

SECADO CON TECNOLOGÍA SOLAR: UNA OPCIÓN PARA CONSERVACIÓN DE LA CARNE

1Beatriz Castillo-Téllez, 1Carlos J. Vega-Gómez, 1Gerardo A. Mejía Pérez, 2 Rachid Marzoug y 3Margarita Castillo Téllez

1Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara

2Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara

3Faculta de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche

Autor de correspondencia: mcastill@uacam.mx



RESUMEN

La Región Norte de Jalisco es una zona ganadera que ocupa segundo lugar a nivel nacional en esta actividad económica. Por otro lado, la comunidad en esta región aprovecha la abundancia de la carne de res en gran medida seca. Este alimento es considerado muy bajo en grasa y de alto contenido proteínico, así como con importantes minerales. Desafortunadamente, la técnica utilizada es el secado a cielo abierto, exponiendo a la contaminación por insectos y requiriendo largos tiempos para el secado. El secado solar tecnificado, permite eliminar estos problemas.

En el presente artículo se compararon los resultados cuando se utiliza un secador solar con y sin aumento en el flujo de aire (un ventilador) contra el secado tradicional.

Los resultados muestran que el secado solar tecnificado mejora la eficiencia de secado, así como la textura y color del alimento. El contenido de humedad se estabilizó más rápido en el secado solar con convección natural, con un tiempo de 510 min, la velocidad de secado máxima para esta tecnología fue de 0.0109 kg de agua por cada kg de sólido seco por minuto.

También se compararon los resultados con modelos matemáticos preexistentes en literatura, observando que se asemeja más al secado de carne es el Weibull.

El secado solar es una tecnología factible para conservar la carne, que ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero permitiendo conservar importantes nutrientes en los alimentos.

INTRODUCCIÓN

La carne seca es un alimento considerado un alimento rico en proteínas y bajo en grasa (Secretaría de Salud, 2010). En la zona norte del Estado de Jalisco la carne seca es un alimento básico en sus platillos, ya que es una región ganadera orgánica por excelencia. Sin embargo, al ser un alimento que contiene mucha agua, esta estimula rápidamente el crecimiento y proliferación de microorganismos que acelera la descomposición del mismo. Por eso, su tiempo de vida en anaquel es de apenas unas horas. Por otro lado, el hambre y la malnutrición son el principal riesgo de salud a nivel mundial, alrededor de 135 millones de personas padecen hambre severa y debido a la pandemia de COVID-19 podría duplicar esta cifra a finales de 2020 (UN & FAO, 2020). Ahora bien, la deshidratación es un método eficiente que eliminaría el agua por evaporación de la mayor parte del producto.

La conservación de alimentos puede eliminar desperdicios en todo el mundo para hacer llegar estos alimentos y disminuir los problemas de nutrición.

La reducción del contenido de humedad inhibe y disminuye la actividad microbiana y enzimática, siendo ventajoso para la conservación a largo plazo (López-Vidaña et al., 2020). El secado de alimentos es uno de los tratamientos más utilizados para deshidratar los alimentos (Hossain et al., 2010). Aunque el secado solar a cielo abierto se considera un método no contaminante, tiene limitaciones inherentes como la alta dependencia de las condiciones climáticas, la pérdida de color de la carne causada por la exposición excesiva a los rayos ultravioleta (UV) y la reabsorción de humedad durante la noche, junto con la contaminación del producto por el polvo e insectos. Estas limitaciones pueden afectar significativamente la calidad de los productos y su valor de mercado (Koyuncu, 2006). Por lo tanto, se ha prestado mayor atención a los secadores solares, que pueden ofrecer procesos de secado más rápidos con un secado más uniforme, higiénico y efectivo que los métodos convencionales, logrando obtener productos secos con mejor color y textura (Castillo-Téllez et al., 2015). Una amplia variedad de tecnologías de secado solar han sido reportadas por muchos investigadores en el campo, que incluyen secadores solares directos, indirectos e híbridos (Fudholi et al., 2014).



Por otro lado, los modelos de secado en capa delgada describen los fenómenos de secado, independientemente de los mecanismos de control. Los modelos de secado han sido reportados en literatura y predicen el comportamiento del proceso de secado; Sin embargo, es importante seleccionar el modelo que más se ajuste a los resultados experimentales, que depende del alimento y las condiciones de secado como temperatura o velocidad del aire de secado. Los modelos de secado se han utilizado para estimar los tiempos de secado y para generalizar las curvas de secado de diferentes productos agrícolas (Castro et al., 2018).

Para evaluar y determinar cual es el modelo que más describe el secado, se utilizan estadísticos que miden el error o diferencia entre la curva de secado experimental, con aquella que se predice con cada modelo. Los estadísticos utilizados en este estudio son: Coeficiente de determinación (R^2), Chi cuadrada (χ^2) y Error cuadrático medio (RMSE).

Los modelos aplicados en este estudio se muestran en la Tabla 1.

Nombre	Referencia
Newton	(Liu & Bakker-Arkema, 1997)
Page	(Page, 1949)
Page Modificado	(White et al., 1981)
Henderson y Pabis	(Henderson & Pabis, 1961)
Logarítmico	(Toğrul, 2005)
Wang y Singh	(Wang & Singh, 1978)
Weibull	(Tzempelikos et al., 2015)

TABLA 1 MODELOS DE CAPA DELGADA APLICADOS A LAS CINÉTICAS DE SECADO

En el presente trabajo se realizó un análisis experimental del secado solar al aire libre, así como utilizando un secador solar directo con y sin convección forzada, para comparar tanto los tiempos como la calidad de los productos secos.

Experimentos realizados

El experimento fue realizado en el Centro Universitario del Norte de la UDG en Colotlán, Jalisco, con clima semicálido y temperaturas anuales promedio de 19°C, con una radiación solar global promedio anual de 5.9 kWh/m² día. Para todos los casos se utilizó carne de res (ganado bobino) de 111 gr. La carne fue adquirida en un comercio local del municipio y cortada con un grosor de aproximadamente 0.4 mm, la carne es marinada previamente en jugo de limón y sal, para ayudar a la preservación del alimento mientras se seca. Se seleccionaron dos técnicas de secado solar: secado solar directo en secador tipo gabinete con y sin convección forzada y secado a cielo abierto. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Secador solar tipo gabinete. El secador tipo gabinete utilizado, que se muestra en la Figura 1, construido de material plástico transparente y una superficie de tratamiento de 0.5 m². El secador puede operarse con circulación de aire natural o convección forzada utilizando un ventilador colocado en la parte posterior con una velocidad de aire máxima de 2 m/s. Dentro del secador, la carne tiene que ser girada para homogeneizar el secado, en periodos intermitentes.

Secado a cielo abierto. El secado al cielo abierto se llevó a cabo para comparar el proceso de secado de las tecnologías solares directas con y sin convección forzada (Figura 2). En este proceso, la carne se coloca sobre alambre limpiado previamente, "colgada" sin superponerlas y se dejan hasta la puesta del sol.

quipos utilizados para mediciones. El peso de las muestras se midió utilizando una balanza marca Ohaus, modelo CS200, con precisión de ± 0.01 g. La temperatura y humedad del área en la cual se llevó a cabo la experimentación fue un termómetro digital con sensor de humedad TER-150 marca Gm1360, rango de temperatura interna: -10 a 50 °C rango de temperatura exterior: -50 a 90 °C humedad: 10 a 99% no condensada. Durante el periodo de pruebas, los parámetros climatológicos, incluyendo temperatura, humedad, velocidad del aire e irradiancia global fueron obtenidas mediante una estación meteorológica de la ciudad a una altitud de 1736 m, Latitud N 22°6'25" y Longitud O 103°16'4", se obtuvieron de <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>.

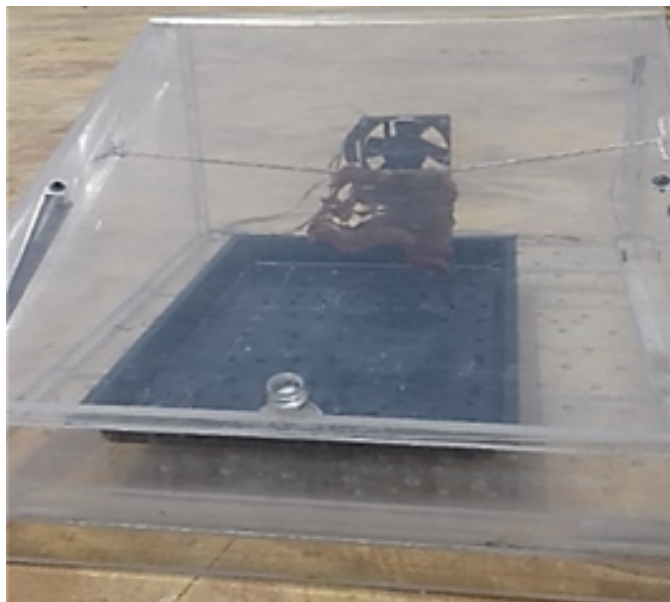


FIGURA 1 SECADOR SOLAR TIPO GABINETE



FIGURA 2. SECADO A CIELO ABIERTO

Equipos utilizados para mediciones. El peso de las muestras se midió utilizando una balanza marca Ohaus, modelo CS200, con precisión de ± 0.01 g. La temperatura y humedad del área en la cual se llevó a cabo la experimentación fue un termómetro digital con sensor de humedad TER-150 marca Gm1360, rango de temperatura interna: -10 a 50 °C rango de temperatura exterior: -50 a 90 °C humedad: 10 a 99% no condensada. Durante el periodo de pruebas, los parámetros climatológicos, incluyendo temperatura, humedad, velocidad del aire e irradiancia global fueron obtenidas mediante una estación meteorológica de la ciudad a una altitud de 1736 m, Latitud N $22^{\circ}6'25''$ y Longitud O $103^{\circ}16'4''$, se obtuvieron de <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>.

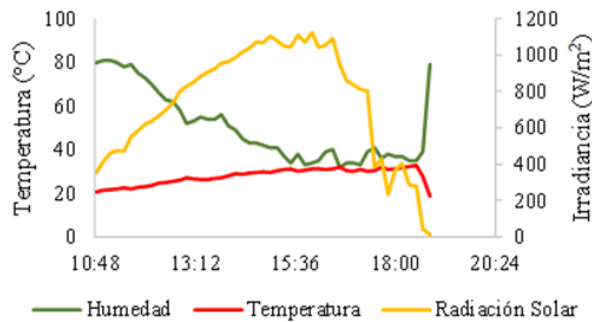


Figura 1 Condiciones climatológicas promedio durante las pruebas

Resultados de la experimentación

Condiciones ambientales

La Figura 3, se muestra los parámetros climáticos durante el periodo de prueba. Como puede verse, se alcanzó una irradiancia solar máxima global de 1093 W/m^2 , con valores máximos promedio que oscilan entre 985 y 1030 W/m^2 . La temperatura ambiente mínima promedio fue de 24 °C, mientras que la temperatura ambiente máxima promedio fue de 29 °C. Por otro lado, la HR mínima osciló entre el 52 y el 55% , mientras que la HR máxima osciló entre el 32% y el 35% .

La gráfica que se muestra en la Figura 4 presenta un comparativo de las pérdidas de peso. Puede observarse la curva más corta y estable el peso desde el minuto 350 aproximadamente, pero no logra alcanzar a bajar de peso tanto como el secado con convección natural, dado que la velocidad del aire hace que el aire caliente dentro del secador disminuya su temperatura.

Secado solar

Las variaciones de temperatura dentro de las cámaras de secado también se midieron. Con el secado por convección natural, la temperatura interna generalmente alcanzó temperaturas entre 25 y un valor máximo de 58.3° C. En el caso del secado por convección forzada, la temperatura interna generalmente varió entre 29 y 55 °C. en el caso del secado a cielo abierto la temperatura varía entre los 14 y 40 °C llegando a un valor máximo de 34.4 °C.

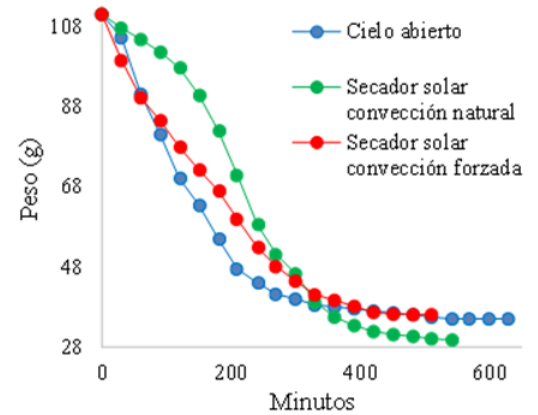


Figura 1 Comparación de las pérdidas de peso con las diferentes técnicas

Se observaron diferencias significativas en las temperaturas alcanzadas en el secador solar de gabinete con convección forzada comparada con el secado solar a cielo abierto y con convección natural. Los tiempos de secado en el secado solar con gabinete disminuyeron en un 43% , llegando condiciones de contenido de humedad muy aceptables. El secado en horno tipo gabinete con convección natural es un 11.2% más efectivo que el secador tipo gabinete con convección forzada, en cuanto a la disminución de peso del producto.

Se observó una cinética de secado más rápida en secador solar tipo gabinete, debido a las altas temperaturas y la baja velocidad del aire dentro de la cámara de secado durante este proceso. La pérdida de peso de la carne alcanzó estabilidad después de secarse durante 834 min por exposición a luz de sol. Por otro lado, la velocidad máxima de secado se logró en el secador directo con convección natural, con una velocidad de 0.024 g H_2O/g sólido seco·min) con un contenido de humedad de 3.255 g H_2O/g sólido seco, como puede observarse en la figura 5.

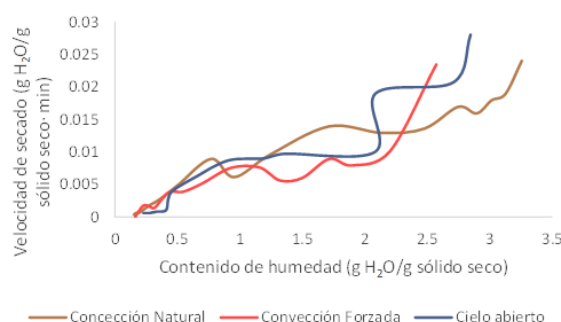


Figura 1 Velocidad de secado en las tecnologías experimentadas

La Tabla 2 muestra los datos de ajuste a los diferentes modelos de capa delgada aplicados a alimentos. El Modelo Weibull fue el que se ajustó de mejor manera a los datos experimentales, por lo que este modelo puede utilizarse para diseño y dimensionamiento de secadores o para predecir el secado de carne.

Los coeficientes mostrados en la tabla deben sustituirse en las funciones de cada modelo para obtener y predecir los tiempos de secado (a, b, c, k o n). Mientras que R², X² y RMSE determinan la calidad del ajuste del secado de carne.

Secador solar convección natural			Secador solar convección forzada		
Weibull	a	1.20E-02	Henderson y Pabis	a	1.6393
	b	-1.3083		k	0.4921
	k	0.2746		R ²	0.9921
	n	1.5965		RMSE	0.0292
	R ²	0.9947		X ²	0.0012
	RMSE	0.0236		Weibull	a
X ²	0.0010	b	-8.5077		
Logarítmico	a	1.9079	k		1.4602
	c	-1.76E-02	n		0.2035
	k	0.6110	R ²		0.9988
	R ²	0.9913	RMSE		0.0115
	RMSE	0.0304	X ²	0.0003	
	X ²	0.0013	Logarítmico	a	1.6019
Henderson y Pabis	a	1.9429		c	-8.40E-02
	k	0.6428		k	0.4026
	R ²	0.9904		R ²	0.9965
	RMSE	0.0320		RMSE	0.0193
	X ²	0.0013		X ²	0.0006

Conclusiones

Se realizó la comparación entre los secados de carne en un horno solar de tipo gabinete con convección natural, convección forzada y otro cielo abierto. Se observa que el secado al cielo abierto es afectado por muchos factores que disminuyen la calidad de la carne, así como la eficiencia del proceso. Sin embargo, en el secado realizado en el horno tipo gabinete, el secado es más rápido debido a que la temperatura es mayor dentro del mismo, también la pérdida de masa en la carne aumenta en un lapso menor de tiempo. La velocidad máxima de secado se logró en el secador directo con convección natural, con una velocidad de 0.024 g H₂O/g sólido seco·min) con un contenido de humedad de 3.255 g H₂O/g sólido seco y se alcanzó la humedad de equilibrio en 420 minutos, comparada con 600 minutos utilizando el secado a cielo abierto. El modelo que más se ajusta a los datos experimentales es el Weibull, por lo que este modelo puede usarse para predecir tiempos de secado y para diseñar y dimensionar secadores de acuerdo a la cantidad de producto que se desea secar.

Referencias

- Castillo-Téllez, M., Pilatowsky-Figueroa, I., Sánchez-Juárez, Á., & Fernández-Zayas, J. L. (2015). Experimental study on the air velocity effect on the efficiency and fresh water production in a forced convective double slope solar still. *Applied Thermal Engineering*, 75, 1192–1200. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.10.032>
- Castro, A. M., Mayorga, E. Y., & Moreno, F. L. (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *Journal of Food Engineering*, 223, 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M. H., Ruslan, M. H., Gabbasa, M., & Kazem, H. A. (2014). Performance analysis of solar drying system for red chili. *Solar Energy*, 99, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.019>
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory II: Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3), 169–174.
- Hossain, M. B., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A. B., & Brunton, N. P. (2010). Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 123(1), 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.003>
- Koyuncu, T. (2006). An Investigation on the performance Improvement of greenhouse-type agricultural dryers. *Renewable Energy*, 31(7), 1055–1071. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.05.014>
- Liu, Q., & Bakker-Arkema, F. W. (1997). Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 66(4), 275–280. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0145>
- López-Vidaña, E. C., Castillo Téllez, M., Pilatowsky Figueroa, I., Santis Espinosa, L. F., & Castillo-Téllez, B. (2020). Moisture sorption isotherms, isosteric heat, and Gibbs free energy of stevia leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, August, 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15016>
- Page, G. E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M. S. Thesis. Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Secretaría de Salud. (2010). Guía de Alimentos para la Población Mexicana. 63. <http://www.todoensobrepesoobesidad.org/obesi2/pdf/guia.pdf>
- Toğrul, H. (2005). Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering*, 71(3), 311–323. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.031>
- Tzempelikos, D. A., Vouros, A. P., Bardakas, A. V., Filios, A. E., & Margaritis, D. P. (2015). Experimental study on convective drying of quince slices and evaluation of thin-layer drying models. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 8(3), 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2014.12.002>
- UN, & FAO. (2020). Hambre y seguridad alimentaria - Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Wang, C. Y., & Singh, R. P. (1978). A single layer drying equation for rough rice. *American Society of Agricultural Engineers*, 78, 3001. <https://doi.org/10.1081/E-EEE2-120046011>
- White, G. M., Ross, I. J., & Poneleit, C. G. (1981). Fully-exposed drying of popcorn. *European Physical Education Review*, 24(2), 466–468, 475. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/17506200710779521>