

CALIDAD FÍSICA Y NUTRACÉUTICA DE CHILE SECADO POR DIFERENTES MÉTODOS

Mayra Denise Herrera
Jaime Mena Covarrubias
Aidé Carolina Menchaca Valdez
Néstor Manuel Ortiz Rodríguez
Octavio García Valladares



Centro de Investigación Regional Norte-Centro
Campo Experimental Zacatecas
Calera de V.R., Zacatecas, México
Folleto Técnico No. 100
Diciembre 2019
ISBN: 978-607-37-1169-2

S ECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA
Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México

MIGUEL GARCÍA WINDER
Subsecretario de Agricultura

VÍCTOR SUÁREZ CARRERA
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

DAVID MONREAL ÁVILA
Coordinador General de Ganadería

SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA
Coordinador General de Desarrollo Rural

IGNACIO OVALLE FERNÁNDEZ
Titular del Organismo Seguridad Alimentaria Mexicana

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

DR. JOSÉ FERNANDO DE LA TORRE SÁNCHEZ
Director General

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. JORGE FAJARDO GUEL
Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. JOSÉ HUMBERTO CORONA MERCADO
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

DR. ARTURO DANIEL TIJERINA CHÁVEZ
Director Regional

DR. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ
Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS
Director de Administración

MC. RICARDO A. SÁNCHEZ GUTIÉRREZ
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

CALIDAD FÍSICA Y NUTRACÉUTICA DE CHILE SECADO POR DIFERENTES MÉTODOS

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
México, D.F.
C.P. 04010 México, D.F.
Teléfono (55) 3871-8700

ISBN: 978-607-37-1169-2

Primera Edición: Diciembre 2019

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia o por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la institución.

Cita correcta:

Herrera, M.D., Mena-Covarrubias, J., Menchaca-Valdéz, A.C., Ortíz-Rodríguez, N.M., García-Valladares, O. 2019. Calidad física y nutracéutica de chile secado por diferentes métodos. Folleto Técnico Núm 100. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 37 páginas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
MÉTODOS DE SECADO	3
Deshidratador solar	5
Secado por invernadero	7
Túnel solar	8
Macrotúnel	9
Secador de gas	10
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CHILE SECADO POR DIFERENTES MÉTODOS	12
Diseño Experimental	13
RESULTADOS	14
CALIDAD FÍSICA	14
CALIDAD NUTRACÉUTICA	18
Carbohidratos no digeribles	18
Polifenoles	25
Carotenoides	28
CONCLUSIONES	30
LITERATURA CITADA	31

CALIDAD FÍSICA Y NUTRACÉUTICA DE CHILE SECADO POR DIFERENTES MÉTODOS

Mayra Denise Herrera¹
Jaime Mena Covarrubias¹
Aidé Carolina Menchaca Valdez²
Néstor Manuel Ortiz Rodríguez²
Octavio García Valladares²

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el chile se seca directamente bajo el sol. Este método requiere largos tiempos de secado, depende de la disponibilidad de sol y es susceptible a la contaminación con materiales extraños e infestaciones de insectos y hongos, lo que lleva a la obtención de un producto de baja calidad, en ocasiones inutilizable (Fudholi *et al.*, 2013).

Por lo anterior, la creciente demanda de hortalizas secas de alta calidad requiere el diseño, la simulación y una mayor optimización del proceso de secado con el fin de lograr no solo la eficiencia del proceso, sino también la calidad final del producto seco (Arslan *et al.*, 2011). Hasta ahora, la deshidratación ha sido el método más utilizado para extender la vida útil de las frutas y verduras, y se utiliza para reducir el

¹ Investigadores de los programas de “Frijol y Garbanzo” y “Sanidad Forestal y Agrícola” del Campo Experimental Zacatecas. ² UNAM-Instituto de Energías Renovables.

contenido de humedad, con el objetivo de una conservación eficiente y un almacenamiento prolongado; este procesamiento mejorado se basa en la prevención del desarrollo de microorganismos. Otra ventaja es el transporte más barato y fácil debido a la reducción de peso y volumen (Tzampelikos *et al.* 2014; Wojdyło *et al.* 2016). Sin embargo, el secado de frutas y hortalizas es un proceso complejo que implica la transferencia simultánea de calor y masa en condiciones transitorias. El conocimiento de los mecanismos de transferencia de calor y masa relacionados con el proceso y el papel de los parámetros de secado tiene un impacto directo en la mejora de la calidad del producto deshidratado (Tzampelikos *et al.*, 2014).

Es bien sabido que, durante el secado, los productos agrícolas experimentan cambios físicos, químicos y nutricionales que pueden afectar los atributos de calidad como la textura, el color, el sabor y el valor nutricional (Vega-Gálvez *et al.*, 2009). Las frutas y verduras han sido reconocidas como fuentes naturales de diversos compuestos bioactivos (Pennington *et al.*, 2010; Dembitsky *et al.*, 2011; Ayala-Zavala *et al.*, 2011), los cuales se verán modificados por el efecto del tratamiento de deshidratación. Los principales componentes fitoquímicos presentes en frutas y verduras son compuestos fenólicos como los flavonoides y antocianinas, vitaminas C y E, fibra dietaria y carotenoides (González-Aguilar *et al.*, 2008). Se ha atribuido un menor riesgo de desarrollar diversas enfermedades crónicas al

consumo de estos fitoquímicos, en particular a sus actividades antioxidantes y de eliminación de radicales (Ayala-Zavala *et al.*, 2011). Uno de esos vegetales donde se puede encontrar una amplia variedad de antioxidantes es el chile.

Bajo el contexto anterior, cabe mencionar que el chile es un importante cultivo hortícola, y gran parte de su cosecha se designa a la obtención de chile seco. La superficie destinada a la producción de chile para secado en el país es de cerca de 70 mil hectáreas, con una producción promedio de 53 mil toneladas y un rendimiento de 0.75 ton/ha, registrado para el 2017. A nivel nacional, Zacatecas ocupa el primer lugar por superficie sembrada con más de 30 mil hectáreas y el primer lugar por valor de la producción, con una aportación para el 2017 de 3.22 mil millones de pesos (SIAP,2018).

Por lo anterior, se busca difundir las variaciones causadas en la calidad física y nutracéutica del chile secado bajo diferentes métodos, e identificar la mejor opción según lo que se busca del producto final.

MÉTODOS DE SECADO

El secado por congelación-vacío, mejor conocido como liofilización, es el mejor método de secado, ya que a partir de este proceso se obtiene frutos secos de alta calidad, con propiedades sensoriales y nutricionales similares a las de los

productos frescos, y finalmente con una buena capacidad de rehidratación. Sin embargo, es muy costoso y lento, tiene un alto consumo de energía y requiere una gran inversión debido a la necesidad de sistemas de refrigeración y vacío (Huang *et al.*, 2009). Por otro lado, el secado por convección sigue siendo el método de secado más popular en la industria alimentaria porque es barato y requiere un equipo simple (Figiel *et al.*, 2010). Sin embargo, tiene varias desventajas:

- Son necesarios largos tiempos, y se pueden alcanzar altas temperaturas.
- Se puede producir una degradación significativa de los compuestos clave de color y sabor y componentes funcionales debido al contacto con el aire caliente.
- Los productos pueden sufrir una contracción severa, lo que resulta en un colapso de los tejidos.
- Si se utiliza combustible fósil para producir aire caliente, puede contribuir al cambio climático.

Como alternativa, el secado solar es una de las aplicaciones más atractivas y prometedoras de los sistemas de energía solar. Utiliza tecnología renovable, es respetuosa con el medio ambiente y es económicamente viable en la mayoría de los países en desarrollo.

Por lo anterior, en el INIFAP-Zacatecas se ha trabajado en la deshidratación del chile tipo Mirasol por diferentes métodos de

secado, con el objetivo de evaluar los cambios físicos y nutracéuticos que sufre el fruto, así como, la calidad final del producto. Los métodos de secado evaluados fueron:

- Deshidratador solar (Planta termosolar deshidratadora de productos agrícolas del estado de Zacatecas)
- Invernadero (Universidad Autónoma Chapingo)
- Túnel Solar (Planta termosolar deshidratadora de productos agrícolas del estado de Zacatecas)
- Secador de gas (Productor cooperante)
- Macrotúnel (INIFAP)

Deshidratador Solar

Secador solar directo tipo gabinete de acrílico desarrollado por el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual permite la exposición directa al sol del producto a deshidratar, manteniéndolo protegido de agentes externos como polvo e insectos. Este deshidratador puede funcionar mediante convección natural o forzada cuando se enciende un ventilador que opera como extractor del aire que se calienta en el interior mediante efecto invernadero. Para las pruebas de secado el chile se colocó en charolas perforadas de acero inoxidable (Figura 1). La temperatura máxima registrada en el interior del gabinete durante las pruebas de secado de chile tipo Mirasol fue de 65.1 °C.



Figura 1. Deshidratador solar. Planta termosolar deshidratadora de productos agrícolas del estado de Zacatecas.

Secado por Invernadero

Secador solar tipo invernadero de forma parabólica, con cubierta de policarbonato, piso de concreto, estructura de acero galvanizado y extractores para el control de temperatura. Este secador fue desarrollado y construido por la Universidad Autónoma Chapingo y se encuentra ubicado en las instalaciones del Centro Regional Universitario Centro Norte Chapingo (Figura 2). De acuerdo con estudios preliminares se pueden alcanzar temperaturas de aire en el interior del invernadero de hasta 69 °C sin producto y sin circulación forzada (Garduño *et al.*, 2017). Para las pruebas de secado de chile la temperatura máxima registrada fue de 54.2 °C.



Figura 2. Secado por invernadero. Universidad Autónoma Chapingo, Zacatecas.

Túnel Solar

Consiste en una cámara tipo túnel horizontal semi continuo que permite el deshidratado solar de productos de manera indirecta, es decir, sin que incida la radiación solar sobre el elemento a deshidratar. El interior del túnel está recubierto de lámina de acero inoxidable grado alimenticio. Mientras que la parte exterior del túnel está recubierta de lámina galvanizada. El producto a deshidratar se coloca en bandejas perforadas también de acero inoxidable grado alimenticio las cuales se sitúan en estantes de secado (espigueros). El calor necesario para el proceso de secado solar se obtiene mediante dos sistemas de calentamiento de aire, uno directo y el otro indirecto. El sistema de calentamiento directo de aire se realiza mediante un sistema de captadores solares de aire modulares denominados CASOLAIRE (patente: MX 359971 B) desarrollado por el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México. El sistema de calentamiento indirecto de aire se realiza mediante un sistema de captadores solares de placa plana para el calentamiento de agua, la cual transfiere el calor al aire que fluye a la cámara de secado a través de un intercambiador de calor de tubos aletados (Figura 3). La temperatura de aire máxima durante las pruebas de secado de chile Mirasol fue de 63 °C



Figura 3. Túnel solar. Planta termosolar deshidratadora de productos agrícolas del estado de Zacatecas.

Macrotúnel

Se trata de un cajón de madera con un espesor de aproximadamente 15 cm en sus paredes como aislante, en el cual se coloca una cama de aserrín (con el fin de simular uno de los métodos tradicionales de secado de chile). Está cubierto por plástico de polietileno transparente soportado por arcos metálicos posicionados en los extremos del cajón de madera, para generar un efecto invernadero mediante la radiación que logra penetrar a través de la cubierta plástica. Los chiles se posicionaron de manera directa sobre la cama de aserrín y se dejaron hasta alcanzar el grado de deshidratación deseado (Figura 4).



Figura 4. Secado por Macrotúnel. Campo Experimental Zacatecas del INIFAP.

Secador de gas

Un túnel horizontal cuadrado construido de concreto y ladrillo con una longitud de 10 metros por 2.5 m de alto y 2 metros de ancho. En un extremo cuenta con un quemador alimentado de gas LP, contenido en un tanque estacionario que se encuentra sobre el túnel. Cuenta con un ventilador axial de metro y medio de diámetro para generar convección forzada a 0.73 m/s respectivamente, el cual está montado sobre una puerta corrediza. La puerta se desliza para permitir la entrada de un estante deslizante, con charolas de secado que tienen un fondo de malla metálica, estos corren sobre vías montadas en el piso a lo largo del túnel. Un termómetro bimetálico se encuentra

instalado en cada extremo del túnel, con la finalidad de monitorear la temperatura a la entrada (donde se encuentra el quemador), y a la salida. Este monitoreo permite una temperatura de operación a 60 °C, mediante el flujo de gas controlado por una válvula manual en la línea de alimentación de gas (Figura 5).



Figura 5. Secador de gas. Rancho del Sr. Alberto de Santiago. Calera de V.R., Zacatecas.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CHILE SECADO POR DIFERENTES MÉTODOS

Se realizó el secado de chile tipo Mirasol por diferentes métodos, para esto se tomó muestras de chile ($n=10$) de manera al azar de una parcela experimental establecida en el Campo Experimental INIFAP-Zacatecas (CEZAC) (Figura 6) bajo las recomendaciones del paquete tecnológico para la producción de chile.

El muestreo se realizó de plantas cubiertas con malla antiáfidos y de plantas sin cubierta ($N=100$).



Figura 6. Parcela experimental de chile tipo Mirasol establecida en el Campo Experimental INIFAP Zacatecas (CEZAC).

Diseño Experimental

Se trabajó con un diseño factorial completo. El primer factor tuvo lugar en campo, denominado “Malla antiáfidos” con dos niveles: cubierta y descubierta; el segundo factor se denominó “Tipo de secado” constituido por cinco niveles, cada nivel corresponde a alguno de los métodos antes mencionados, y estos formaron parte de un tratamiento poscosecha de los frutos. El objetivo de este diseño fue evaluar experimentalmente los efectos que tales factores tienen sobre las variables respuesta del presente estudio; adicionalmente, estudiar los posibles efectos de interacción fue de suma importancia, ya que la interacción entre dos factores indica que el efecto sobre la respuesta de un primer factor depende de los niveles del otro factor.

En laboratorio se cuantificó la concentración de fitoquímicos con calidad nutracéutica, entre estos, polifenoles como los compuestos fenólicos totales (Singleton *et al.*, 1999), flavonoides totales (Liu *et al.*, 2002), taninos condensados (Desphande *et al.*, 1985) y antocianinas totales (Abdel-Aal *et al.*, 1999), carbohidratos no digeribles como la fibra dietaria total y sus fracciones soluble e insoluble (Total dietary Fiber Kit, Sigma-Aldrich), así como el almidón resistente (Saura-Calixto *et al.*, 1993), y carotenoides totales (Dóka *et al.*, 2013). Además. se evaluó cambios físicos como peso, longitud y anchura de los chiles procesados por los diferentes métodos de secado.

RESULTADOS

CALIDAD FÍSICA

Durante el secado, las frutas y verduras experimentan cambios físicos, estructurales, químicos y organolépticos que causan degradación de la calidad. (Arslan 2011). Como se mencionó previamente, la deshidratación causa una severa contracción del producto secado (Figiel *et al.*, 2010). Las Tablas 1, 2 y 3 muestran la caracterización (peso, largo y ancho, respectivamente) de los frutos de chile de los diferentes tratamientos previo y posterior al secado, así como la diferencia registrada para cada variable.

Al realizar el análisis estadístico de las mediciones físicas de los chiles tipo Mirasol, se observó que en general no existe diferencia significativa de los efectos de interacción, con valores de $P=0.1897$, $P=0.1249$ y $P=0.2644$ para el peso, largo y ancho, respectivamente, por lo que no se incluye la comparación de medias. Al analizar los efectos primarios de los factores establecidos en este estudio, se observó que únicamente el tipo de secado tuvo un efecto significativo ($P=0.0117$), sobre el peso de los chiles, y fue el secado de gas el que permitió la menor diferencia de peso (Tabla 1). Sin embargo, el efecto del tipo de secado y la cobertura no influye de manera importante en las variables medidas.

Tabla 1. Peso inicial, final y diferencia de peso (g) de chiles secados por diferentes métodos.

Malla antiáfidos	Tipo de secado	Peso_I	Peso_F	Diferencia de peso
Plantas cubiertas	Deshidratador solar	16.6 ± 1.1	5.4 ± 1.3	10.8 ± 0.6
	Invernadero	16.8 ± 1.9	5.9 ± 1.6	10.1 ± 0.4
	Túnel solar	16.7 ± 1.6	5.9 ± 1.3	10.3 ± 0.5
	Macrotúnel	15.1 ± 1.4	5.4 ± 1.5	9.7 ± 0.3
	Secador de gas	15.8 ± 1.7	4.8 ± 1.9	11.1 ± 0.3
Plantas descubiertas	Deshidratador solar	15.4 ± 1.7	4.6 ± 1.5	10.2 ± 0.4
	Invernadero	15.3 ± 2.3	5.1 ± 2.0	11.2 ± 2.7
	Túnel solar	15.7 ± 1.5	5.2 ± 1.0	10.0 ± 0.5
	Macrotúnel	15.7 ± 1.7	5.7 ± 1.6	10.0 ± 0.3
	Secador de gas	16.2 ± 1.8	5.4 ± 1.6	10.7 ± 0.4

Peso_I= peso inicial, Peso_F= peso final

Tabla 2. Largo inicial, final y diferencia del largo (cm) de chiles secados por diferentes métodos.

Malla antiáfidos	Tipo de secado	Largo_I	Largo_F	Diferencia del largo
Plantas cubiertas	Deshidratador solar	15.7 ± 2.9	13.6 ± 2.2	1.6 ± 1.2
	Invernadero	16.1 ± 1.9	15.7 ± 2.1	0.1 ± 0.1
	Túnel solar	15.3 ± 2.4	14.4 ± 1.9	0.1 ± 0.0
	Macrotúnel	14.6 ± 2.1	14.4 ± 2.1	0.2 ± 0.0
	Secador de gas	14.2 ± 2.8	13.8 ± 2.8	0.4 ± 0.1
Plantas descubiertas	Deshidratador solar	14.8 ± 2.7	13.6 ± 2.1	0.9 ± 2.1
	Invernadero	16.0 ± 2.7	15.7 ± 2.9	0.2 ± 0.7
	Túnel solar	14.4 ± 1.4	14.8 ± 1.6	0.1 ± 0.7
	Macrotúnel	15.0 ± 1.7	14.9 ± 1.7	0.1 ± 0.0
	Secador de gas	15.6 ± 1.7	15.1 ± 1.6	0.5 ± 0.2

Largo_I= largo inicial, Largo_F= largo final

Tabla 3. Ancho inicial, final y diferencia del ancho (cm) de chiles secados por diferentes métodos.

Malla antiáfidos	Tipo de secado	Ancho_I	Ancho_F	Diferencia de ancho
Plantas cubiertas	Deshidratador solar	3.1 ± 0.3	3.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2
	Invernadero	3.2 ± 0.2	3.0 ± 0.2	0.1 ± 0.1
	Túnel solar	3.1 ± 0.3	3.1 ± 0.3	0.1 ± 0.0
	Macrotúnel	2.9 ± 0.3	2.8 ± 0.3	0.1 ± 0.0
	Secador de gas	3.1 ± 0.3	3.1 ± 0.3	0.0 ± 0.0
0.0 Plantas descubiertas	Deshidratador solar	3.3 ± 0.2	3.2 ± 0.3	0.0 ± 0.0
	Invernadero	2.9 ± 0.2	2.8 ± 0.2	0.1 ± 0.1
	Túnel solar	2.8 ± 0.2	2.8 ± 0.2	0.0 ± 0.0
	Macrotúnel	3.2 ± 0.2	3.2 ± 0.2	0.1 ± 0.0
	Secador de gas	3.3 ± 0.3	3.3 ± 0.3	0.0 ± 0.2

Ancho_I= ancho inicial, Ancho_F= ancho final

CALIDAD NUTRACÉUTICA

Carbohidratos no digeribles

La importancia de las fibras alimentarias ha llevado al desarrollo de un mercado grande y potencial para productos ricos en fibra y, en los últimos años, existe una tendencia a encontrar nuevas fuentes de fibra dietaria que puedan utilizarse en la industria alimentaria (Elleuch, *et al.*, 2010). Esto debido a que diversos estudios clínicos y epidemiológicos han demostrado que el su consumo está inversamente relacionado con el riesgo a padecer enfermedades cardiovasculares y crónico degenerativas (Lattimer *et al.*, 2010; Papathanasopoulos *et al.*, 2010). Además, se ha reportado que la fracción soluble reduce la glucosa postprandial y disminuye el colesterol en la sangre (Ajila *et al.*, 2008). Mientras que la fracción insoluble estimula la liberación de insulina postprandial (Lattimer *et al.*, 2010). Sin embargo, es bien sabido que el procesamiento de los alimentos modifica la estructura de la matriz de fibra; entre estos, el procesamiento térmico (Tatjana *et al.*, 2002).

En las gráficas 7-10 se puede observar el efecto de la cobertura con malla antiáfidos de las plantas de chile y el tipo de secado del fruto, sobre la concentración de carbohidratos no digeribles. La Figura 7 muestra que, a excepción de los chiles secados en macrotúnel, se cuantificó ligeramente mayor concentración de fibra dietaria total en los chiles obtenidos de plantas

descubiertas; sin embargo, a partir del análisis estadístico de los datos se puede concluir que no existe diferencia significativa. Adicionalmente, no existe un efecto de interacción entre los dos factores evaluados ($P=0.309$). No obstante, para esta variable respuesta, el efecto del tipo de secado influyó significativamente ($P=0.002$).

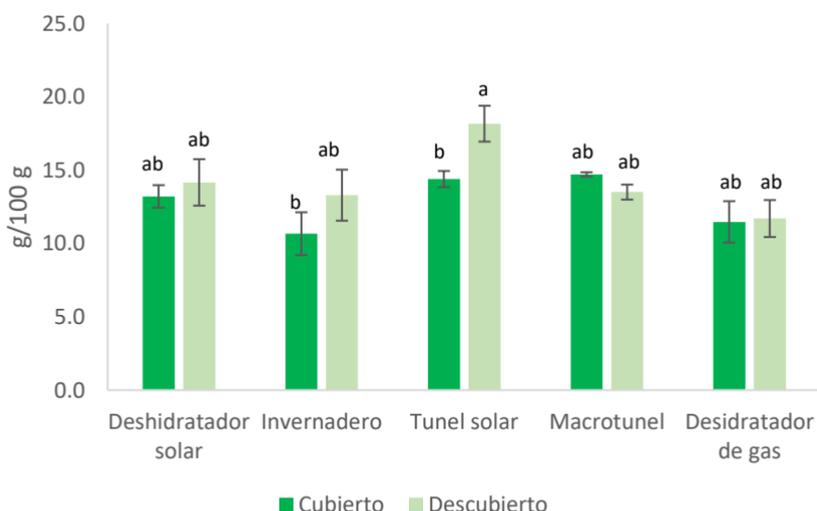


Figura 7. Concentración de fibra dietaria total en frutos de Chile obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos y diferentes tipos de secado.

Los datos se expresan como la media \pm DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

Lo anterior demuestra que la concentración de fibra dietaria total está influenciada por el tipo de tratamiento térmico durante el secado. En este sentido, una deshidratación por energía solar y con flujo térmico por convección permite la mayor concentración. Un incremento del 55 % se observó al comparar la concentración de fibra dietaria total de chiles secados en el túnel solar en comparación con el deshidratador de gas, método por el cual se encontró la menor concentración.

Esta tendencia en la acumulación de fibra dietaria fue similar a la observada para la fracción insoluble (Figura 8). Sin efecto de interacción ($P=0.176$) ni efecto significativo por efecto de la cubierta de las plantas ($P=0.762$), nuevamente el efecto principal fue por el tipo de secado ($P<0.000$).

El macrotúnel se posicionó como uno de los mejores métodos de secado, si lo que se busca es una elevada concentración de fibra dietaria insoluble, al igual que el secado por deshidratación solar, ambos métodos basados en el uso de la energía solar; la diferencia en la concentración de la fracción insoluble de la fibra dietaria solo fue del 8 % al comparar ambos métodos, esto en chiles de plantas descubiertas; mientras que los chiles secados por invernadero tuvieron la menor concentración de esta fracción con una disminución del 68 % para chiles obtenidos de plantas descubiertas y 67 % para chiles de plantas cubiertas.

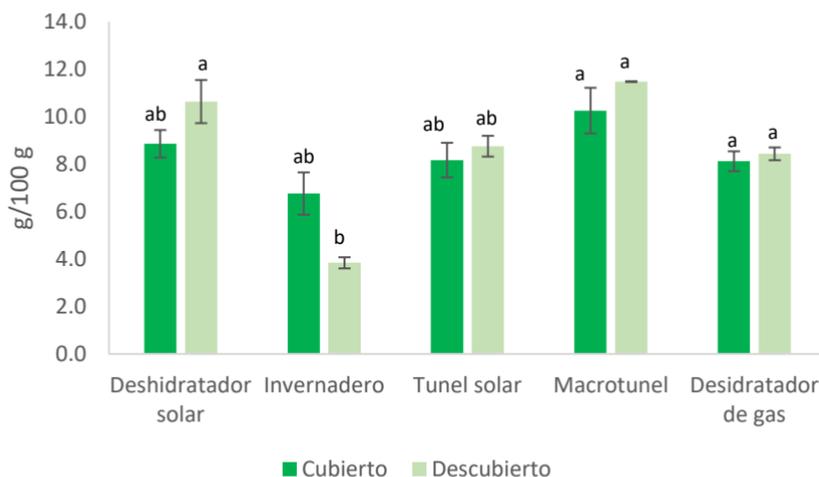


Figura 8. Concentración de fibra dietaria insoluble en frutos de chile obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos y diferentes tipos de secado.

Los datos se expresan como la media \pm DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

La fracción soluble de la fibra dietaria se encontró en mayor concentración en los chiles secados en el invernadero, a diferencia de la fracción insoluble, este método de secado incrementó esta fracción en un 79 % en comparación con lo observado por efecto del secado en macrotúnel, que fue el método más sobresaliente en la cuanto a la cuantificación de la fracción insoluble, contrario a lo observado para la presente

variable respuesta. (Figura 9) para los chiles provenientes de las plantas descubiertas.

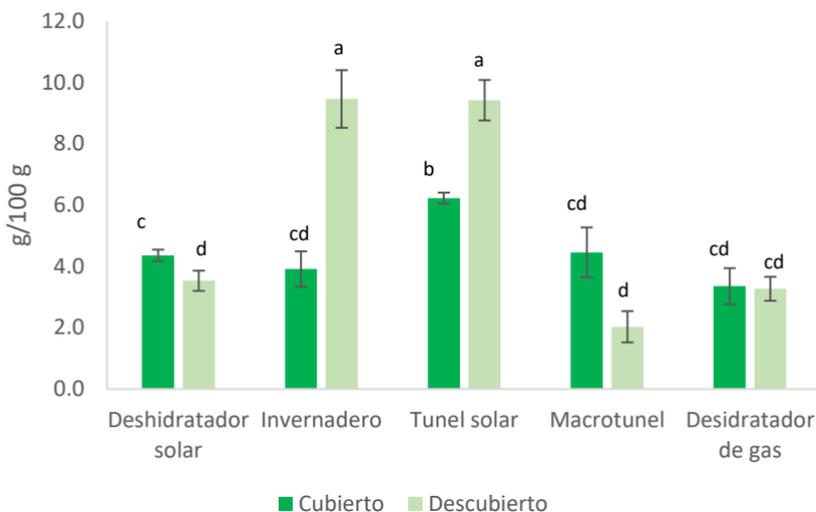


Figura 9. Concentración de fibra dietaria soluble en frutos de chile obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos y diferentes tipos de secado.

Los datos se expresan como la media \pm DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

Resulta interesante observar que existió un efecto de interacción significativo ($P=0.009$) entre ambos factores evaluados; cuando las plantas no se sometieron a una protección contra los rayos

UV con malla antiáfidos, el secado en invernadero fue la mejor opción para incrementar la fibra dietaria soluble, sin embargo, este método resultó el menos recomendado cuando las plantas se cultivan protegiendo de la luz.

Un efecto similar se puede observar a partir de los resultados obtenidos del secado por túnel solar. Bajo el mismo contexto, esta diferenciación por la interacción entre los niveles de ambos factores se puede observar en la concentración de la fracción soluble cuantificada a partir de los chiles secados en macrotúnel, mientras que el efecto no se observó en los chiles sometidos a una deshidratación por gas.

Finalmente, los resultados de la evaluación de almidón resistente en los chiles tipo Mirasol obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos, y secados por diferentes métodos, se muestran en la Figura 10. Es importante mencionar que el almidón resistente se ha definido como almidón dietario que no sufre digestión en el intestino delgado, y factores tales como la molienda, el calor y el secado de los alimentos influyen en su concentración. Este almidón resistente conforma parte de la fracción insoluble de la fibra dietaria, como parte de los carbohidratos no digeribles (Saura-Calixto *et al.*, 1993). Al igual que la fracción insoluble de fibra dietaria, el almidón resistente fue afectado significativamente por el tipo de secado ($P=0.002$), mientras que la cobertura con malla

antiáfidos y la interacción de ambos factores no tuvieron un efecto significativo ($P=0.524$ y $P=0.111$, respectivamente).

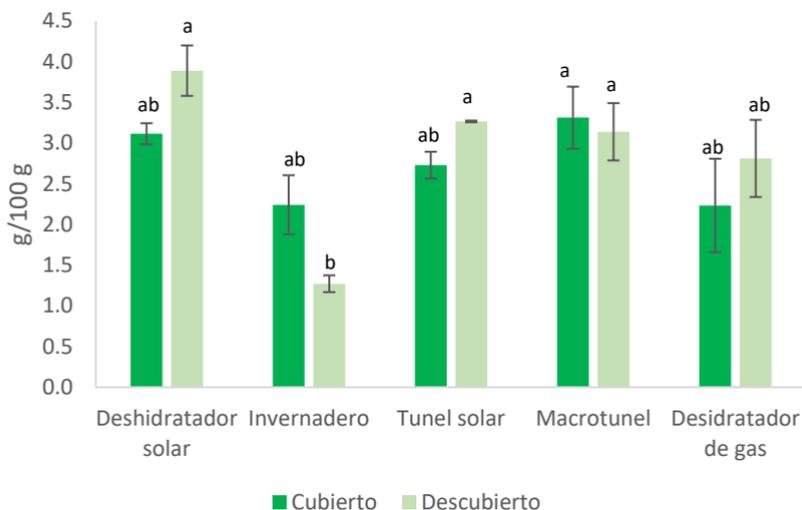


Figura 10. Concentración de almidón resistente en frutos de chile obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos y diferentes tipos de secado.

Los datos se expresan como la media \pm DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

La mayor concentración de almidón resistente se cuantificó a partir de chiles tipo Mirasol de plantas descubiertas y secados por medio de la deshidratación solar. La menor concentración

de este tipo de compuesto se obtuvo de los chiles descubiertos secados por invernadero, con una disminución del 60%.

Polifenoles

Además de la vitamina C, los alimentos de origen vegetal también suministran a nuestra dieta otros antioxidantes, como los compuestos fenólicos, que constituyen uno de los principales grupos de compuestos que actúan como antioxidantes primarios o terminadores de radicales libres (Tabart *et al.*, 2009; Türkan *et al.*, 2005). La concentración de compuestos fenólicos en el fruto de chile por efecto de los diferentes métodos de secado se observa en la Tabla 4. Los chiles secados en invernadero tuvieron la menor concentración de fenoles totales, adicionalmente, se puede mencionar que entre el resto de los tratamientos de secado no se observó diferencia significativa en los chiles de las plantas cultivadas sin la cobertura de malla antiáfidos. Al realizar el análisis estadístico de los resultados se encontró un efecto de interacción entre los niveles del factor malla antiáfidos y el factor tipo de secado ($p < 0.0001$). En este sentido, el tipo de secado que permitió la mayor concentración de fenoles totales fue el deshidratador solar, no obstante, cabe resaltar que el túnel solar fue otro tratamiento de secado que indujo una alta síntesis de estos metabolitos. En el caso de los flavonoides totales, nuevamente, los chiles secados bajo el deshidratador solar fueron los más sobresalientes por su

máxima concentración de flavonoides, y se observó 12 % más flavonoides en los chiles de plantas cubiertas en comparación con las plantas descubiertas ($p= 0.0015$). En los chiles de las plantas descubiertas se encontró que el secado por macrotúnel fue el método que permitió la siguiente más alta concentración de estos compuestos, mientras que, en las plantas cubiertas, este lugar fue ocupado por el tratamiento de secado por gas, mismo tratamiento que permitió la mayor concentración de taninos condensados en los chiles obtenidos de plantas cubiertas. El análisis estadístico realizado para esta variable respuesta mostró nuevamente un efecto de interacción entre ambos factores evaluados, con un valor de $p<0.0001$ y se puede observar que la mayor cantidad de taninos condensados fue cuantificada a partir de los chiles de las plantas descubiertas.

La cantidad de antocianinas totales no fue la excepción, al realizar el análisis de los datos obtenidos, se encontró nuevamente un efecto de interacción significativo ($p<0.0001$), es decir, cuando la planta se desarrolla bajo el efecto de la cubierta de malla antiáfidos, la concentración de antocianinas totales es mayor en comparación con las plantas descubiertas; en este caso, el efecto en la mayor acumulación de estos fitoquímicos se vio mayormente favorecida por el método de secado de deshidratación solar, mientras que para los chiles de las plantas descubiertas, el método más efectivo fue el de macrotúnel.

Tabla 4. Concentración de polifenoles en frutos de chile obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos y diferentes tipos de secado.

Malla antiáfidos	Tipo de secado	Fenoles totales¹	Flavonoides totales²	Taninos condensados²	Antocianinas totales³
Plantas cubiertas	Deshidratador solar	5.1 ± 0.2 a	0.3 ± 0.0 abc	41.4 ± 1.7 bc	0.3 ± 0.0 a
	Invernadero	2.6 ± 0.2 c	0.2 ± 0.1 bcd	37.1 ± 2.3 de	0.2 ± 0.02cd
	Túnel solar	4.1 ± 0.4 b	0.1 ± 0.0 d	22.0 ± 2.7 h	0.3 ± 0.01a
	Secador de gas	4.8 ± 0.3 a	0.2 ± 0.0 abcd	55.8 ± 2.1 a	0.2 ± 0.02b
	Macrotúnel	4.8 ± 0.2 a	0.2 ± 0.0 cd	26.0 ± 1.2 gh	0.3 ± 0.00a
Plantas descubiertas	Deshidratador solar	5.4 ± 0.4 a	0.3 ± 0.1 a	43.9 ± 1.9 b	0.2 ± 0.0 c
	Invernadero	4.1 ± 0.5 b	0.2 ± 0.0 bcd	38.7 ± 1.7 cd	0.1 ± 0.0 e
	Túnel solar	5.4 ± 0.3 a	0.2 ± 0.1 cd	29.4 ± 2.6 fg	0.2 ± 0.0 de
	Secador de gas	5.3 ± 0.2 a	0.1 ± 0.1 d	33.2 ± 2.5 ef	0.2 ± 0.0 cde
	Macrotúnel	5.3 ± 0.2 a	0.3 ± 0.0 ab	32.3 ± 1.9 f	0.2 ± 0.0 b

Los datos se expresan como la media ± DE. Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey. Los datos se expresan como ¹ mg eq. de ácido gálico/gramo de muestra seca. ²mg eq. de (+) catequina/g de muestra seca. ³mg eq. de cianidina 3-glucósido/gramo de muestra seca.

Carotenoides

Los carotenoides son los pigmentos responsables del color amarillo, naranja y rojo de muchos tipos de chile; sin embargo, son más que simples pigmentos, también juegan un papel importante como antioxidantes. En su calidad de antioxidantes, los carotenoides protegen las células y los tejidos de las especies reactivas de oxígeno, radicales peroxilo y las especies reactivas de nitrógeno (Hernández-Ortega *et al.*, 2012).

La deshidratación del fruto causa pérdida del color relacionada con la autooxidación de carotenoides totales (Doymaz *et al.*, 2002; Vega-Gálvez *et al.*, 2008). Por otro lado, la exposición a la radiación UV está relacionada con cambios metabólicos en la ruta de síntesis de estos compuestos. El análisis factorial de los resultados mostró que no existe interacción significativa entre los niveles de los factores estudiados ($P=0.294$), sin embargo, se encontró que el efecto principal de ambos factores, cobertura con malla ($P=0.012$) y tipo de secado ($P<0.001$), tuvieron una importante influencia en la concentración de carotenoides totales; en general, la producción de chile protegido de la radiación UV incrementa la concentración de estos compuestos, con un incremento del 15% en comparación con las plantas descubiertas. La pérdida de carotenoides por efecto del secado del fruto, se ha reportado como una de las principales causas de la degradación del color del chile (Pérez-Gálvez *et al.*, 2005), El

secado por túnel solar reduce la degradación de carotenoides, seguido del secador de gas y el macrotúnel con solo 13 % y 24 % menos carotenoides totales en comparación con los chiles secados por túnel solar, respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Concentración de carotenoides (mg E β C/g) en frutos de chile obtenidos de plantas cubiertas y descubiertas de malla antiáfidos y diferentes tipos de secado.

Factor	Carotenoides totales
Malla antiáfidos	
Cubierto	60.4 \pm 5.0 a
Descubierto	52.4 \pm 3.7 b
P>F	0.0121
Tipo de Secado	
Deshidratador solar	29.4 \pm 1.2 c
Invernadero	30.9 \pm 1.0 c
Túnel solar	83.8 \pm 5.5 a
Macrotúnel	65.6 \pm 3.0 ab
Secador de gas	72.2 \pm 4.2 b
P>F	0.0001

Los datos se expresan como la media \pm DE. Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

Los tratamientos con mayor degradación fueron el deshidratador solar e invernadero, con una disminución cerca del 64 %, en

comparación con el túnel solar, ambos tipos de secado se basan en una exposición más directa a la radiación UV. (Tabla 5). Un efecto abiótico y el manejo poscosecha del chile influyen en la concentración de carotenoides totales, aunque no en sinergia. En la industria de los alimentos se ha buscado la utilización de pigmentos naturales, entre estos, los carotenoides; el presente trabajo demuestra que es posible incrementar la concentración de estos compuestos en el chile secado, lo que pudiera incrementar su valor comercial.

CONCLUSIONES

Es evidente que existe una diferenciación metabólica por efecto de la cobertura contra la luz ultravioleta de plantas de chile tipo Mirasol, y el tipo de secado de los frutos. Tanto los efectos principales como el de interacción fueron sobresalientes para la calidad nutracéutica, dependiendo de la variable respuesta analizada. Los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad física demostraron que no hay un efecto diferencial importante al comparar los chiles de plantas protegidas y no protegidas de la radiación UV, y secados por diferentes métodos, esto permite asegurar que la calidad comercial no se verá afectada por ninguno de los niveles de estos factores. En cuanto a la concentración de carbohidratos no digeribles y los carotenoides, el secado basado en el uso de energía solar es una mejor opción en comparación con el secado con gas, siendo

más sobresaliente el método de secado en túnel solar. Por otro lado, resulta importante mencionar que el deshidratado solar permite la mayor concentración de compuestos fenólicos en los frutos de chile de plantas descubiertas, mientras que, en los chiles de plantas cubiertas, el método de secado resultó tener un efecto diferencial. En general, la metodología de deshidratación de frutos de chile, basada en el uso de la energía solar es la mejor opción, si se busca la obtención de un producto con alta calidad nutracéutica.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Aal, S.M., Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheat. *Cereal Chemistry*, 76,350-354.
- Ajila, C. M.; Leelavathi, K.; Rao, P. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in softdough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Jopurnal of Cereal Science*, 48, 319-326.
- Arslan, D., Ozcan, M.M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 504-513.
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts

as a source of food additives. Food Research International, 44, 1866–1874.

Dembitsky, V. M., Poovarodom, S., Leontowicz, H. (2011). The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. Food Research International, 44, 1671–1701.

Desphande S.S., Cheryan M. 1985. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. Journal of Food Science, 50, 905-910.

Dóka, O., Ficzek, G., Luterotti, S., Bicanic, D., Spruijt, R, Buijnsters, J.G., Szalay, L., Végvári, G. (2013). Simple and rapid quantification of total carotenoids in lyophilized apricots (*Prunus armeniaca* L.) by means of reflectance colorimetry and photoacoustic spectroscopy. Food Technology and Biotechnology, 51, 453-459.

Doymaz, I., Pala, M. (2002). Hot-air drying characteristics of red pepper. Journal of Food Engineering, 55, 331–335.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2010). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review, Food Chemistry, 124, 411-421.

- Figiel, A., Szumny, A., Gutiérrez-Ortíz, A., & Carbonell-Barrachina, A.A. (2010). Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method. *Journal of Food Engineering*, 98, 240-247.
- Fudholi, A., Othman, M.Y., Ruslan, M.H., Sopian, K. (2013). Drying of malaysian *Capsicum annum* L. (red chili) dried by open and solar drying. *International Journal of Photoenergy*, 2013, 1-9.
- Garduño-García, A., López-Cruz I (2017). Construcción, evaluación modelación matemática de un secador solar tipo invernadero, (tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México.
- González-Aguilar, G., Robles-Sánchez, M.R., Martínez-Téllez, M.A., Olivas, O.I., Alvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L.A. (2008). Bioactive compounds in fruits: health benefits and effect of storage conditions. *Stewart Postharvest Review*, 4, 1–10.
- Hernández-Ortega, M., Ortiz-Moreno, A., Hernández-Navarro, M.D., Chamorro-Cevallos, G., Dorantes-Álvarez, L., Necochea-Mondragón, H. (2012). Antioxidant, antinociceptive, and anti-inflammatory effects of carotenoids extracted from dried pepper (*Capsicum*

annuum L.). Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2012, 1-10.

Huang, L. L., Zhang, M., Yan, W. Q., Mujumdar, A. S., & Sun, D. F. (2009). Effect of coating on post-drying of freeze-dried strawberry pieces. Journal of Food Engineering, 92, 107–111.

Lattimer, J. M.; Haub, M. D. (2010). Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. Nutrients, 2, 1266-1289.

Liu M, Qi Li X, Weber C, Yong LC, Brown J, Hai LR. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 2926-2930.

Papathanasopoulos, A.; Camilleri, M.D. (2010). Dietary Fiber Supplements: Effects in Obesity and Metabolic Syndrome and Relationship to Gastrointestinal Functions. Gastroenterology, 138, 65–72.

Pennington, J. A. T., Fisher, R. A. (2010). Food component profiles for fruit and vegetable subgroups. Journal of Food Composition and Analysis, 23, 411–418, 2010.

Pérez-Gálvez, A., Hornero-Méndez, D., Mínguez-Mosquera, M.I. (2005). Dependence of carotenoid content and

temperature-time regimes during the traditional slow drying of red pepper for paprika production at La Vera county. *European Food Research and Technology*. 221, 645–652.

Saura-Calixto. F, Goñi I, Bravo L and Mañas E. (1993). Resistant starch in foods: modified method for dietary fiber residues. *Journal of Food Science*, 58, 642-643.

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela RM. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152-178.

Szychowski, P.J., Lech, K., Sendra-Nadal, E., Hernández, F., Figiel, A., Wojdylo, A., Carbonell-Barrachina, A.A. (2018). Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, 255, 157-164.

Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J.-O., Dommès, J. (2009). Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chemistry*, 113, 226–1233.

Tatjana, K., Terezija, G., Milica, K., Plestenjak. A. (2002). Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*, 80, 231–235.

- Türkan I., Bor M., Özdemir F., Koca H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*. 168: 223-231.
- Tzampelikos, D. A., Vouros, A. P., Bardakas, A. V., Filios, A. E. Margaris, D. P. (2014). Case Studies on the effect of the air drying conditions on the convective drying of quinces. *Case Studies in Thermal Engineering*, 3, 79-85.
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, 647-653.
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sailinz, C., Fito, P., Andrés, A., (2008). Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. *Lamuyo*). *Journal of Food Engineering*, 85, 42–50.
- Wojdyło A., Figiel A., Legua P., Lech K., Carbonell-Barrachina A. A., Hernández F. (2016). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube

fruits as affected by cultivar and drying method. *Food Chemistry*, 207, 170–179.

REVISIÓN TÉCNICA Y EDICIÓN

Dra. Raquel Karina Cruz Bravo
INIFAP Zacatecas

M.C. Manuel de Jesús Valenzuela Gurrola
Universidad Politécnica de Zacatecas

DISEÑO DE PORTADA

Mayra Denise Herrera

COMISIÓN EDITORIAL DEL CEZAC

Presidente: Dra. Raquel K. Cruz Bravo
Secretario: MC. Ricardo A. Sánchez Gutiérrez
Vocal: Dr. Luis R. Reveles Torres
Vocal: Dr. Francisco Gpe. Echavarría Cháirez
Vocal: MC. Mayra Denise Herrera

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en NOVIEMBRE de 2019 en el Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. CP. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México.
Tel. 01 800 088 2222 ext 82328

Este documento se encuentra en formato digital, mediante página internet en descargas ilimitadas

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

DIRECTORIO

MC. Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez
Director de Coordinación y Vinculación

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
Dra.	Nadiezhdha Y. Ramírez Cabral	Agrometeorología y Modelaje
Ing.	Israel Casas Flores*	Agrometeorología y Modelaje
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Dr.	Francisco G. Echavarría Cháirez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
MC.	José Ángel Cid Ríos	Fríjol y Garbanzo
MC.	Juan José Figueroa González*	Fríjol y Garbanzo
MC.	Mayra Denise Herrera	Fríjol y Garbanzo
Dr.	Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
MC	Valentín Melero Meraz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
MC.	Miguel Servín Palestina*	Ingeniería de Riego
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Ing.	Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr.	Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Forestal y Agrícola
Dra.	Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía

* Becarios



www.gob.mx/inifap

