

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i3.2513>

Variación térmica estacional y cumplimiento del secado en un deshidratador solar de cama plana para rodajas de manzana (*Malus domestica*)

*Seasonal thermal variation and drying compliance in a flat-bed solar dryer for apple slices (*Malus domestica*)*

Romualdo Martínez Carmona

romualdo.martinez@uttlaxcala.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2070-5089>

Universidad Tecnológica de Tlaxcala
México – Huamantla, Tlaxcala

Oscar Martínez de los Santos

oscar.martinez@uttlaxcala.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4319-6336>

Universidad Tecnológica de Tlaxcala
México – Huamantla, Tlaxcala

Benito Armando Cervantes Hernández

arbench@uttlaxcala.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0005-9875-3610>

Universidad Tecnológica de Tlaxcala
México – Huamantla, Tlaxcala

José Víctor Galaviz Rodríguez

galaviz_4@uttlaxcala.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4006-3463>

Universidad Tecnológica de Tlaxcala
México – Huamantla, Tlaxcala

Artículo recibido: 10 julio 2026- Aceptado para publicación: 16 agosto 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La deshidratación solar representa una alternativa sostenible para reducir las pérdidas postcosecha de fruta, aunque su desempeño depende de las condiciones climáticas. Este estudio evaluó el desempeño de un deshidratador solar de cama plana para el secado de rodajas de manzana (*Malus domestica*) durante el primer trimestre del año en la Universidad Tecnológica de Tlaxcala, México. Se registró la temperatura interior del equipo cada hora (9:00–17:00 h) durante diez días en cada uno de los meses de enero, febrero y marzo, empleando el promedio diario como unidad de análisis ($n = 10$ por mes). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, complementado con la prueba de Tukey y la verificación del cumplimiento del criterio de humedad final ($\leq 15\%$ en base húmeda). El ANOVA mostró diferencias significativas en la temperatura interior entre meses (valor $F = 10.96$; probabilidad de azar menor a 0.001): enero resultó significativamente más frío

(45.6 °C) que febrero (52.9 °C) y marzo (50.2 °C), de forma congruente con su menor radiación solar y temperatura ambiente. No obstante esta variación térmica, el producto alcanzó una humedad final por debajo del umbral de estabilidad en la totalidad de los ciclos. Se concluye que el deshidratador mantiene un desempeño de secado consistente frente a la variabilidad climática estacional, lo que respalda su confiabilidad como tecnología de conservación para pequeños y medianos productores.

Palabras clave: deshidratación solar, secado de manzana, variación térmica estacional, energía renovable, análisis de varianza

ABSTRACT

Solar dehydration represents a sustainable alternative for reducing postharvest fruit losses, although its performance depends on climatic conditions. This study evaluated the performance of a flat-bed solar dryer for drying apple slices (*Malus domestica*) during the first quarter of the year at the Universidad Tecnológica de Tlaxcala, Mexico. The interior temperature of the equipment was recorded hourly (9:00–17:00 h) over ten days in each of the months of January, February, and March, using the daily average as the unit of analysis ($n = 10$ per month). A one-way analysis of variance (ANOVA) was applied, after verifying the assumptions of normality and homogeneity of variances, complemented by the Tukey test and verification of compliance with the final moisture criterion ($\leq 15\%$ wet basis). The ANOVA showed significant differences in interior temperature among months (F value = 10.96; probability of chance less than 0.001): January was significantly cooler (45.6 °C) than February (52.9 °C) and March (50.2 °C), consistent with its lower solar radiation and ambient temperature. Notwithstanding this thermal variation, the product reached a final moisture below the stability threshold in all of the cycles. It is concluded that the dryer maintains consistent drying performance against seasonal climatic variability, which supports its reliability as a preservation technology for small and medium producers.

Keywords: solar drying, apple drying, seasonal thermal variation, renewable energy, analysis of variance

INTRODUCCIÓN

La pérdida y el desperdicio de alimentos constituyen uno de los principales desafíos para la seguridad alimentaria mundial. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cerca del 13% de los alimentos producidos se pierde a lo largo de la cadena de suministro entre la cosecha y la venta minorista, siendo las frutas y verduras los productos más afectados, con pérdidas que alcanzan hasta el 32% (FAO, 2019). En efecto, diversos estudios estiman que las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas oscilan entre el 20% y más del 50% de la producción, según la fuente (Herrera-Cebreros et al., 2022). Estas pérdidas resultan especialmente críticas para los pequeños y medianos productores, quienes con frecuencia carecen de infraestructura adecuada de conservación y transporte, lo que compromete tanto sus ingresos como la disponibilidad de alimentos nutritivos para la población.

Entre los métodos de conservación de alimentos, la deshidratación es uno de los más antiguos y eficaces. Al reducir el contenido de humedad del producto, este proceso inhibe el crecimiento de microorganismos y la actividad enzimática responsable del deterioro, lo que permite prolongar la vida útil de frutas como la manzana (*Malus domestica*) sin necesidad de refrigeración ni conservadores artificiales. Además de extender el periodo de aprovechamiento del fruto, la deshidratación reduce su peso y volumen, optimizando los costos de almacenamiento y transporte. No obstante, el secado con aire caliente es una operación altamente demandante de energía calorífica: en los países desarrollados se estima que entre el 10% y el 25% del consumo de energía industrial se destina al secado de productos, con rendimientos energéticos relativamente bajos (Mujumdar, 2015). Dado que los combustibles fósiles son la fuente energética más utilizada en estos procesos, su huella ambiental es considerable, lo que limita su aplicación sostenible, especialmente entre los pequeños y medianos productores.

Frente a estas limitaciones, la deshidratación solar se presenta como una alternativa sostenible que aprovecha una fuente de energía limpia, renovable y gratuita, resultando especialmente accesible para los pequeños y medianos productores. Su principio de funcionamiento consiste en captar la radiación solar para calentar el aire, el cual circula alrededor del producto colocado en bandejas y extrae gradualmente su humedad, al tiempo que la cubierta lo protege del polvo, los insectos y la contaminación ambiental. De acuerdo con la literatura, los secadores solares se clasifican en tres tipos según la disposición de sus componentes: directos, en los que el producto se expone a la radiación solar dentro de una cámara cubierta por un material transparente; indirectos, en los que un colector calienta el aire de manera separada y lo conduce por convección hacia una cámara de secado opaca; e híbridos, que incorporan una fuente de energía auxiliar para sostener el proceso en ausencia de sol (Garduño-García et al., 2017). El deshidratador solar de cama plana objeto de este estudio corresponde a la categoría de secador

directo, en el que las rodajas de manzana reciben la radiación solar a través de una cubierta de vidrio que genera un efecto invernadero en el interior de la cámara.

La investigación sobre deshidratación solar de frutas se ha orientado a optimizar la cinética de secado y a preservar la calidad del producto final. Un parámetro determinante en estos sistemas es la temperatura del aire de secado, que para frutas suele mantenerse en un rango de 45 a 60 °C: temperaturas dentro de este intervalo permiten una eliminación controlada de la humedad y contribuyen a inhibir el desarrollo de microorganismos, sin comprometer de manera significativa la integridad estructural ni las propiedades organolépticas del fruto (Valdivia Espinoza et al., 2022). Diversos estudios han evaluado el desempeño de configuraciones de secadores solares aplicados a esta fruta, incluyendo experiencias en México con secadores solares de caseta bajo convección natural y forzada, que confirman la viabilidad de la energía solar como fuente de calor para el secado de manzana (Ortiz Quezada et al., 2019). Estos antecedentes subrayan la necesidad de controlar la temperatura y el tiempo de secado, y confirman que el desempeño de un deshidratador solar depende críticamente de su capacidad para alcanzar y sostener temperaturas dentro del rango efectivo, lo que justifica evaluar su comportamiento térmico frente a las variaciones climáticas estacionales.

En el estado de Tlaxcala, la producción de manzana constituye una actividad agrícola emergente. Un ejemplo de ello es el proyecto “Manzaneros Vanguardistas de Tepetitla”, impulsado en el municipio de Tepetitla de Lardizábal con apoyo de la entonces SAGARPA, que contempló la reconversión productiva de maíz y hortalizas hacia la fruticultura mediante la siembra de árboles de manzana (SAGARPA, 2018). Entre las variedades cultivadas en el país destacan Gala y Golden Delicious, ambas reportadas entre las variedades producidas en México (SIAP, 2020). Aunque la superficie sembrada en Tlaxcala es todavía reducida y de carácter incipiente, esta producción local se complementa con manzana proveniente de otros estados productores del país, lo que asegura su disponibilidad durante todo el año. En este contexto, el proceso de deshidratado desarrollado en la Universidad Tecnológica de Tlaxcala (UTT) busca contribuir a la reducción de las pérdidas postcosecha y agregar valor al fruto, ofreciendo un producto nutritivo y accesible para los consumidores de la región. Para que esta tecnología resulte confiable, es indispensable verificar que el deshidratador mantenga condiciones de secado adecuadas a lo largo del año, particularmente durante el primer trimestre, cuando las variaciones de temperatura y radiación solar entre meses son más marcadas.

Con base en lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de secado de un deshidratador solar de cama plana durante el primer trimestre del año, analizando tanto la variación de su temperatura interna entre los meses de enero, febrero y marzo, como su capacidad para alcanzar una humedad final que garantice la estabilidad del producto. Dado que la temperatura interior de un secador de captación solar directa depende de la radiación y de la temperatura ambiente —variables que fluctúan a lo largo del primer trimestre—, resulta pertinente

determinar si dichas variaciones comprometen o no el resultado del proceso de secado. Para ello se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿existen diferencias significativas en la temperatura interna del deshidratador entre los meses evaluados?, y ¿el proceso de secado alcanza el criterio de humedad establecido en los tres meses, a pesar de dicha variación térmica?

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y enfoque de la investigación

El presente estudio corresponde a una investigación cuantitativa de alcance descriptivo, con un diseño experimental de campo. Se caracterizó la variable de temperatura interna de un deshidratador solar de cama plana a lo largo de tres meses (enero, febrero y marzo), comparando su comportamiento mediante análisis estadístico. El estudio se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Tlaxcala (UTT), ubicada en el municipio de Huamantla, Tlaxcala, México. La región presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y se localiza a una altitud aproximada de 2,500 msnm, condición que favorece los procesos de deshidratación de frutas.

Descripción del deshidratador solar

Se empleó un deshidratador solar de cama plana de tipo directo (Figura 1), con dimensiones de un metro de ancho por dos metros de largo. Su estructura está construida con aluminio grado alimenticio y una cubierta de vidrio de 6 mm de espesor. En este tipo de secador, las rodajas de manzana se colocan en una bandeja dentro de la cámara y reciben la radiación solar directamente a través de la cubierta de vidrio, la cual genera un efecto invernadero que eleva la temperatura del aire en el interior y promueve la extracción de humedad del producto. La cubierta transparente cumple además la función de proteger las muestras del polvo, los insectos y otros contaminantes ambientales durante el proceso.

Figura 1

Deshidratador solar de cama plana



Materiales e instrumentos

Se utilizaron manzanas frescas de la variedad Golden Delicious, seleccionadas maduras y libres de defectos visibles, procedentes de un proveedor local del estado de Tlaxcala. La manzana fresca presenta un contenido de humedad inicial de referencia de aproximadamente 85.6% en base húmeda, tomado de la literatura y no medido experimentalmente en este estudio (USDA FoodData Central, 2019). Para cada ciclo de secado se emplearon aproximadamente 3 kg de fruta, distribuidos en una sola bandeja, procurando uniformidad en tamaño y grado de madurez. El registro de la temperatura interior del deshidratador se realizó con un termohigrómetro digital, que mide la temperatura del aire (precisión ± 0.1 °C); el peso de las muestras se determinó con una balanza analítica (precisión ± 0.01 g). Como insumos complementarios se utilizaron una solución antioxidante de agua con jugo de limón al 5%, utensilios de corte y contenedores para el manejo higiénico del producto.

Procedimiento experimental

La preparación de las muestras se realizó conforme al siguiente procedimiento: las manzanas se lavaron con agua potable, se descorazonaron y se cortaron en rodajas uniformes de aproximadamente 3 mm de espesor (Figura 2). Posteriormente, las rodajas se sumergieron durante cinco minutos en la solución antioxidante para prevenir el pardeamiento enzimático, se escurrieron y se registró su peso inicial en la balanza analítica.

Figura 2

Rodajas de manzana (Malus domestica)



Las rodajas se distribuyeron en una sola capa sobre la bandeja del deshidratador, con el fin de promover un flujo de aire uniforme. Durante el proceso de secado, la temperatura interior del deshidratador se registró cada hora, desde las 9:00 hasta las 17:00 horas, obteniéndose nueve lecturas por día. El promedio de esas nueve lecturas constituyó el valor de temperatura interior de

cada día, de modo que cada día de operación representó una observación independiente. Las mediciones se realizaron durante diez días en cada uno de los tres meses evaluados (enero, febrero y marzo), de manera que la unidad de análisis fue el promedio diario, con diez observaciones por mes ($n = 10$ por mes; 30 observaciones en total). En conjunto, este esquema comprendió 270 lecturas horarias, que se resumieron en los 30 promedios diarios utilizados como datos para el análisis estadístico. La humedad final del producto se determinó por el método de pérdida de peso. Partiendo del valor de referencia bibliográfico según el cual la manzana fresca contiene aproximadamente 85.6% de agua (USDA FoodData Central, 2019), se calculó la porción de la fruta que no es agua, denominada sólidos secos, la cual permanece constante durante el secado. Registrando el peso de la muestra al inicio y al final de cada ciclo, se determinó qué proporción del peso final seguía siendo agua, obteniéndose así la humedad final del producto en base húmeda. Se adoptó como criterio de correcta deshidratación un contenido de humedad final igual o menor al 15%, valor de referencia por debajo del cual la manzana deshidratada se considera microbiológicamente estable (López Sampedro et al., 2021). Este resultado cumple además holgadamente el estándar oficial para manzana seca, que establece un contenido de humedad máximo del 24% (USDA Agricultural Marketing Service, 1955).

$$\text{Humedad final (\%)} = [(\text{Peso final} - \text{Sólidos secos}) / \text{Peso final}] \times 100$$

Las variables ambientales de referencia (temperatura exterior, humedad relativa y radiación solar) se obtuvieron de la base de datos NASA POWER (NASA, 2026), un sistema de reanálisis climático de cobertura mundial con resolución espacial aproximada de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, cuya confiabilidad para aplicaciones agrícolas ha sido validada en México frente a estaciones agrometeorológicas del INIFAP (Jiménez-Jiménez, 2021). Por tratarse de valores de malla, estos datos representan condiciones climáticas de área y no mediciones puntuales en el sitio; la temperatura interior del deshidratador, en cambio, corresponde a una medición tomada directamente en el sitio del experimento.

Análisis estadístico

Para evaluar si la temperatura interior del deshidratador difería entre los tres meses, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, en el que el factor fue el mes (con tres niveles: enero, febrero y marzo). Como unidad de análisis se empleó el promedio diario de la temperatura interior, calculado a partir de las nueve lecturas horarias de cada día. De este modo, cada día de operación constituye una observación independiente, obteniéndose diez observaciones por mes ($n = 10$).

Previo al análisis, se verificaron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Una vez confirmado su cumplimiento, se aplicó el ANOVA de un factor con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, y ante un resultado significativo se empleó la prueba de Tukey (HSD) para identificar cuáles meses diferían entre sí.

Adicionalmente, se calculó el tamaño del efecto (η^2). Los análisis se realizaron con el software Minitab, con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registró la temperatura interior del deshidratador durante diez días en cada uno de los tres meses del primer trimestre. Tomando el promedio diario como unidad de réplica ($n = 10$ por mes), las temperaturas interiores medias fueron de 45.58 ± 3.51 °C en enero, 52.87 ± 3.47 °C en febrero y 50.21 ± 3.59 °C en marzo (Tabla 1). Las medias de febrero y marzo se ubican cómodamente dentro del rango técnico recomendado para el deshidratado solar de fruta (45 a 60 °C), mientras que enero se sitúa en el límite inferior de dicho intervalo (Figura 3).

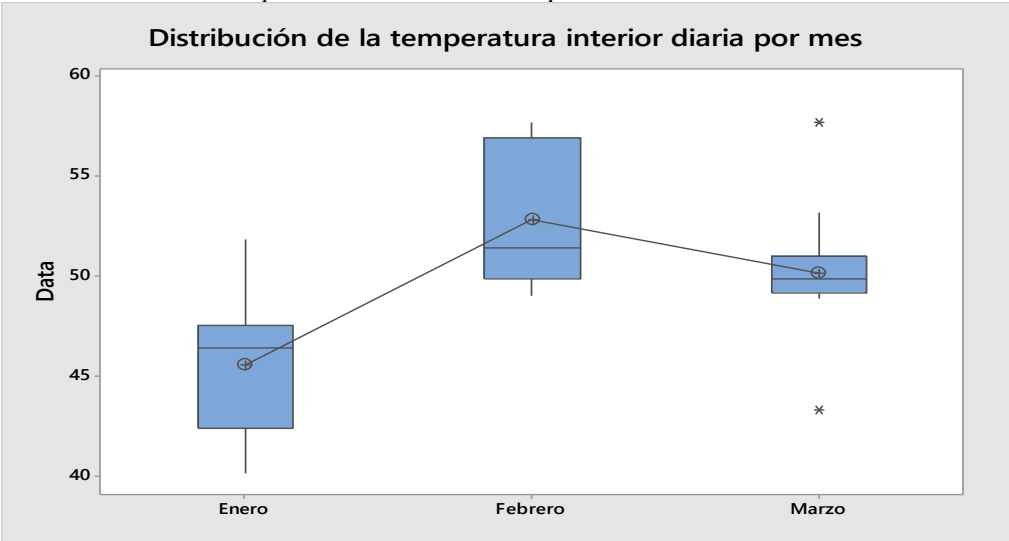
Tabla 1

Estadística descriptiva de la temperatura interior promedio diaria por mes

Mes	Media (°C)	Desv. est. (°C)	n	Mín (°C)	Máx (°C)
Enero	45.58	3.51	10	40.2	51.9
Febrero	52.87	3.47	10	49.1	57.7
Marzo	50.21	3.59	10	43.4	57.7

Figura 3

Distribución de la temperatura interior diaria por mes



Previo al análisis de varianza se verificaron sus supuestos. La prueba de Shapiro-Wilk confirmó la normalidad de los tres grupos (enero: $W = 0.958$, $p = 0.765$; febrero: $W = 0.847$, $p = 0.054$; marzo: $W = 0.852$, $p = 0.061$), y la prueba de Levene indicó homogeneidad de varianzas ($p = 0.688$) (Tabla 2). Al cumplirse ambos supuestos, se procedió con el ANOVA paramétrico de un factor.

Tabla 2

Verificación de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene)

Prueba	Estadístico	valor p	Conclusión
Shapiro-Wilk (enero)	0.958	0.765	Normal
Shapiro-Wilk (febrero)	0.847	0.054	Normal
Shapiro-Wilk (marzo)	0.852	0.061	Normal
Levene	0.379	0.688	Varianzas homogéneas

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en la temperatura interior entre los meses evaluados (prueba F de Fisher = 10.96, con 2 y 27 grados de libertad, y una probabilidad de que la diferencia se deba al azar menor al 0.1%; en notación estadística, $F(2,27) = 10.96$; $p < 0.001$) (Tabla 3). El tamaño del efecto fue grande ($\eta^2 = 0.448$), lo que indica que el mes explica aproximadamente el 44% de la variación observada en la temperatura interior media diaria. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias.

Tabla 3

Análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la temperatura interior

Fuente	GL	SS	MS	F	p
Mes (entre)	2	272.08	136.04	10.96	<0.001
Error (dentro)	27	335.22	12.42		
Total	29	607.3			

Para identificar cuáles meses diferían entre sí se aplicó la prueba de Tukey (HSD). Los resultados mostraron que enero fue significativamente más frío que febrero (diferencia de 7.29 °C, $p < 0.001$) y que marzo (diferencia de 4.63 °C, $p = 0.0177$), mientras que febrero y marzo no presentaron diferencias significativas entre sí ($p = 0.2291$) (Tabla 4). De este modo, enero conforma un grupo estadísticamente distinto, mientras que febrero y marzo resultan equivalentes (Figura 4).

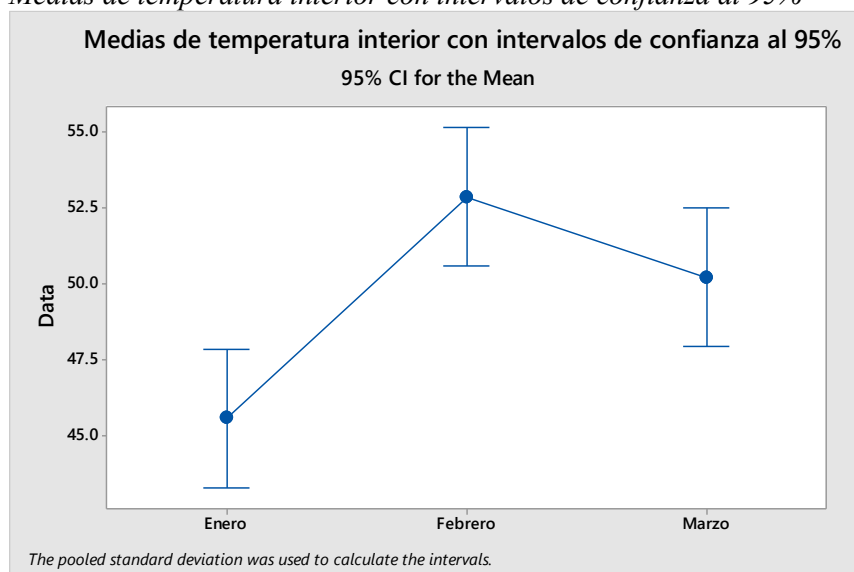
Tabla 4

Comparaciones múltiples de Tukey (HSD) entre meses

Comparación	Diferencia de medias (°C)	p ajustado	¿Difieren?
Febrero – Enero	+7.29	<0.001	Sí
Marzo – Enero	+4.63	0.0177	Sí
Marzo – Febrero	-2.66	0.2291	No

Figura 4

Medias de temperatura interior con intervalos de confianza al 95%



Esta diferencia térmica es coherente con las condiciones ambientales registradas durante el periodo. Enero presentó la menor radiación solar promedio (442 W/m^2) y la menor temperatura ambiente ($15.6 \text{ }^\circ\text{C}$), frente a los 684 W/m^2 y $20.7 \text{ }^\circ\text{C}$ de febrero y los 563 W/m^2 y $18.2 \text{ }^\circ\text{C}$ de marzo (Tabla 5). Dado que la temperatura interior de un deshidratador de captación solar directa depende de la irradiancia y de la temperatura ambiente, la menor temperatura interna de enero resulta congruente con las condiciones de referencia de menor insolación de ese mes ---obtenidas de una base de datos climática de área--- y es consistente con el comportamiento esperado del sistema, más que con una deficiencia del equipo (NASA, 2026).

Tabla 5

Condiciones ambientales promedio por mes (NASA POWER)

Mes	T exterior media (°C)	Radiación media (W/m²)	HR media (%)
Enero	15.6	442	55
Febrero	20.7	684	27
Marzo	18.2	563	40

No obstante la variación térmica entre meses, el proceso de secado alcanzó el criterio de calidad establecido en la totalidad de los ciclos. La humedad final media de las rodajas fue de 12.86% en enero, 12.49% en febrero y 12.46% en marzo, manteniéndose en todos los casos por debajo del umbral de 15% en base húmeda considerado indicativo de una correcta deshidratación (Tabla 6). El criterio se cumplió en el 100% de los ciclos evaluados.

Tabla 6*Humedad final del producto y cumplimiento del criterio ($\leq 15\%$ base húmeda)*

Mes	Humedad final media (%)	Mín (%)	Máx (%)	Cumplen $\leq 15\%$
Enero	12.86	12.13	13.4	10/10
Febrero	12.49	12.05	12.95	10/10
Marzo	12.46	11.6	13.22	10/10
Global	—	—	—	30/30 (100%)

Los resultados obtenidos permiten distinguir dos comportamientos que conviene no confundir: la variación de la temperatura interior entre meses y la consistencia del resultado de secado. La temperatura interior del deshidratador no fue constante a lo largo del primer trimestre: enero se mantuvo significativamente por debajo de febrero y marzo. Este comportamiento es esperable en un sistema de captación solar directa, cuya temperatura interna depende de la irradiancia y de la temperatura ambiente, ambas menores en enero. Lejos de constituir una deficiencia del equipo, esta diferencia refleja su respuesta natural a las condiciones estacionales de radiación solar.

El hallazgo de mayor relevancia práctica no es, por tanto, la constancia de la temperatura, sino la robustez del proceso de secado frente a esa variación. Pese a operar a una temperatura media inferior en enero, el deshidratador logró que el producto alcanzara una humedad final por debajo del umbral de estabilidad ($\leq 15\%$) en la totalidad de los ciclos evaluados durante los tres meses. Esto indica que el diseño del equipo —estructura de aluminio grado alimenticio y cubierta de vidrio de 6 mm— provee un margen térmico suficiente para garantizar la calidad del producto aun bajo las condiciones menos favorables del periodo. En términos aplicados, significa que un productor puede confiar en el equipo para obtener manzana deshidratada estable a lo largo de todo el primer trimestre, con independencia de las fluctuaciones climáticas propias de cada mes.

Este comportamiento es congruente con lo reportado en la literatura sobre sistemas solares de secado, donde la incorporación de cubiertas de vidrio y estructuras metálicas favorece la transferencia de calor y contribuye a sostener condiciones de secado estables frente a las variaciones de la radiación solar (Marulanda-Meza y Burbano-Jaramillo, 2021). En particular, se ha documentado que las características de la cubierta de vidrio influyen directamente en el rendimiento térmico de este tipo de sistemas (Albarracín-Álvarez et al., 2022). Asimismo, las temperaturas medias registradas se ubican dentro o muy cerca del rango de 45 a 60 °C recomendado para el deshidratado de fruta sin comprometer sus propiedades organolépticas (Valdivia Espinoza et al., 2022), lo que respalda la idoneidad del equipo para esta aplicación. El uso de pretratamientos antioxidantes, como la inmersión en solución de jugo de limón empleada

en este trabajo, ha mostrado además contribuir a la conservación de compuestos bioactivos durante el secado de manzana (Maldonado-Holguin, 2025).

Entre las limitaciones del estudio debe señalarse que las variables ambientales se obtuvieron de una base de datos climática de área (NASA POWER), cuya fiabilidad para aplicaciones agrícolas en México ha sido documentada (Jiménez-Jiménez, 2021), si bien su resolución espacial representa condiciones regionales de referencia y no mediciones puntuales en el sitio. Asimismo, las mediciones de campo fueron realizadas por personal en formación con instrumentos de uso general, y el estudio se circunscribe a un único equipo y a los tres meses del primer trimestre, por lo que sus conclusiones no deben extrapolarse sin verificación a otros periodos del año —particularmente a la temporada de lluvias— ni a otras configuraciones de deshidratador. Estudios posteriores podrían incorporar la medición directa de la actividad de agua (aw) del producto y ampliar la evaluación al resto del año y a otras frutas con distintos contenidos de humedad, como la piña, la fresa o la pera.

CONCLUSIONES

El presente estudio evaluó el desempeño de un deshidratador solar de cama plana para el secado de rodajas de manzana (*Malus domestica*) durante el primer trimestre del año, dando respuesta a las dos preguntas de investigación planteadas.

Respecto a la primera pregunta, el análisis de varianza confirmó que sí existen diferencias significativas en la temperatura interior entre enero, febrero y marzo (valor $F = 10.96$; probabilidad de azar menor a 0.001): enero resultó significativamente más frío que febrero y marzo, los cuales no difirieron entre sí. Esta variación se explica por las menores condiciones de radiación solar y temperatura ambiente propias de enero, y constituye la respuesta esperable de un sistema de captación solar directa ante una menor insolación, más que una deficiencia del equipo.

Respecto a la segunda pregunta, se comprobó que el equipo logró que el producto alcanzara una humedad final por debajo del umbral de estabilidad ($\leq 15\%$ en base húmeda) en la totalidad de los ciclos evaluados, en los tres meses. Este resultado demuestra que, aunque la temperatura interna varía con la estación, el deshidratador conserva un margen térmico suficiente para garantizar un secado consistente y un producto de calidad estable.

Se concluye, por tanto, que el deshidratador solar de cama plana de la Universidad Tecnológica de Tlaxcala constituye una tecnología confiable para el secado de manzana durante el primer trimestre del año, pues su desempeño de secado se mantiene estable frente a la variabilidad climática estacional. Como líneas de investigación futuras, se recomienda incorporar la medición de la actividad de agua del producto y extender la evaluación al resto del año y a otras frutas con distintos contenidos de humedad.

REFERENCIAS

- Albarracín-Álvarez, M., Torres-Tamayo, E., & Laurencio-Alfonso, H. (2022). Análisis comparativo del rendimiento térmico de un colector solar de placa plana variando el tipo de vidrio en la cubierta. *Minería y Geología*, 38(3), 288-300.
- FAO. (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2019. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*.
- Garduño-García, A., López-Cruz, I., & Ruiz-García, A. (2017). Modelación matemática de secadores solares tipo invernadero con convección natural y forzada para productos agrícolas: estado del arte. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1), 19-36.
- Herrera-Cebreros, J., Preciado-Rodríguez, J., & Robles-Parra, J. (2022). Impacto económico de las pérdidas postcosecha en los sistemas agrícolas: El sistema de uva de mesa. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(1), 2-17.
- Jiménez-Jiménez, S. (2021). Evaluación del sistema NASA-POWER para estimar la evapotranspiración de referencia en la Región Lagunera, México. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 201-226. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>
- López Sampedro, S., León Naranjo, A., Baño Ayala, D., & Arboleda Alvarez, L. (2021). Determinación de un modelo predictivo de secado para la manzana producida en la sierra centro. *ConcienciaDigital*, 4(2), 247-260. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1670>
- Maldonado-Holguin, L. F. (2025). Estudio de un proceso de secado para manzana deshidratada tratada con antioxidantes naturales. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, 6(2), 3272-3288. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i2.868>
- Marulanda-Meza, S., & Burbano-Jaramillo, J. C. (2021). Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(2), 31-44. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021003>
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2015). *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). CRC Press.
- NASA. (s.f.). *Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer*. Recuperado el 28 de julio de 2026, de <https://power.larc.nasa.gov>
- Ortiz Quezada, M., Romo Cristerna, K., Carrera Arellano, E., García González, J., & Carranza Concha, J. (2019). Deshidratación de manzana Granny Smith a partir de dos tecnologías de secado. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4.
- SAGARPA. (2018). *Inicia la plantación de manzanas en Tepetitla de Lardizábal*. <https://www.gob.mx/agricultura/tlaxcala/articulos/inicia-la-plantacion-de-manzanas-en-tepetitla-de-lardizabal>
- SIAP. (2020). *Panorama Agroalimentario 2020*.

- USDA Agricultural Marketing Service. (1955). *United States Standards for Grades of Dried Apples*. <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/dried-apple-grades-and-standards>
- USDA FoodData Central. (2019). *Apples, raw, with skin (FDC ID 171688)*. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/171688/nutrients>
- Valdivia Espinoza, S. R., Alaníz Alaníz, K. C., & Reyes Aguilera, E. A. (2022). Evaluación de factores que inciden en el proceso de deshidratación solar térmica. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 11(42), 204-218. <https://doi.org/10.5377/farem.v11i42.14699>