

Análisis nutraceutico del higo cv. Nezahualcóyotl deshidratado mediante osmo-convección

José Eduardo De la Sancha-Coria¹

Yolanda Leticia Fernández-Pavía^{1,§}

José Luis García-Cue¹

María Teresa Beryl Colinas-León²

Alfonso Muratalla-Lúa¹

¹ Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56264, Tel. 55 58045900. (delasancha.eduardo@colpos.mx; jlgcue@colpos.mx; muratalla@colpos.mx).

² Departamento de Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, México. CP. 56230. Tel. 595 9521542. (lozcol@gmail.com).

Autora de correspondencia: mapale1@colpos.mx.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades nutraceuticas del higo (*Ficus Carica* L.) cv. Nezahualcóyotl deshidratado mediante osmo-convección. Debido a la escasa información sobre esta variedad en México, se evaluó el impacto del método de deshidratación en los compuestos bioactivos del fruto. El estudio se realizó en Texcoco, Estado de México, en 2024, utilizando 120 plantas de higuera en producción orgánica. Se tomaron 36 frutos aleatoriamente y se sometieron a deshidratación osmótica con concentraciones de sacarosa del 0, 40, 50 y 60%, seguida de deshidratación convectiva a temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se estableció un diseño completamente aleatorizado, donde se analizaron los datos a través de Anova, pruebas de Duncan o pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis según la naturaleza de las variables. Los resultados mostraron que los higos deshidratados osmóticamente con concentraciones de sacarosa del 40-50% y temperaturas convectivas de 50-60 °C presentaron la mayor retención de fenoles totales, alcanzando valores de hasta 1 652.96 mg taninos g⁻¹ peso fresco. Además, la capacidad antioxidante aumentó en un 54% en comparación con el higo fresco, mientras que la vitamina C sufrió una degradación significativa a temperaturas superiores a 60 °C. Estos hallazgos aportan información sobre la variedad de higo Nezahualcóyotl y sugieren que la combinación de deshidratación osmótica y convectiva es una estrategia eficaz para conservar y potenciar las propiedades nutraceuticas que pueden tener impacto agroindustrial y comercial.

Palabras clave:

Ficus carica L., compuestos bioactivos, cv. Nezahualcóyotl, ósmosis.



Introducción

El higo (*Ficus carica* L.) es una fruta ampliamente cultivada en el Mediterráneo y Medio Oriente, con un alto valor nutricional debido a su composición fitoquímica rica en compuestos bioactivos que confieren al higo propiedades antioxidantes y beneficios potenciales para la salud, justificando su clasificación como un alimento nutraceutico (Hosseini *et al.*, 2024). Introducida en México en 1560, ha ganado popularidad en el mercado moderno gracias a su alto contenido de azúcares, minerales y antioxidantes (Fernandez-Valdespino, 2016).

Actualmente, la producción mundial de higos abarca 54 países, Turquía es el principal productor mientras que Morelos, México, lidera la producción nacional (SIAP, 2023). A pesar de su potencial nutraceutico, el higo es capaz de desarrollarse en ambientes semidesérticos, subtropicales y moderadamente templados, es una especie con potencial y representa una oportunidad económica atractiva en el mercado externo.

En el Colegio de Posgraduados se han colectado diversos frutos, producto del cuidado del cultivo de higo en huertos familiares, teniendo así diversidad de tipos de frutos de higo entre ellos el que llamamos 'Nezahualcōyotl', accesión muy productiva y cuyas características han sido relacionadas en varios trabajos.

Por mucho tiempo, esta especie no ha recibido el reconocimiento que merece en México, a pesar de ser común en huertos familiares. En particular, se ha introducido una variedad originaria del Estado de México, denominada Nezhualcōyotl, sobre la cual aún se dispone de poca información (Fernández-Pavía *et al.*, 2020). Sin embargo, la creciente demanda internacional ha impulsado su producción a nivel comercial, promoviendo la adopción de mejores prácticas de manejo para minimizar las pérdidas (INTAGRI, 2020).

Desde el punto de vista fitoquímico, el higo contiene una amplia variedad de compuestos bioactivos, destacando los ácidos fenólicos, que contribuyen a sus propiedades antioxidantes. Investigaciones recientes han revelado que las variedades de piel oscura contienen mayores concentraciones de compuestos fenólicos, reforzando su clasificación como alimento funcional (Hajam y Saleem, 2022).

Por otro lado, la deshidratación osmótica combinada con la deshidratación convectiva surge como una técnica prometedora para conservar el higo, mejorando la concentración de compuestos bioactivos (Vega-Gálvez *et al.*, 2007). Para analizar la variedad Nezhualcōyotl se plantearon dos fases, la primera evaluó los valores nutraceuticos del higo fresco almacenado a bajas temperaturas y la segunda analizó el higo deshidratado por osmo-convección, siendo esta última el enfoque principal de la investigación.

Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo analizar los valores nutraceuticos del higo (*Ficus carica* L.) cv. Nezhualcōyotl deshidratado por osmo-convección. La hipótesis planteada fue que la deshidratación osmo-convectiva aumenta la concentración de compuestos nutraceuticos. Asimismo, se contrastan los valores promedio de la primera y segunda etapa.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios generales del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en el municipio de Texcoco, Estado de México, ubicado geográficamente entre los paralelos 19° 30' 20" de longitud norte y 98° 52' 55" de longitud oeste, con una altitud de 2 250 m. El estudio se realizó con el cultivo de higo (*Ficus carica* L.) variedad Nezhualcōyotl, bajo un método de producción orgánica bajo túnel de 6 m de altura.

Se tuvo un total de 120 árboles en bolsas de plástico negras con capacidad de 50 kg con un sustrato de mezcla de tierra, grava y vermiculita. Se controlaron todos los factores ambientales de producción. La cosecha se realizó después de 11 semanas desde el primer brote. Después, se evaluaron las propiedades nutraceuticas del fruto, muestreando de forma aleatoria 60 higos con características similares de forma, tamaño, color y maduración.

Para la deshidratación osmótica del fruto se propusieron concentraciones de sacarosa al 0, 40, 50 y 60%, y posteriormente para la deshidratación convectiva temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Dichos valores fueron seleccionados para optimizar la retención de compuestos bioactivos en el higo deshidratado. Se incluyó un tratamiento sin sacarosa como referencia, mientras que los niveles de 40-50% se eligieron por su capacidad para preservar fenoles totales y evitar la degradación excesiva de la vitamina C.

Se obtuvieron un total de 12 tratamientos con tres repeticiones, dando un total de 36 frutos (Tabla 1). Las variables analizadas fueron: capacidad antioxidante mediante el método ABTS propuesto por Re *et al.* (1999), fenoles totales por el método de Folín Ciocalteu propuesto por Waterman y Mole (1994), azúcares totales por el método de Antrona propuesto por Whitam *et al.* (1972), azúcares reductores por el procedimiento de Nelson Somogy (1952), la acidez titulable se midió con el método AOAC 942.15 (AOAC, 1996), finalmente el contenido de vitamina C se determinó con el método de Folín, propuesto por Jagota y Dani (1982).

Tabla 1. Conformación de tratamientos.

Tratamiento	Convectivo	Ósmosis	Núm. de frutos
	Temperatura (°C)	Sacarosa (%)	
1	50	0	3
2	60	0	3
3	70	0	3
4	50	40	3
5	60	40	3
6	70	40	3
7	50	50	3
8	60	50	3
9	70	50	3
10	50	60	3
11	60	60	3
12	70	60	3
Total			36

En la deshidratación de frutos se utilizaron 36 higos almacenados en refrigeración a 4 °C. El deshidratado se realizó en el laboratorio de lácteos del Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados, ubicado en el municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. Por tratamiento, se utilizaron tres frutos con características fisiológicas similares, los cuales se lavaron con agua destilada y se les retiró el pedúnculo. Posteriormente, fueron pesados y partidos por la mitad longitudinalmente sin llegar a separar ambas partes.

Se agregaron en vasos de precipitado con capacidad de 2 000 ml con la solución osmótica correspondiente a su tratamiento, y se colocó sobre una plancha de agitación que se mantuvo en movimiento a 600 rpm durante 12 h. Pasado el tiempo y antes de proceder a la deshidratación convectiva, los higos se retiraron de la plancha de agitación para ser secados y evaluar su pérdida de peso.

Para la deshidratación convectiva se utilizó un deshidratador de aire caliente de la marca Clint. En la cual, los higos deshidratados osmóticamente (tratamientos T4-T12) se colocaron en las charolas previamente desinfectadas para posteriormente configurar la temperatura deseada 15 min antes de colocar las charolas dentro del deshidratador para permitir que llegara a la temperatura ideal.

A lo largo del deshidratado convectivo se tomaron medidas de la pérdida de peso del fruto cada 15 min durante las primeras dos horas, cada 30 min a partir de la tercera a la sexta hora y en caso de ser necesario, cada hora a partir de la séptima hora, esto con el fin de conocer la pérdida de humedad del fruto. Una vez estabilizado, el higo se retiró del deshidratador, se pesó y se envasó

al vacío (Torrey CEEVM20003) para su almacenamiento a 4 °C hasta su análisis, aplicando los mismos estudios físicos y nutraceuticos que al higo fresco.

Más adelante, se realizaron análisis estadísticos para las variables nutraceuticas mediante estadísticos descriptivos y pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk ($\alpha= 0.05$). Las que cumplieron con normalidad se analizaron por análisis de varianza (Anova) con ($\alpha= 0.05$). Se probó el modelo por normalidad en los residuos y homogeneidad de las varianzas e independencia.

Para las que cumplieron con el modelo, se hicieron pruebas post hoc a través de la prueba de rangos múltiples de Duncan ($\alpha= 0.05$). Para aquellas que no cumplieron con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($\alpha= 0.05$) o con el modelo fueron sometidas a pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis. Para los cálculos se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) Versión 9 y el software R versión 4.4.3 (R Core Team, 2024).

Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados del análisis de la varianza y prueba de Duncan de las variables fenoles totales y azúcares reductores (Tabla 2). La variable fenoles totales mostró diferencias altamente significativas ($p= 0.0023$). Se reporta su valor más alto en el T8 mientras que el valor más bajo se encuentra reportado en T11. Los T8 y T12 tiene similar comportamiento estadístico. Se utilizaron temperaturas de 40 °C a 70 °C y se encontró la mayor degradación de fenoles en la temperatura media; entre 50 a 60 °C.

Tabla 2. Análisis de variables nutraceuticas fenoles totales y azúcares reductores.

Tratamiento	Fenoles totales ($\text{mg}_{\text{tan}} \text{g}_{\text{pf}}^{-1}$)		Azúcares reductores ($\text{mg}_{\text{glu}} \text{g}_{\text{pf}}^{-1}$)	
T1	705.07 ±110.24	cd	233.14 ±31.77	a
T2	736.32 ±203.97	cd	322.22 ±17.63	ab
T3	894.46 ±81.92	bcd	383.70 ±31.17	a
T4	1 142.5 ±34.65	bc	342.59 ±17.79	ab
T5	1 040.23 ±57.59	bcd	402.03 ±33.43	a
T6	928.14 ±83.86	bcd	387.77 ±26.85	ab
T7	908.81 ±165.61	bcd	305.92 ±23.75	ab
T8	1 652.96 ±138.54	a	371.66 ±69.19	a
T9	876.79 ±138.54	bcd	393.51 ±72.7	a
T10	814.93 ±141.88	bcd	350 ±40.36	a
T11	661.72 ±129.03	d	310.37 ±50.01	ab
T12	1 286.03 ± 181.52	ab	239.07 ± 14.35	a
Pr > F	0.00238		0.0736	
R ²	0.644		0.467	
Significancia	**		*10	

Media ± error estándar. Columnas con igual letra son estadísticamente iguales entre si de acuerdo con la prueba de Duncan. $\text{g}_{\text{pf}}^{-1}$ = gramos de peso fresco del fruto; mg_{tan} = miligramos de ácido tánico; mg_{glu} = miligramos de glucosa; ** = altamente significativo ($p < 0.01$); *10 = significativo al 10%.

Los tratamientos de deshidratación convectiva con altas temperaturas (70 °C) se comportan de forma similar, encontrando mayor variación en frutos deshidratados a 60 °C. Los testigos T1 y T2 reportan similitud en sus datos, mientras que en el testigo T3 se encontraron mayores valores de fenoles totales (Tabla 2).

Datos similares en otra variedad (Bela Petrovka) de higo realizada por Slatnar *et al.* (2011) encontraron que la aplicación de deshidratación osmótica en horno utilizada como pre-tratamiento para la deshidratación convectiva puede mejorar la retención de los compuestos bioactivos como

los fenoles totales, entre ellos la epicatequina, catequina, ácido clorogénico, kaempferol-3-O-glucósido, luteolina-8-C-glucósido y rutina.

En la presente investigación se pudo observar que temperaturas de ≤ 50 °C y concentraciones de sacarosa ($\leq 40\%$) ayudan a preservar la cantidad de fenoles dentro del fruto, mientras que temperaturas superiores a 80 °C degradan dichos compuestos. En los azúcares reductores no se distinguieron diferencias significativas al 5% ($p= 0.073$), pero si al 10% (Tabla 2). Se reporta su valor más alto en T5 mientras que el valor más bajo se encuentra reportado en T1. Se observó que los tratamientos tuvieron un comportamiento similar.

Los resultados de esta investigación reportaron que las temperaturas muy bajas como T1 o muy altas como T12 presentan los resultados más bajos, siendo así, que el uso de temperaturas y concentraciones de sacarosa moderadas resultan en valores altos como T5, T6 e incluso T9. Yadav y Dubey (2019) realizaron deshidratación osmó-convectiva en diferentes frutos y vegetales. Ellos mencionan que este tipo de deshidratación a 50-60 °C y con 50% de sacarosa aumenta la concentración de sólidos solubles, como fructosa y glucosa. Temperaturas y concentraciones de sacarosa superiores pueden inducir reacciones de caramelización como la de Maillard, afectando la calidad final del producto.

En el análisis de Kruskal-Wallis de la capacidad antioxidante de los higos sometidos a deshidratación osmo-convectiva no mostraron diferencias significativas al 5% ($p= 0.071$), sin embargo, si hay diferencias al 10%. La variable mostró su valor más alto en T1 y su valor más bajo en T5, representando una diferencia del 27%. Todos los tratamientos se comportan de manera similar entre sí (Tabla 3). Los datos analizados dentro del experimento presentan sus valores más altos en T1, por lo que se estima que el uso de bajas temperaturas ayuda a conservar mejor los compuestos antioxidantes del fruto.

Tabla 3. Datos estadísticos de variables no paramétricas de análisis nutraceuticos de higos deshidratado.

Trat	Capacidad antioxidante (mg _{atx} g _{pf} ⁻¹)	Azúcares totales (mg _{glu} g _{pf} ⁻¹)	Acidez titulable (%)	Vitamina C (mg _{asc} g _{pf} ⁻¹)
T1	1 631.08 ±31.23	3 072.1 ±391.75	4.46 ±0.35	175.3 ±41.11
T2	1 520.04 ±91.73	3 879.64 ±337.18	6.28 ±0.31	61.23 ±37.45
T3	1 436.15 ±123.11	4 597.46 ±185.11	6.92 ±1.65	23.04 ±3.78
T4	1 209.24 ±118.1	6 507.13 ±244.44	3.95 ±0.56	30.15 ±2.19
T5	1 182.45 ±323.62	6 943.92 ±123.89	8.94 ±0.52	31.61 ±2.22
T6	1 533.79 ±112.92	6 112.67 ±144.75	2.82 ±0.19	137.36 ±92.41
T7	1 193.1 ±21.92	5 013.93 ±636.69	4.35 ±0.39	103.95 ±60.37
T8	1 277.68 ±63.77	5 360.1 ±134.66	4.62 ±0.53	41.19 ±0.8
T9	1 311.2 ± 29.15	5 548.17 ± 430.85	4.4 ± 0.48	60.97 ±15.3
T10	1 433.08 ±101.02	2 865.55 ±431.05	6.17 ±0.14	37.11 ±4.48
T11	1 622.94 ±79.68	4 225.01 ±123.72	4.27 ±0.27	37.77 ±4.4
T12	1 189.63 ± 1.4	4 617.78 ±495.08	5.86 ±0.14	50.29 ±5.78
X ²	18.45	27.37	25.48	23.64
Pr>X ²	0.0716	0.004	0.0077	0.0143
Sign	^{*10}	---	---	.

Media ± error estándar. Trat = tratamiento; g_{pf}⁻¹= gramos de peso fresco del fruto; mg_{atx}= miligramos de antioxidante; mg_{glu}= miligramos de glucosa; mg_{asc}= miligramos de ácido ascórbico; Sign= significancia; ***= altamente significativo ($p < 0.01$); * = significativo ($p \neq 0.05$); ^{*10}= significativo al 10%.

Un ejemplo perfecto de lo mencionado por Andreou *et al.* (2021) se detectó en T6 y T11, los cuales tienen los siguientes valores más altos registrados en la variable. También, se identificaron concentraciones bajas de sacarosa (40%) y altas temperaturas (70 °C) en el T6, mientras que T11 presenta valores intermedios de temperatura (60 °C) y altos valores de sacarosa (70%). En estos

valores se observa el efecto de como la solución osmótica añadida ayudó a estabilizar la pérdida de agentes antioxidantes en el fruto.

Según el estudio de Landim *et al.* (2016) explicaron que temperaturas altas ($\approx 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) en contacto con la sacarosa añadida dentro del fruto puede afectar negativamente la capacidad antioxidante de los frutos deshidratados. El presente trabajo indica que a temperaturas de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ la capacidad antioxidante disminuye en algunos tratamientos de manera no uniforme; por ejemplo, en T1 ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin sacarosa) se obtuvo la mayor capacidad antioxidante ($1\ 631.08\ \text{mgatx}\ \text{gpf}^{-1}$), mientras que en T5 ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50% sacarosa) se obtuvo la más baja ($1\ 182.45\ \text{mgatx}\ \text{gpf}^{-1}$).

Esto confirma que el calor tiene un impacto negativo en la capacidad antioxidante, aunque no se superó la barrera de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ mencionada por Landim *et al.* Andreou *et al.* (2021) señalaron que la temperatura puede degradar antioxidantes, pero la sacarosa ayuda a estabilizarlos sin un efecto lineal. En este estudio, los tratamientos con 40-50% de sacarosa (T6 y T11) mostraron valores intermedios de capacidad antioxidante, sugiriendo un efecto protector, aunque no proporcional.

En los azúcares totales se identificaron diferencias altamente significativas ($p= 0.004$). Los valores más altos obtenidos pertenecen a T5, mientras que el más bajo se presenta en T10, teniendo una diferencia del 58% entre ellos. T4, T5 y T6 presentan rangos similares entre sí, con un 40% de sacarosa y T7, T8 y T9 tienen similares respuestas con un 50% de concentración de azúcar. Tratamientos con concentraciones de sacarosa de 60%, así como los testigos presentan rangos diferentes entre sí (Tabla 3).

En este experimento se observan comportamientos de cantidad de azúcares totales similares en higos que comparten concentraciones de sacarosa moderadas (40 y 50%), mientras que concentraciones superiores y testigos reportan comportamientos diferentes entre sí. Sin embargo, la cantidad de azúcares totales es directamente proporcional a la concentración de sacarosa dentro de la solución osmótica a la que fueron sometidos. Algunos autores coinciden en que la deshidratación osmo-convectiva afecta significativamente el contenido de azúcar del producto final.

Estudios realizados por de Mello Jr. *et al.* (2019) en higos verdes deshidratados indicaron que la deshidratación osmótica, como pretratamiento a la convectiva, incrementa la concentración de sólidos al reducir el agua, aunque el tiempo y temperatura del secado convectivo pueden afectar la pérdida de líquidos. Independientemente de la sacarosa añadida, temperaturas bajas ($45\text{-}55\text{ }^{\circ}\text{C}$) favorecen la ganancia de azúcares. Pandidurai y Vennila (2020) señalaron que temperaturas altas aceleran el secado y aumentan los sólidos solubles, mejorando la calidad del producto. Andreou *et al.* (2021) destacaron que optimizar la sacarosa según el peso del higo mejora sus características sensoriales.

La acidez titulable (Tabla 3) de los higos sometidos a deshidratación osmo-convectiva con diferentes tratamientos de sacarosa y temperatura mostraron diferencias altamente significativas ($p= 0.0007$). Los resultados indican que el valor más alto fue en el T5 y el más bajo en el T6 con una diferencia del 68%. Los T2 y T10 tienen comportamientos parecidos, así como los testigos T2 y T3 que no tuvieron azúcar añadida en su proceso de deshidratación. Por otro lado, T9 y T11 a pesar de tener concentraciones de sacarosa y diferentes temperaturas presentan comportamientos similares.

Los resultados obtenidos en este experimento coinciden con la literatura consultada, pues los datos muestran que T4 y T6 que presentan bajas concentraciones de sacarosa (40%) a diferentes temperaturas son los valores más bajos reportados. Aquellos frutos sometidos a concentraciones de sacarosa más alta conservan mejor los ácidos del fruto, lo que podría indicar que niveles de sacarosa superiores a 40%, sin sobrepasar la capacidad de saturación de la solución osmótica, pueden ayudar a conservar los ácidos benéficos del fruto. Moustafa *et al.* (2016) encontraron que la acidez titulable en higos y ciruelas puede reducirse debido al intercambio de agua y solutos durante la deshidratación osmótica.

Sin embargo, la sacarosa añadida puede ayudar a conservar los ácidos si las temperaturas no son demasiado altas. Además, temperaturas elevadas y tiempos prolongados de secado favorecen la degradación de los ácidos orgánicos. En el Tabla 3 se muestran datos sobre la vitamina C, los

cuales presentaron diferencias significativas ($p= 0.014$). El valor más alto reportado se encuentra en el T1, mientras que el valor más bajo se reporta en T3. El T1 presenta comportamientos de rangos similares a T6 y T7, pero diferentes al resto. T1, que presenta al testigo deshidratado a 50 °C comparte el rango de temperatura con T7, mientras que T6 reporta bajas concentraciones de sacarosa (40%) a altas temperaturas (70 °C).

Lo anterior permitió distinguir que la vitamina C es un compuesto sensible al calor, lo que indica que altas temperaturas durante la deshidratación convectiva pueden reducir su contenido. Sin embargo, López *et al.* (2010) encontraron que pretratamientos con soluciones osmóticas al 40-50% coadyuvan a preservar la vitamina C. En este estudio, T1, sin sacarosa y con baja temperatura, conservó mejor el ácido ascórbico, mientras que en T6 y T7, concentraciones moderadas de sacarosa también contribuyeron a su estabilidad durante la deshidratación convectiva.

A continuación, se presenta una comparación nutracéutica entre promedios nutracéuticos del higo fresco almacenado a 4 °C y del higo deshidratado por osmo-convección con distintos tratamientos de temperatura y sacarosa con el fin de evaluar los compuestos bioactivos esenciales y comparar el balance entre la necesidad de conservar el higo y maximizar sus beneficios nutricionales (Tabla 4).

Tabla 4. Promedios de los valores nutracéuticos del higo fresco y deshidratado.

Trat	Capacidad antioxidante" >(mg _{atx} g _{pf} ⁻¹)	Fenoles totales (mg _{tan} g _{pf} ⁻¹)	Azúcares totales ">(mg _{glu} g _{pf} ⁻¹)	Azúcares reductores ">(mg _{glu} g _{pf} ⁻¹)	Acidez titulable (%)	Vitamina C (mg _{asc} g _{pf} ⁻¹)
AF	792.08	690.24	165.56	33.65	2.2	89.82
T1	1 631.08	705.07	3 072.1	233.14	4.46	175.3
T2	1 520.04	736.32	3 879.64	322.22	6.28	61.23
T3	1 436.15	894.46	4 597.46	383.7	6.92	23.04
T4	1 209.24	1 142.5	657.13	342.59	3.95	30.15
T5	1 182.45	1 040.23	6 943.92	402.03	8.94	31.61
T6	1 533.79	928.14	6 112.67	387.77	2.82	137.36
T7	1 193.1	908.81	5 013.93	305.92	4.35	103.95
T8	1 277.68	1 652.96	5 360.1	371.66	4.62	41.19
T9	1 311.2	876.79	5 548.17	393.51	4.4	60.97
T10	1 433.08	814.93	2 865.55	350	6.17	37.11
T11	1 622.94	661.72	4 225	310.37	4.27	37.71
T12	1 189.63	1 286.03	4 617.78	239.07	5.86	50.29

Valores representados en medias. Trat = tratamiento; AF= almacenamiento en frío; g_{pf}⁻¹= gramos de peso fresco del fruto; mg_{atx}= miligramos de antioxidante; mg_{tan}= miligramos de ácido tánico; mg_{glu}= miligramos de glucosa; mg_{asc}= miligramos de ácido ascórbico.

La capacidad antioxidante de los higos deshidratados presentó valores más altos en comparación con los higos almacenados en frío. T11 mostró un valor más alto con un 54% respecto al higo fresco. La deshidratación osmótica a temperaturas adecuadas favorece la retención de antioxidantes (Fernandes *et al.*, 2008).

A su vez, los fenoles totales fueron mayores en los higos deshidratados, especialmente en T8 que mostró un 58.24% más en comparación con el higo almacenado en frío. La combinación de deshidratación osmótica y convectiva protegió mejor los compuestos fenólicos que en el higo fresco almacenado en frío (Vega-Gálvez *et al.*, 2007). Respecto a los azúcares, los higos deshidratados presentaron mayores concentraciones de azúcares tanto en totales como en reductores.

En T5 los frutos mostraron mayor contenido de azúcares con una diferencia del 97.6% respecto al higo fresco. Esto resulta de la adición de sacarosa en el proceso osmótico favorece la concentración de azúcares. La acidez titulable aumentó en los higos deshidratados, especialmente en aquellos

tratamientos donde se utilizan las temperaturas más altas, pues la concentración de ácidos orgánicos aumentan al reducir el contenido de agua (Mandala *et al.*, 2005).

Finalmente, la vitamina C del higo fresco almacenado a bajas temperaturas se conservó mejor que en los higos deshidratados debido a que el ácido ascórbico tiende a degradarse a altas temperaturas (Lee y Kader, 2000). Sin embargo, algunos tratamientos osmóticos mostraron una mejor retención del compuesto.

Conclusiones

La investigación cumplió con su objetivo. Se evidenció que este proceso permite conservar y mejorar la concentración de compuestos bioactivos como fenoles totales y azúcares, con una reducción significativa de la vitamina C debido a su susceptibilidad térmica. Estos hallazgos demuestran que la combinación de deshidratación osmótica y convectiva, con temperaturas adecuadas, optimiza la estabilidad nutraceútica del fruto, ofreciendo alternativas para su conservación y potencial uso en alimentos funcionales.

La caracterización detallada de esta variedad, aún poco estudiada, contribuye al conocimiento sobre su calidad nutraceútica y abre nuevas oportunidades para su valorización agroindustrial y comercial. Se proponen futuros estudios en la evaluación sensorial y estabilidad del producto deshidratado en almacenamiento prolongado.

Bibliografía

- 1 Andreou, V.; Thanou, I.; Giannoglou, M.; Giannakourou, M. C. and Katsaros, G. 2021. Dried Figs Quality Improvement and process energy savings by combinatory application of osmotic pretreatment and conventional air drying. *Foods*. 10(8):2-8. <https://doi.org/10.3390/foods10081846>.
- 2 Bezerra Pessoa, T. R.; Lima, A. G. B.; Martins, P. C.; Pereira, V. C.; Alves, T. C. O.; Silva, E. S. and Lima, E. S. 2021. Osmo-convective dehydration of fresh foods: theory and applications to cassava cubes. *In*: Delgado, J. M. P. Q. and Barbosa, de L. A. G. Ed. *Transport Processes and Separation Technologies*. 151-183 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47856-8-6>.
- 3 de Mello Jr, R. E.; Corrêa, J. L. G.; Lopes, F. J.; de Souza, A. U. and da Silva, K. C. R. 2019. Kinetics of the pulsed vacuum osmotic dehydration of green fig (*Ficus carica* L.). *Heat and Mass Transfer*. 55(6):1685-1691. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-02559-w>.
- 4 Fernandes, F. A. N.; Linhares, F. E. and Rodrigues, S. R. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*. 15(6):1049-1054. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.03.009>.
- 5 Fernandez, J. I. 2016. Caracterización química y morfológica de ocho ecotipos de higo (*Ficus carica* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 1-10 pp. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65163>.
- 6 Fernández-Pavía, Y. L.; García-Cue, J. L.; Fernández-Pavía, S. P. y Muratalla-Lua, A. 2020. Deficiencias nutrimentales inducidas en higuera cv. Neza en condiciones hidropónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(3):581-592. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2073>.
- 7 Hosseini, E.; Tsegay, Z. T.; Smaoui, S. and Varzakas, T. 2024. Chemical structure, composition, bioactive compounds, and pattern recognition techniques in figs (*Ficus carica* L.) quality and authenticity: an updated review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 137, 106863. 10.1016/j.jfca.2024.106863.
- 8 Hajam, T. A. and Saleem, H. 2022. Phytochemistry, biological activities, industrial and traditional uses of fig (*Ficus carica*): a review. *Chemico-Biological Interactions*. v. 368, 110237, 2-4 pp. 10.1016/j.cbi.2022.110237.

- 9 INTAGRI. 2020. Producción de higo en México. Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/produccion-de-higo-en-mexico>.
- 10 Landim, A. P. M.; Barbosa, M. I. M. J. and Júnior, J. L. B. 2016. Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. *Ciência Rural*. 46(10):1714-1722. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150534>.
- 11 Lansky, E. P. and Paavilainen, H. M. 2010. Figs: the genus ficus. *In: figs: the genus Ficus*. 366 p. <https://doi.org/10.1201/9781420089677>.
- 12 Lee, S. K. and Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*. 20(3):207-220. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521400001332>.
- 13 López, E. J.; Uribe, U. E.; Vega-Gálvez, A.; Miranda, H. M.; Vergara, J. J.; Gonzalez, M. E. and Di Scala, K. C. 2010. Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin c, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety o'neil. *Food and Bioprocess Technology*. 3(5):772-777. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0306-8>.
- 14 Mandala, I. G.; Anagnostaras, E. F. and Oikonomou, C. K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 69(3):307-316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.021>.
- 15 Moustafa, S. E.; Abed-Hakim, H. I. and Maatouk, H. I. 2016. Osmotic dehydration of fig and plum. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 94(4):905-921. <https://doi.org/10.21608/ejar.2016.153140>.
- 16 Pandidurai, G. and Vennila, P. 2020. Processing, value addition and effect of nutritional quality of fig fruit by osmotic dehydration. *International Journal of Chemical Studies*. 8(4):3644-3647. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4at.10213>.
- 17 SIAP. 2023. Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Higo. 1 p. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/874025/Higo-monografi-a-2023.pdf>.
- 18 Slatnar, A.; Klancar, U.; Stampar, F. and Veberic, R. 2011. Effect of drying of figs (*Ficus Carica* L.) on the contents of sugars, organic acids, and phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59(21):11696-11702. <https://doi.org/10.1021/jf202707y>.
- 19 Vega-Gálvez, A.; Palacios, M. P.; Boglio, H. F.; Pássaro, C. C.; Jeréz, M. C. y Lemus-Mondaca, R. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la 15 de transferencia de materia. *Food Science and Technology*. 27(3):470-477. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300008>.
- 20 Yadav, R. K. and Dubey, R. S. 2019. Sulfur-induced oxidative stress in crop plants: Responses and tolerance mechanisms. *Plant Signaling & Behavior*, 14(5):1568974. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15476286.2019.1568974>.



Análisis nutraceútico del higo cv. Nezahualcóyotl deshidratado mediante osmo-convección

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2025
Date accepted: 01 August 2025
Publication date: 15 September 2025
Publication date: Aug-Sep 2025
Volume: 16
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e3794
DOI: 10.29312/remexca.v16i6.3794

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Ficus carica L.
compuestos bioactivos
cv. Nezahualcóyotl
ósmosis.

Counts

Figures: 0
Tables: 4
Equations: 0
References: 20
Pages: 0