía de $2.45 \text{ kJ g}_{\text{pf}}^{-1}$ se obtuvo un producto con una a_w de 0.500.
- Durante la etapa de precalentamiento, es decir los primeros 15 s de secado, se observó una reducción significativa en el contenido de los tipos de compuestos evaluados. Así, los componentes tuvieron una reducción de la siguiente forma: 23.95% en fenoles totales, 40.0% en flavonoides, 34.23% en vitamina C y 21.94% en betalaínas totales.
- Al término del tratamiento los componentes alcanzaron niveles, con respecto al valor original, de 2.4, 25.7, 22.7 y 18.05% para vitamina C, fenoles, flavonoides y betalaínas totales respectivamente.
- A pesar de la reducción de los compuestos que aportan la actividad antioxidante, desde el punto de vista estadístico, no existe diferencia significativa en la reducción del parámetro de capacidad antioxidante (RDSC). Esto podría atribuirse a la influencia del color que presenta el producto a lo largo del secado sobre el ensayo de capacidad antioxidante.

Referencias bibliográficas

- ABROL, G. S., VAIDYA, D., SHARMA, A. & SHARMA, S. 2014. Effect of Solar Drying on Physico-chemical and Antioxidant Properties of Mango, Banana and Papaya. *National Academy Science Letters*, 37, 51-57.
- AGUDO, J. E., PARDO, P. J., SANCHEZ, H., PEREZ, A. L. & SUERO, M. I. 2014. A low-cost real color picker based on Arduino. *Sensors (Basel)*, 14, 11943-56.
- AOAC 1997. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 11th Edition .Procedure 39.052.
- ARBALLO, R. J., CAMPAÑONE, A. L. & MASCHERONI, H. R. 2010. Modeling of Microwave Drying of Fruits. *Drying Technology*, 28, 1178–1184.
- ARSLAN, D. & MUSA, Ö. M. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 1121-1127.
- AZEREDO, H. M. C. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability-review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44, 2365-2376.
- BENLLOCH, T. M., IGUAL, M. & MARTÍNEZ, N. N. 2013. Comparison of microwaves and conventional thermal treatment on enzymes activity and antioxidant capacity of kiwifruit puree. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19 166–172.
- BESERRA, A. M. M., DE SOUSA, M. P. H., CAMPOS, A. A. M., DO PRADO, G. M., DE CARVALHO, M. C. E., ARRAES, M. G. & GOMES DE LEMOS, T. L. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, 2155-2159.
- CANO, C. M., RAMOS, M. A., STRINGHETA, C. P. & PEREIRA, A. M. J. 2004. DRYING CURVES AND WATER ACTIVITY EVALUATION OF DRIED BANANA. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium C*, 2013-2020.
- CARDOSO, P. C., TOMAZINI, A. P. B., STRINGHETA, P. C., RIBEIRO, S. M. R. & PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. 2011. Vitamin C and carotenoids in organic and conventional fruits grown in Brazil. *Food Chem*, 126, 411-416.
- CASSIANA, P. R., JUÁREZ, F. B. I., AGUIRRE, R. J. R., CÁRDENAS, O. N. C., REYES, A. J. A., GARCÍA, C. E. & ÁLVAREZ, F. G. 2010. Glucose-lowering effect of xoconostle (*Opuntia joconostle* A. Web., Cactaceae) in diabetic rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(22), 2326-2333.
- CICCO, N., LANORTE, M. T., PARAGGIO, M., VIGGIANO, M. & LATTANZIO, V. 2009. A reproducible, rapid and inexpensive Folin–Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts. *Microchemical Journal*, 91, 107-110.
- CONTRERAS, M. M. 2006. *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. Doctorado, Universidad Politécnica de Valencia.
- CORIA, C. Y. S., OCHOA, M. J. & NAZARENO, M. A. 2011. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. *Food Chem*, 126, 514-519.
- CHANDRASEKARAN, S., RAMANATHAN, S. & BASAK, T. 2013. Microwave food processing—A review. *Food Research International* 52 243–261.
- CHANGRUE, V. 2009. *Hybrid (Osmotic, Microwave-vacuum) Drying of Strawberries and Carrots*. PhD, McGill University.
- CHAVEZ, S. R. A., GUTIERREZ, U. J. A. & SERNA, S. S. O. 2009. Phenolic composition, antioxidant capacity and in vitro cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices. *Plant Foods Hum Nutr*, 64, 146-52.

- CHENG, Z., MOORE, J. & YU, L. L. 2006. High-Throughput Relative DPPH Radical Scavenging Capacity Assay. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 7429–7436.
- CHONG, C. H., LAW, C. L., FIGIEL, A., WOJDYLO, A. & OZIEMBLOWSKI, M. 2013. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chem*, 141, 3889-96.
- DADALI, G. & OZBEK, B. 2009. Kinetic thermal degradation of vitamin C during microwave drying of okra and spinach. *Int J Food Sci Nutr*, 60, 21-31.
- DOMÍNGUEZ, P. R. 2011. *ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SECADO POR MICROONDAS DEL NOPAL VERDURA (Opuntia ficus indica)*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
- FERNÁNDEZ, L. J. A., ALMELA, L., OBÓN, J. M. & CASTELLAR, R. 2010. Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods Hum Nutr*, 65, 253-9.
- GALLEGOS, V. C., SCHEINVAR, L., NÚÑEZ, C. C. A. & MONDRAGÓN, J. C. 2012. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia* spp.) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. *Fruits*, 67, 109-120.
- GALLEGOS, V. C., SCHEINVAR, L., SILOS, E. H., FUENTES, H. A. L., NÚÑEZ, C. C. A. & OLALDE, P. G. 2014. 'Invierno', cultivar de xoconostle para la región central de México. *revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7, 1349-1354.
- GARCÍA, P. L. G., REYES, A. J. A., AGUIRRE, R. J. R. & PINOS, R. J. M. 2005. PRELIMINARY NUTRITIONAL AND ORGANOLEPTIC ASSESSMENT OF XOCONOSTLE FRUIT (*OPUNTIA SPP.*) AS A CONDIMENT OR APPETIZER. *Ital. J. Food Sci*, 17, 333-340.
- GEORGIEV, V. G., WEBER, J., KNESCHKE, E. M., DENEV, P. N., BLEY, T. & PAVLOV, A. I. 2010. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit dark red. *Plant Foods Hum Nutr*, 65, 105-11.
- GHANEM, N., MIHOUBI, D., KECHAOU, N. & NOURHÈNE, B. M. 2012. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40, 167-177.
- GUZMÁN, M. S. H., MORALES, M. A. L., MONDRAGON, J. C., HERRERA, H. G., GUEVARA, L. F. & REYNOSO, C. R. 2010. Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-Mexico Region. *J Food Sci*, 75, C485-92.
- HERALD, T. J., GADGIL, P. & TILLEY, M. 2012. High-throughput micro plate assays for screening flavonoid content and DPPH-scavenging activity in sorghum bran and flour. *J Sci Food Agric*, 92, 2326-31.
- HERBACH, K. M., STINTZING, F. C. & CARLE, R. 2006. Betalain Stability and Degradation-Structural and Chromatic Aspects. *J Food Sci*, 71, R41-R50.
- HERRERA-HERNÁNDEZ, M. G., GUEVARA-LARA, F., REYNOSO-CAMACHO, R. & GUZMÁN-MALDONADO, S. H. 2011. Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties. *Food Chem*, 129, 1744-1750.
- HUANG, D., OU, B. & PRIOR, L. R. 2005. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *J. Agric. Food Chemistry*, 53, 1841-1856.
- IGUAL, M., GARCÍA-MARTÍNEZ, E., MARTÍN-ESPARZA, M. E. & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. 2012. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food Research International*, 47, 284-290.

- İZLİ, N., YILDIZ, G., ÜNAL, H., IŞIK, E. & UYLAŞER, V. 2014. Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 9-17.
- JAISWAL, A. K. & ABU-GHANNAM, N. 2013. Degradation kinetic modelling of color, texture, polyphenols and antioxidant capacity of York cabbage after microwave processing. *Food Research International*, 53, 125-133.
- JAKOBEK, L., SERUGA, M., NOVAK, I. & MEDVIDOVIC, M. 2007. Flavonols, Phenolic Acids and Antioxidant Activity of Some Red Fruits. *Applied Chemistry and Ecology*, 369-378.
- KHRAISHEH, M. A. M., MCMINN, W. A. M. & MAGEE, T. R. A. 2004. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*, 37, 497-503.
- KIM, J.-S. & LEE, Y.-S. 2009. Antioxidant activity of Maillard reaction products derived from aqueous glucose/glycine, diglycine, and triglycine model systems as a function of heating time. *Food Chem*, 116, 227-232.
- MALAFRONTÉ, L., LAMBERTI, G., BARBA, A. A., RAAHOLT, B., HOLTZ, E. & AHRNÉ, L. 2012. Combined convective and microwave assisted drying Experiments and modeling. *Journal of Food Engineering* 112 304–312.
- MARINOVA, D., RIBAROVA, F. & ATANASSOVA, M. 2005. TOTAL PHENOLICS AND TOTAL FLAVONOIDS IN BULGARIAN FRUITS AND VEGETABLES. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40, 255-260.
- MISHRA, N., DUBEY, A., MISHRA, R. & BARIK, N. 2010. Study on antioxidant activity of common dry fruits. *Food Chem Toxicol*, 48, 3316-20.
- MORALES, P., BARROS, L., RAMÍREZ, M. E., SANTOS, B. C. & I., C. F. R. F. 2014. Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 1-8.
- MORALES, P., RAMÍREZ-MORENO, E., SANCHEZ-MATA, M. D. C., CARVALHO, A. M. & FERREIRA, I. C. F. R. 2012. Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguét and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46, 279-285.
- ORDOÑES, S. L. E. & YOSHIOKA, T. L. S. 2012. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE VITAMINA C EN PULPA DE MANGO (*MANGIFERA INDICA* L.). *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 19, S81-S83.
- ORDÓÑEZ, S. L. E., OSPINA, P. M. A. & RODRÍGUEZ, R. D. X. 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 10, 44-51.
- OSORIO, E. O., ORTIZ, M. A., B, Á. V., DORANTES, Á., L. & GIUSTI, M. M. 2011. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Research International*, 44, 2160-2168.
- OSORIO, E. O., ORTIZ, M. A., GARDUÑO, S. L., ÁLVAREZ, A. B. & HERNÁNDEZ, N. M. D. 2012. Antihyperlipidemic effect of methanolic extract from *Opuntia joconostle* seeds in mice fed a hypercholesterolemic diet. *Plant Foods Hum Nutr*, 67, 365-70.
- OSORIO, E. O., ORTIZ, M. A., HERRERA, M. J. & HERNÁNDEZ, N. M. D. 2013. Protective Effect of Phenolic-Rich Extracts from Different Parts of *Opuntia joconostle* Fruit against Carbon Tetrachloride-Induced Oxidative Stress in Mice. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 35-42.
- OZKAN, I. A., AKBUDAK, B. & AKBUDAK, N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78, 577-583.

- PÉREZ, H. L. M., CHÁVEZ, Q. K., MEDINA, J. L. Á. & GÁMEZ, M. N. 2013. COMPUESTOS FENÓLICOS, MELANOIDINAS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE CAFE VERDE Y PROCESADO DE LAS ESPECIES *Coffea arabica* Y *Coffea canephora*. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 15, 51-56.
- PIMIENTA, B. E., MÉNDEZ, M. L., RAMÍREZ, H. B., DE ALBA, G. J. & DOMÍNGUEZ, A. R. 2008. EFECTO DE LA INGESTIÓN DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia joconostle* Web.) SOBRE LA GLUCOSA Y LÍPIDOS SÉRICOS. *Agrociencia* 42, 645-653.
- PINEDO, E. J. M., GALLEGOS, V. C., TRAPALA, I. A., FRANCO, B. A. & HERNÁNDEZ, F. A. D. 2007. Caracterización morfométrica de 10 genotipos de nopales productores de Xoconostles (*Opuntia spp.*) de Hidalgo y Zacatecas. *Revista Científica Biológico Agropecuaria* 2, 61-79.
- PIRES, G. L. C., MARTORELLI, D. G. B., AUGUSTO, D. F., ERNANI, P. & BASTOS, E. L. 2013. Effect of dielectric microwave heating on the color and antiradical capacity of betanin. *Journal of Food Engineering*, 118, 49-55.
- PRAKASH, M. J., MANIKANDAN, S. & MEKALA, V. 2013. Modeling and optimization of betalain extraction from *Opuntia ficus-indica* using Box–Behnken design with desirability function. *Industrial Crops and Products*, 49, 304-311.
- PRIETO, G. F., FILARDO, K. S., PÉREZ, C. E., BELTRÁN, H. R., ROMÁN, G. A. & MÉNDEZ, M. M. 2006. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SEMILLAS DE OPUNTIAS (*Opuntia spp.*) CULTIVADAS EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO. *Bioagro* 18, 163-169.
- RAMESH, M. N., WOLF, W., TEVINI, D. & JUNG, G. 2001. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49, 63-72.
- RAVICHANDRAN, K., SAW, N. M. M. T., MOHDALY, A. A. A., GABR, A. M. M., KASTELL, A., RIEDEL, H., CAI, Z., KNORR, D. & SMETANSKA, I. 2013. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, 50, 670-675.
- REYES, A. J. A., AGUIRRE, R., J. R. & VALIENTE, B. A. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, 64, 549-585.
- SÁNCHEZ, G., N., JAIME, F., M. R., SAN MARTIN, M., E. & ZEPEDA, L. G. 2013. Extraction, stability, and separation of betalains from *Opuntia joconostle* cv. using response surface methodology. *J Agric Food Chem*, 61, 11995-2004.
- SÁNCHEZ, G. N. 2006. *Extracción y Caracterización de los Principales Pigmentos del Opuntia joconostle c.v. (xoconostle)*. Maestro en Tecnología Avanzada, Centro de Investigación en la Ciencia Aplicada y Tecnología avanzada.
- SAPEI, L. & HWA, L. 2014. Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9, 62-68.
- SARAVIA, T. P. 2002. AGRUPAMIENTOS PRODUCTIVOS (CLUSTER) DEL NOPAL. *Secretaría de Economía*.
- SCHEINVAR, L. Biosistemática de los xoconostles mexicanos y su potencial económico. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Univ. Autónoma de San Luis Potosí, México, 1999. 255-274.
- SCHEINVAR, L. & GALLEGOS, V. C. 2009. ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS ESPECIES DEL NOPAL (*OPUNTIA SPP.*) PRODUCTORAS DE XOCONOSTLES SILVESTRES Y CULTIVADAS. *Instituto de Biología, UNAM*.
- SECMELER, Ö. 2003. *COMPARISON OF MICROWAVE DRYING AND MICROWAVE MIXED-BED DRYING OF RED PEPPERS*. MASTER OF SCIENCE, SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.

- SENGKHAMPARN, N., CHANSHOTIKUL, N., ASSAWAJITPUKDEE, C. & KHAMJAE, T. 2013. Effects of blanching and drying on fiber rich powder from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *International Food Research Journal* 20(4), 1595-1600
- SUMAYA, M., M. T., CRUZ, J., S., MADRIGAL, S., E., GARCÍA, P., J. D., CARINO, C., R., CRUZ, C., N., VALADEZ, V., C., MARTÍNEZ, C., L. & ALANÍS, G., E. 2011. Betalain, Acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. *Int J Mol Sci*, 12, 6452-68.
- THAIPONG, K., BOONPRAKOB, U., CROSBY, K., CISNEROS-ZEVALLOS, L. & HAWKINS BYRNE, D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675.
- TREUTTER, D. 2006. Significance of flavonoids in plants resistance a review. *Environ Chem Lett* (2006) 4:147–157, 4, 147-157.
- TSUJI, M., HASHIMOTO, M., NISHIZAWA, Y., KUBOKAWA, M. & TSUJI, T. 2005. Microwave Assisted Synthesis of Metallic Nanostructures in Solution. *Chemistry-A European Journal*, 11, 440-452.
- VADIVAMBAL, R. & JAYAS, D. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. *Biosystems engineering*, 98, 1-16.
- VASANTH, K. G., KUMAR, K. A., PATEL, G. R. R. & MANJAPPA, S. 2013. Determination of vitamin C in some fruits and vegetables in Davanagere city, (Karanataka) - India. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACY & LIFE SCIENCES*, 4, 2489-2491.
- VEGA, A. A. & LEMUS, R. A. 2006. Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Información tecnológica*, 17, 23-31.
- VIKRAM, V. B., RAMESH, M. N. & PRAPULLA, S. G. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*, 69, 31-40.
- WOJDYLO, A., FIGIEL, A. & OSZMIAN'SKI, J. 2009. Effect of Drying Methods with the Application of Vacuum Microwaves on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Activity of Strawberry Fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 1337–1343.
- ZAREIN, M., SAMADI, H. S. & GHOBADIAN, B. 2013. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*
- ZAVALETA, B. P., OLIVARES, O. L. J., MONTIEL, S. D., CHIMAL, H. A. & SCHEINVAR, L. 2001. ORGANIC FERTILIZATION IN SOUR PRICKLY PEAR (*Opuntia joconostle* and *O. matudae*). *AGROCIENCIA*, VOLUMEN 35, 609-614.
- ZHENFENG, L., RAGHAVAN, G. S. V., WANG, N. & VIGNEAULT, C. 2011. Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of Food Engineering* 104, 234–238.

ANEXOS

Figura A. Curva de calibración de ácido gálico empleada para xoconostle.

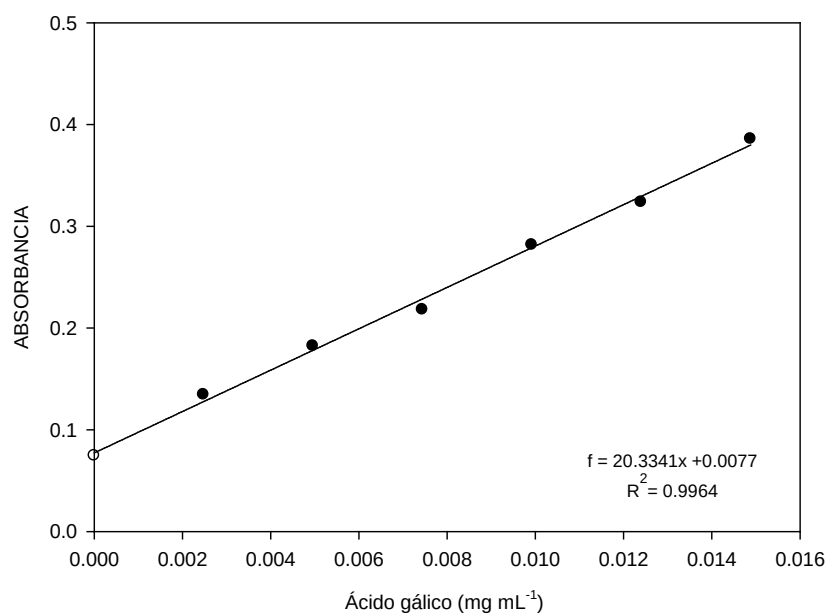


Figura B. Curva de calibración de catequina para xoconostle.

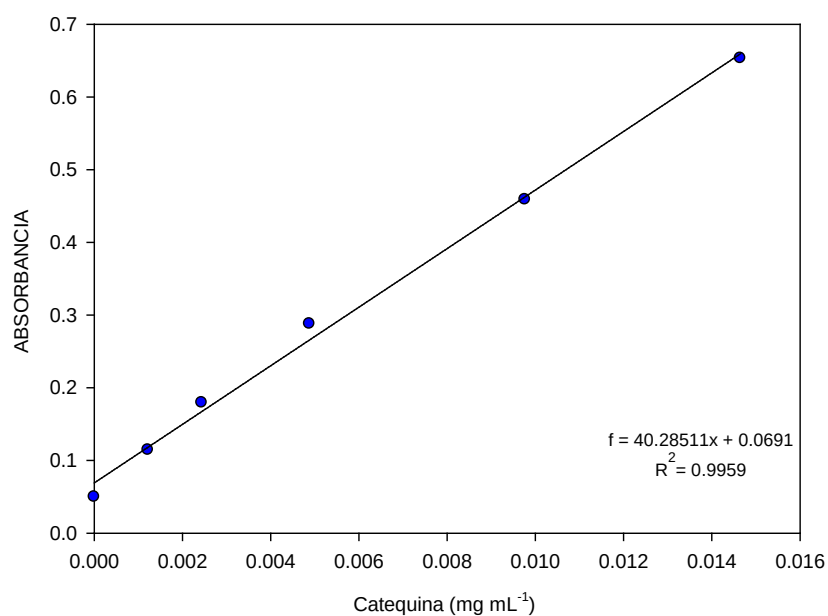


Figura C. Porcentaje de DPPH degradado con respecto al tiempo de reacción para trolox

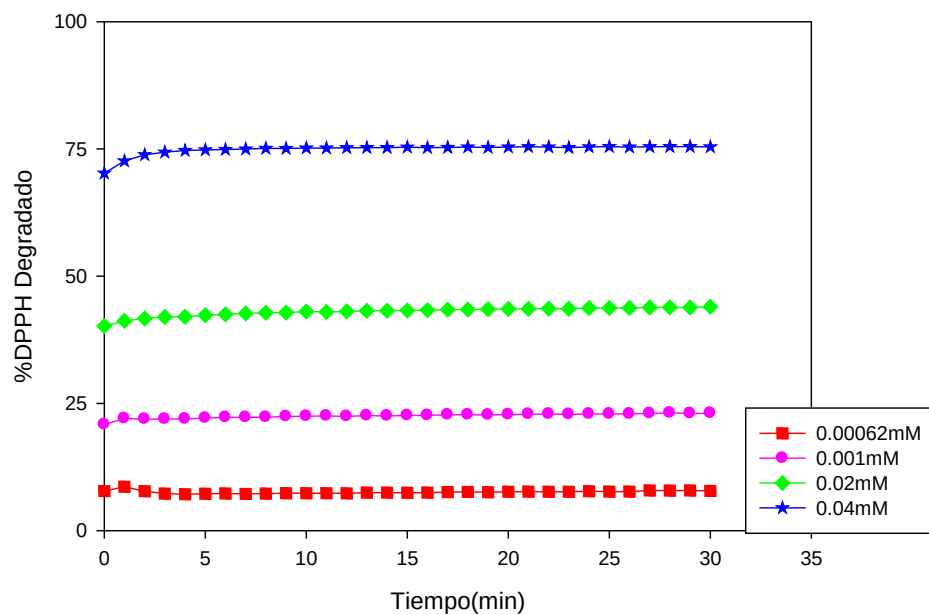


Figura D. Porcentaje de DPPH degradado respecto a su concentración mM.

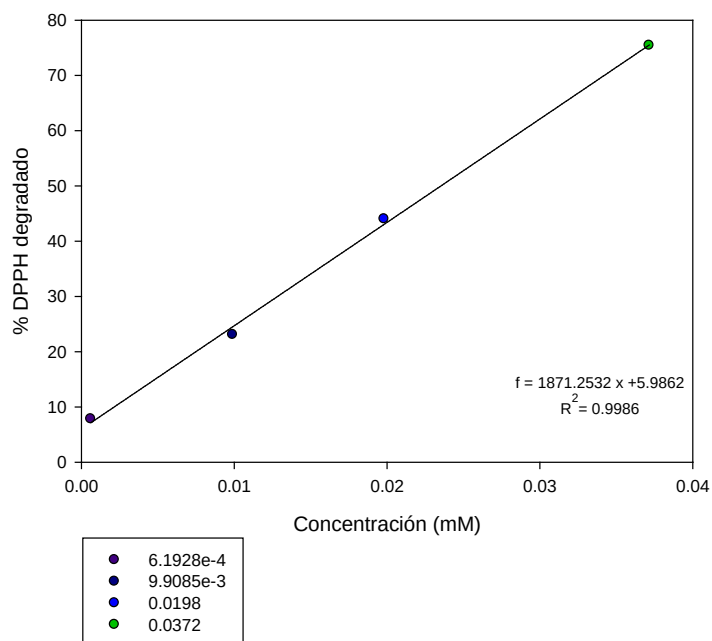
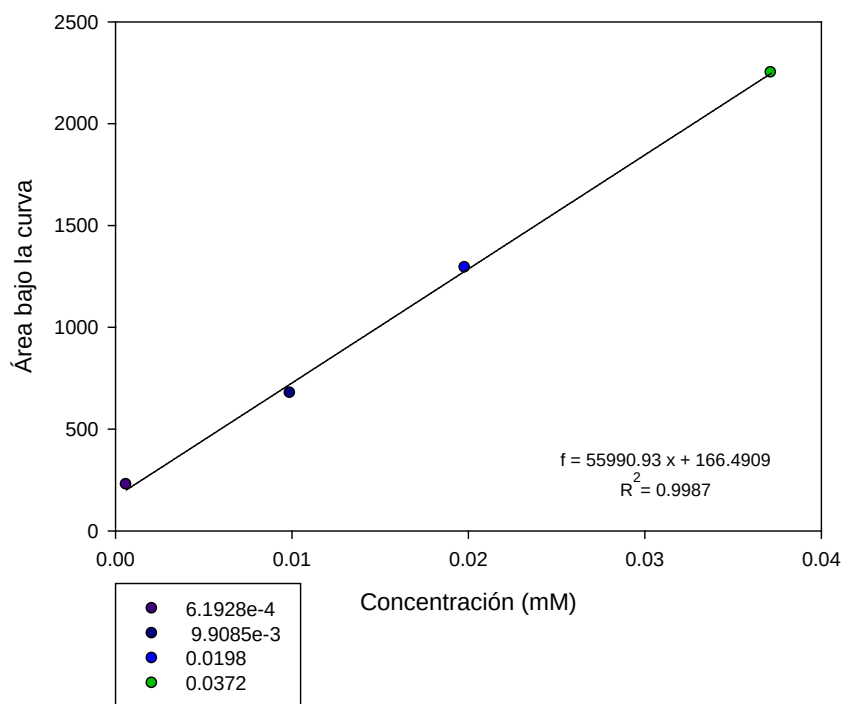


Figura E. Área bajo la curva respecto a la concentración del trolox



Análisis estadísticos.

Los resultados que arrojo el programa SAS se muestran a continuación con un nivel de significancia del 0.05

data;

```
inputtrat rep Ft FlavT vitc AA beta ec;
cards;
;
procanova;
classtrat rep;
modelFt FlavTvitc AA beta ec=rep trat;
means trat/Tukey;
run;
```

Procedimiento ANOVA

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
trat	9	0 15 30 45 60 75 90 105 120
rep	3	1 2 3

Número de observaciones 27

1. Variable dependiente: Fenoles totales

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	10	2.74232785	0.27423278	11.06	<.0001
Error	16	0.39661086	0.02478818		
Total	26	3.13893870			
correcto					

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Ft Media
0.873648	18.26605	0.157443	0.861941

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Rep	2	0.34880467	0.17440234	7.04	0.0064
trat	8	2.39352317	0.29919040	12.07	<.0001

2. Variable dependiente: Flavonoides totales

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	10	0.03148545	0.00314855	13.19	<.0001
Error	16	0.00381823	0.00023864		
Total	26	0.03530368			
correcto					

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Flt Media
0.891846	18.99056	0.015448	0.81345

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Rep	2	0.00253735	0.00126867	5.32	0.0170
trat	8	0.02894811	0.00361851	15.16	<.0001

3. Variable dependiente: Vitamina C

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	10	1060.774262	106.077426	265.48	<.0001
Error	16	6.393090	0.399568		
Total correcto	26	1067.167352			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Vit C Media
0.891846	9.796489	0.632114	.452455

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Rep	2	5.693298	2.846649	7.12	0.0061
trat	8	1055.080964	131.885121	330.07	<.0001

4. Variable dependiente: Actividad antioxidante

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	10	0.38369718	0.03836972	0.69	0.7232
Error	16	0.89453308	0.05590832		
Total correcto	26	1.27823025			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	AA Media
0.300178	25.62081	0.236449	0.922880

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Rep	2	0.07911038	0.03955519	0.71	0.5077
trat	8	0.30458680	0.03807335	0.68	0.7022

5. Variable independiente: Betalaínas totales

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	10	60.67708924	6.0770892	13.90	<.0001
Error	16	6.98248085	0.4364050		
Total	26	67.6595700			
correcto					

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	beta Media
0.896800	20.04101	0.660610	3.2962

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
trat	8	58.29873083	7.28734135	16.70	<.0001
Rep	2	2.37835841	1.18917920	2.72	0.0958

6. Variable independiente: CI₅₀

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	10	701.488316	70.148832	1.32	0.2975
Error	16	847.665433	52.979090		
Total	26	1549.153750			
correcto					

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	EC Media
0.452820	26.94008	7.278674	27.01801

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Trat	8	457.3662886	57.1707861	1.08	0.4243
Rep	2	244.1220279	122.0610140	2.30	0.1320

1. Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Fenoles totales

NOTA: Este test controla el índice de error experimental de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.024788
Valor crítico del rango estudentizado	5.03101
Diferencia significativa mínima	0.4573

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	1.4624	3	0
A			
B A	1.1122	3	15
B A			
B A C	1.0456	3	45
B C			
B C	0.9084	3	75
B C			
B D C	0.7919	3	30
B D C			
B D C	0.7434	3	90
B D C			
B D C	0.6762	3	60
D C			
D C	0.6420	3	105
D	0.3752	3	120
D			

2. Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Flavonoides Totales

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.000239
Valor crítico del rango estudentizado	5.03101
Diferencia significativa mínima	0.0449

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	0.14641	3	0
A			
B A	0.10723	3	30
B A			
B A	0.10318	3	45
B			
B C	0.08893	3	15
B C			
B C D	0.07600	3	75
B C D			
B C D	0.07372	3	105
C D			
C D	0.05680	3	90
C D			
C D	0.04666	3	60
D			
D	0.03319	3	120

3. Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Vitamina C

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.399568
Valor crítico del rango estudentizado	5.03101
Diferencia significativa mínima	1.8361

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	19.6330	3	0
B	12.9129	3	15
C	9.7792	3	30
C			
C	7.9560	3	45
D	2.7358	3	60
D			
E D	2.0303	3	75
E D			
E D	1.5797	3	90
E D			
E D	0.9745	3	105
E			
E	0.4707	3	120

4. Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para AA

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.055908
Valor crítico del rango estudentizado	5.03101
Diferencia significativa mínima	0.6868

Tukey	Media	N	Trat
Agrupamiento			
A	1.0517	3	30
A			
A	1.0482	3	0
A			
A	1.0054	3	75
A			
A	0.9868	3	15
A			
A	0.9758	3	105
A			
A	0.8602	3	90
A			
A	0.8054	3	60
A			
A	0.8008	3	45
A			
A	0.7715	3	120

5. Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Betalaínas

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.436405
Valor crítico del rango estudentizado	5.03101
Diferencia significativa mínima	1.9188

Tukey	Agrupamiento	Media	N	trat
A		5.5540	3	0
A				
A		5.2308	3	15
A				
B	A	4.5575	3	30
B	A			
B	A C	3.8275	3	45
B	C			
B	D C	2.7031	3	60
B	D C			
B	D C	2.6425	3	75
D	C			

D	C	2.1704	3	90
D				
D		1.7653	3	105
D				
D		1.2156	3	120

6. Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para CI_{50}

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	16
Error de cuadrado medio	0.055908
Valor crítico del rango estudentizado	5.03101
Diferencia significativa mínima	0.6868

Tukey agrupamiento	Media	N	trat
A	33.021	3	120
A			
A	32.336	3	45
A			
A	30.445	3	60
A			
A	29.035	3	90
A			
A	26.840	3	105
A			
A	23.750	3	75
A			
A	23.602	3	15
A			
A	22.745	3	30
A			
A	21.388	3	0

Analysis of components

Datafenol;

Inputtrat	FT	Flavo T	vitC	AA	betal	CI;
Cards;						
0	1.4624	0.1464	19.6330	1.0482	5.5540	21.3883
15	1.1122	0.0889	12.9129	0.9868	5.2308	23.6022
30	0.7919	0.1072	9.7792	1.0517	4.5575	22.7453
45	1.0456	0.1032	7.9560	0.8008	3.8275	32.3361
60	0.6762	0.0467	2.7358	0.8054	2.7031	30.4450
75	0.9084	0.0760	2.0303	1.0054	2.6425	23.7499
90	0.7434	0.0568	1.5797	0.8602	2.1703	29.0347
105	0.6420	0.0737	0.9745	0.9758	1.7653	26.8401
120	0.3752	0.0332	0.4707	0.7715	1.2156	33.0207

;

```

Procprint;
Procprincomp out=pcsc;
var FT FlavoT vitC AA betal CI;
procprint;
vartrac prin1 prin2 prin3;
procplot;
plot prin2*prin1 =trac;
run

```

	Obs	trat	FT	FlavoT	vitC	AA	betal	CI
	1	0	1.4624	0.1464	19.6330	1.0482	5.5540	21.3883
	2	15	1.1122	0.0889	12.9129	0.9868	5.2308	23.6022
	3	30	0.7919	0.1072	9.7792	1.0517	4.5575	22.7453
	4	45	1.0456	0.1032	7.9560	0.8008	3.8275	32.3361
	5	60	0.6762	0.0467	2.7358	0.8054	2.7031	30.4450
	6	75	0.9084	0.0760	2.0303	1.0054	2.6425	23.7499
	7	90	0.7434	0.0568	1.5797	0.8602	2.1703	29.0347
	8	105	0.6420	0.0737	0.9745	0.9758	1.7653	26.8401
	9	120	0.3752	0.0332	0.4707	0.7715	1.2156	33.0207

The PRINCOMP Procedure

Observations 9
 Variables 6
 Simple Statistics

	FT	FlavoT	vitC	AA	betal	CI
Mean	0.86192	0.08134	6.45245	0.92286	3.29628	27.01803
StD	0.31579	0.03471	6.63036	0.11266	1.55855	4.36542

Correlation Matrix

	FT	FlavoT	vitC	AA	betal	CI
FT	1.0000	0.8821	0.8807	0.5443	0.8665	-.6229
FlavoT	0.8821	1.0000	0.8835	0.6823	0.8530	-.6802
vitC	0.8807	0.8835	1.0000	0.5526	0.9516	-.6285
AA	0.5443	0.6823	0.5526	1.0000	0.5869	-.9760
betal	0.8665	0.8530	0.9516	0.5869	1.0000	-.6663
CI	-.6229	-.6802	-.6285	-.9760	-.6663	1.0000

Eigenvalues of the Correlation Matrix

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	4.76517557	3.87710727	0.7942	0.7942
2	0.88806831	0.70923479	0.1480	0.9422
3	0.17883352	0.05745123	0.0298	0.9720
4	0.12138229	0.07862938	0.0202	0.9922
5	0.04275291	0.03896550	0.0071	0.9994
6	0.00378741	0.0006	1.0000	

Eigenvectors

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
FT	0.414422	0.308863	0.443253	-.712613	-.000953	0.169017
FlavoT	0.429089	0.151154	0.568672	0.596853	0.148240	-.302388
vitC	0.423463	0.327746	-.355260	0.200675	-.726751	0.136437
AA	0.366415	-.632127	0.077571	0.143982	0.054294	0.660652
betal	0.425205	0.266388	-.565112	0.016987	0.654077	0.027953
CI	-.386985	0.551173	0.168999	0.273238	0.138177	0.651259

	Obs	trat	Prin1	Prin2	Prin3
1	0	3.95647	0.49393	0.25192	
2	15	1.87294	0.13768	-0.66075	
3	30	1.58198	-0.83823	-0.38704	
4	45	-0.11632	1.79625	0.46446	
5	60	-1.75693	0.47418	-0.36212	
6	75	0.09228	-1.18385	0.38200	
7	90	-1.45987	-0.04987	0.13590	
8	105	-0.96270	-1.10029	0.44429	
9	120	-3.20785	0.27021	-0.26865	