

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ESTADO DEL ARTE DE LAS TÉCNICAS DE SECADO DE PIÑA EN
EL MUNDO**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA
MECÁNICA**

AUTOR:

Aaron Humberto Cervantes Flores

ASESOR:

Miguel Angel Hadzich Marin

Lima, Agosto, 2020

Resumen

El presente trabajo de investigación se centrará en el estudio del estado del arte de las técnicas de secado de piña utilizadas en el ámbito académico, a nivel global. Con ello, se buscará determinar el método que mejor se adapte a nuestra situación para un estudio posterior. En primer lugar, se creará una base de datos con las técnicas usadas para el secado de piña y se clasificarán por regiones, en este caso por continentes. Luego, se analizará la data obtenida y se buscará obtener una tendencia con respecto al uso de ciertas técnicas y la razón por la cual predominan en ciertas regiones. De esta forma, se obtendrá una visión más amplia del estado del arte actual, en este ámbito, y de qué forma se podría contribuir en un futuro; esto es, optimizando el uso de métodos más comunes o en la investigación de nuevos métodos. Por último, se presentará la técnica mayormente empleada y las variantes que esta podría presentar en las distintas localidades donde se practica. Dicha información será de gran utilidad para tomar una decisión más acertada con respecto a qué clase de tecnología se podría adecuar a nuestro país con base en la disponibilidad de recursos que se poseen y cuál sería la manera preferible de aprovecharlos.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	i
Tabla de Contenidos	ii
Índice de Tablas	iv
Índice de Figuras.....	iv
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Marco Teórico	3
3.1. Principio de secado	3
3.2. Periodos de secado.....	3
3.3. Métodos y equipos de secado	4
3.3.1. Mecánico-eléctricos	4
3.3.1.1. Secador de horno.....	4
3.3.1.2. Secador/deshidratador de bandejas	5
3.3.1.3. Secador tipo túnel	6
3.3.1.4. Secado por microondas	7
3.3.1.5. Secado por infrarrojo	8
3.3.1.6. Secado al vacío	9
3.3.2. Convección natural	10
3.3.2.1. Secador solar.....	10
4. Metodología.....	12

5. Resultados.....	13
6. Conclusiones.....	19
7. Bibliografía.....	21



Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación por métodos de secado y continente	13
Tabla 2 Clasificación por métodos de secado global.....	14

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Curva idealizada de secado.....	4
<i>Figura 2.</i> Esquema de un secador de horno convencional	5
<i>Figura 3.</i> Esquema de un secador de bandejas.....	6
<i>Figura 4.</i> Esquema de un secador tipo túnel.....	7
<i>Figura 5.</i> Esquema de un secado por microondas	8
<i>Figura 6.</i> Esquema de un secador infrarrojo	9
<i>Figura 7.</i> Esquema de un secador microondas al vacío experimental.....	10
<i>Figura 8.</i> Distintos tipos de secadores solares. (a) Mixto. (b) Directo. (c) Indirecto.....	11
<i>Figura 9.</i> Métodos de secado utilizados en América.....	15
<i>Figura 10.</i> Métodos de secado utilizados en África	15
<i>Figura 11.</i> Métodos de secado utilizados en Asia	16
<i>Figura 12.</i> Métodos de secado utilizados en Europa.....	16
<i>Figura 13.</i> Métodos de secado utilizados en Oceanía	17
<i>Figura 14.</i> Clasificación de métodos de secado a nivel global.....	17
<i>Figura 15.</i> Variaciones en el uso del secado solar.....	18

1. Introducción

El proceso de secado es conocido ampliamente por extender la vida útil de los alimentos. Debido a que se reduce la humedad y la actividad interna en el producto, es posible almacenarlo por un mayor periodo y, aun así, no perder las propiedades nutricionales. Una de las técnicas más antiguas, debido al carente acceso a recursos y el bajo costo que representaba, constituía el uso de la energía solar directa. Esta consistía en esparcir el alimento sobre un área determinada a la intemperie, durante días, para eliminar gradualmente la humedad existente. Aun cuando, de este modo, podría lograrse la eliminación deseada de humedad, es importante notar que, si bien este método resulta sencillo, puede ser contraproducente con ciertos alimentos, pues la prolongada exposición a la radiación podría dañar la superficie de estos.

En la actualidad, el secado de alimentos, específicamente el de frutos, ha evolucionado debido a la gran cantidad de investigaciones que se han llevado a cabo con respecto a este tema. Así, para dicho proceso se ha utilizado la convección natural, forzada, distintos arreglos para el posicionamiento, la optimización del flujo mediante métodos numéricos con ayuda de *software*, entre otros.

En ese sentido, el objetivo del presente trabajo de investigación es comprender los distintos métodos que existen para el secado de la piña en el ámbito académico, a nivel global, y conocer la tendencia de la que se dispone por región.

2. Objetivos

2.1.Objetivo general

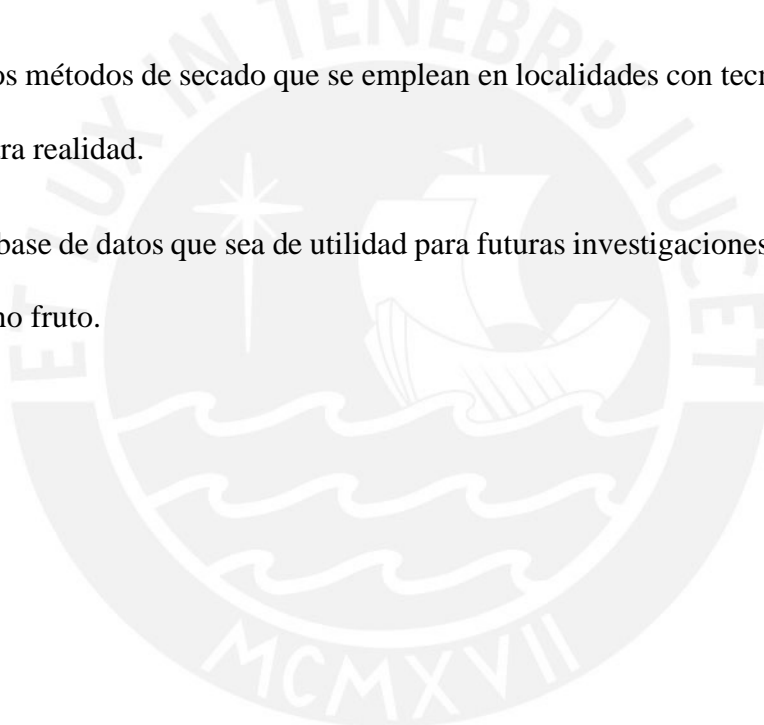
Estudiar el estado del arte con respecto a las técnicas para el secado de piña en el ámbito académico.

2.2.Objetivos específicos

Identificar y clasificar el uso de distintas tecnologías de secado con base en la geografía, los recursos naturales, entre otros aspectos relevantes de cada país.

Analizar los métodos de secado que se emplean en localidades con tecnología y recursos similares a nuestra realidad.

Crear una base de datos que sea de utilidad para futuras investigaciones relacionadas con el secado de dicho fruto.



3. Marco Teórico

3.1.Principio de secado

El objetivo fundamental del secado es la extracción del agua, la cual contiene los sólidos e involucra los procesos de transferencia de calor y masa. Esto se puede dividir en dos procesos simultáneos: transferencia de calor al producto para la evaporación y transferencia de masa húmeda de la superficie del producto hacia el ambiente.

3.2.Periodos de secado

El comportamiento del secado de los productos se representará en una curva simplificada, mostrada en la Figura 1, donde se observa la variación de la tasa de secado en función del contenido de humedad. Al analizar los puntos de dicha gráfica, se dividirá el proceso de secado en tres etapas fundamentales.

Periodo de tasa constante (1-2): La superficie del producto está saturada de agua. El movimiento de la humedad ocurre a un ritmo constante y se evapora directamente de la superficie del producto.

Periodo de la primera caída (2-3): Se llega al punto de contenido de humedad crítico, la superficie no cuenta con suficiente humedad y se torna un poco difícil el movimiento de humedad hacia al exterior. Por ello, la tasa de secado cae e, incluso para materiales higroscópicos (como la piña), existe una segunda caída.

Periodo de la segunda caída (3-4): La superficie del producto se encuentra prácticamente seca. El movimiento de la humedad, desde el interior hacia la superficie, es bastante lento. Este periodo continúa hasta llegar al punto de humedad de equilibrio, donde se detiene el secado.

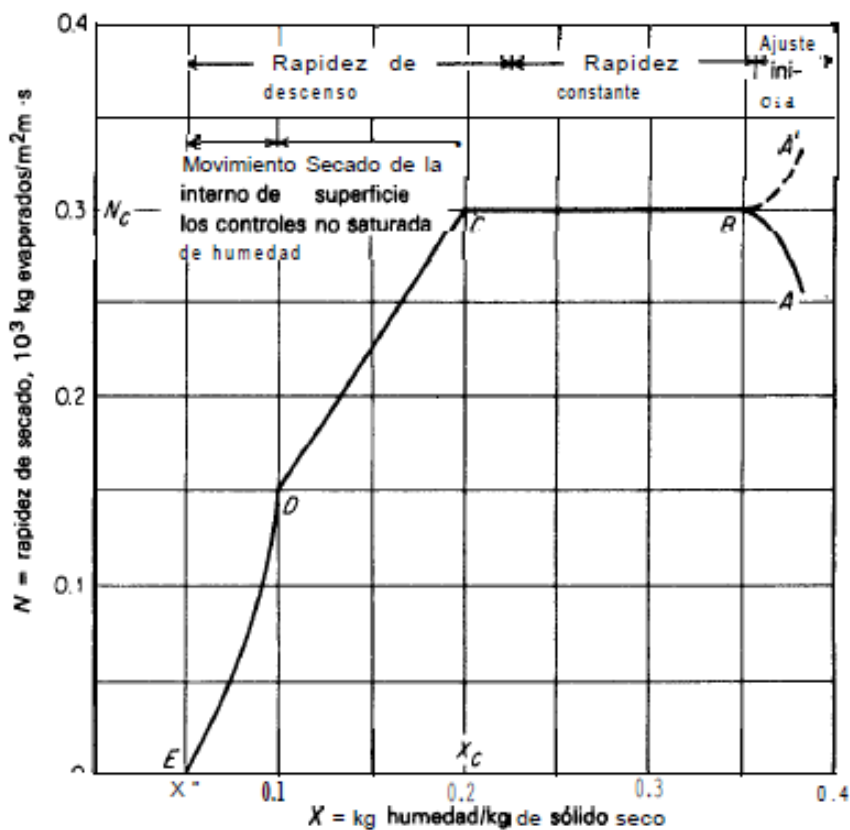


Figura 1. Curva idealizada de secado

Tomado de "Operaciones de transferencia de masa", por Treybal R. (México), 2000.

3.3. Métodos y equipos de secado

En este apartado, se presentarán los métodos y equipos de secado mayormente utilizados para la deshidratación de la piña según la bibliografía encontrada. De acuerdo con la forma de energía que emplean, los dividiremos en dos grupos: mecánico-eléctricos y de convección natural.

3.3.1. Mecánico-eléctricos

3.3.1.1. Secador de horno

En este tipo de secador, se encontraron dos compartimientos. En el primero, se halla el gas caliente, producido por el horno o estufa; en el segundo, se encuentra el producto a secar. El secado por aire caliente constituye la técnica comercial principalmente empleada para el

secado de vegetales y frutas, en donde el calor es transferido del aire caliente al producto por convección, y el agua evaporada es transportada al aire por convección (Lewicki, 1998).

En este proceso, se utilizan equipos de desplazamiento positivo para asegurar la circulación del aire caliente dentro de la cámara y, de esta manera, extraer la humedad del producto por medio de la difusión. Además, tal como se muestra en la Figura 2, cuenta con un mecanismo encargado de girar al producto a secar, de modo que el proceso sea lo más uniforme posible.

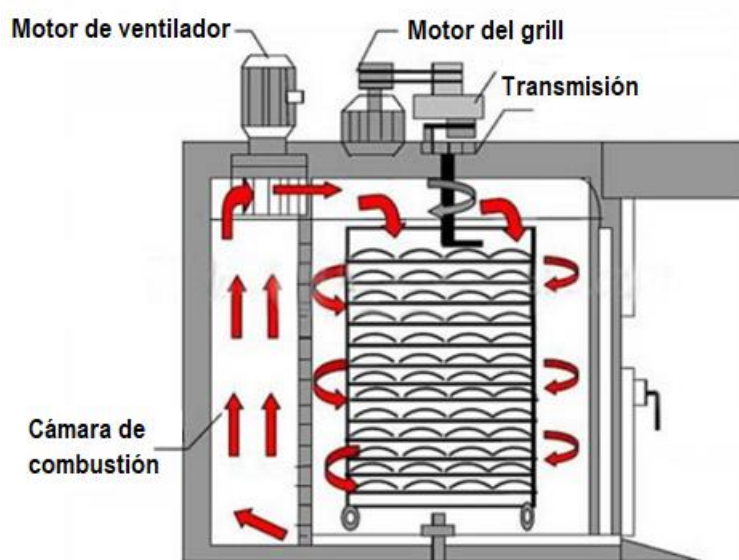


Figura 2. Esquema de un secador de horno convencional

Tomado de "Hot Air Circulation Pharmaceutical Oven", por Saintytec.

3.3.1.2. Secador/deshidratador de bandejas

Este secador cuenta con una construcción similar al horno; sin embargo, utiliza resistencias eléctricas para calentar el fluido encargado de secar los frutos y las bandejas se encuentran estacionarias en la cabina. El proceso que ocurre dentro de la cámara, mostrada en la Figura 3, es el siguiente: el aire caliente (controlado por la cantidad de corriente que pasa por las resistencias) es impulsado por un ventilador a cierta velocidad sobre el producto; con ello, se lleva la humedad y la expulsa hacia el ambiente. Debido a que las dimensiones suelen ser menores a las de un secador de horno, su capacidad puede variar desde el uso

doméstico/personal hasta el industrial. De este modo, su rango de adaptabilidad es bastante amplio.

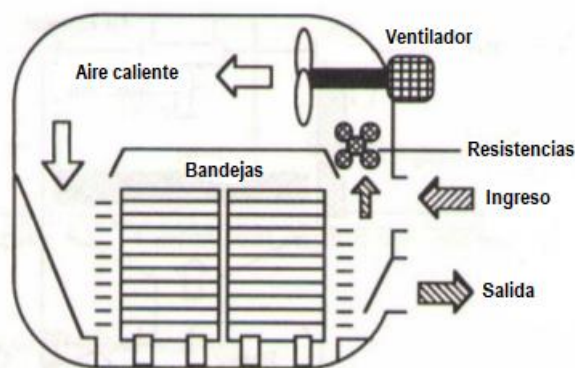


Figura 3. Esquema de un secador de bandejas

Tomado de “*Dehydration of foods*”, por Barbosa-Cánovas, G. V. & Vega-Mercado, H. (Estados Unidos), 1996.

3.3.1.3. Secador tipo túnel

Esta clase de secador es usado, mayormente, para la deshidratación de frutas u hortalizas. Su construcción consta de una o más cámaras de secado de aproximadamente 10 metros de largo; bandejas móviles con el producto, mecanismo encargado de mantener en movimiento las bandejas; ventilador para forzar el aire a lo largo del ducto y una serie de resistencias para calentar el aire que ingresa.

El flujo entrante de aire puede estar en la dirección del producto o a contracorriente, cada uno con distintas ventajas y desventajas con respecto al tiempo de secado y la calidad final del producto. Por ejemplo, al contar con un flujo paralelo, los productos más húmedos estarían en contacto con el aire caliente más seco mientras que los productos finales recibirían un flujo de aire de menor temperatura y una humedad relativa mayor. Por otro lado, si se emplea un flujo a contracorriente, el producto al final del túnel recibiría el aire con mayor temperatura y menor humedad; por ende, obtendríamos un producto muy seco.

En este tipo de secado, el proceso ocurre de forma semicontinua; es decir, los carritos avanzan a lo largo del túnel hasta llegar a la etapa final, donde son removidos junto con el producto seco mientras que el mecanismo de secado sigue operando.

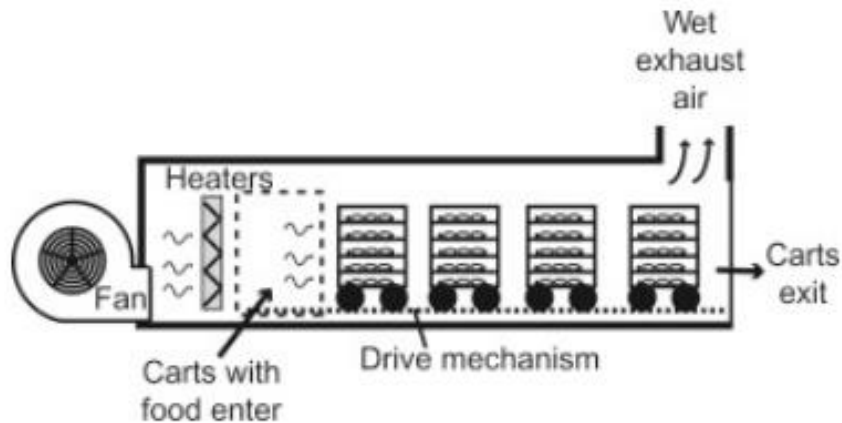


Figura 4. Esquema de un secador tipo túnel

Tomado de “*Food Drying and Evaporation Processing Operations*”, por Kerr, W. L. (Reino Unido), 2019.

3.3.1.4. Secado por microondas

En este tipo de secado, las microondas son generadas dentro de un horno y aumentan la corriente alterna de la red doméstica a frecuencias desde 60 Hz hasta 2450 MHz (Orsat V, Raghavan V, Meda V et al., 2005). Dichas ondas generan una excitación molecular en el producto y con ello se libera calor. Posteriormente, es necesario remover dicho calor, manifestado como vapor de agua en la superficie del producto, mediante convección. Es preciso destacar que, especialmente, durante los periodos de descenso, el uso del microondas ha sido de gran utilidad. A medida que el material absorbía la energía proveniente de las microondas, ocurría un gradiente de temperatura, en donde esta era mayor en la parte central, forzando la humedad hacia el exterior (Erle, 2005).

Debido a las características de este secador, uno de sus principales limitantes es la cantidad de producto que se puede secar y el costo inicial que presenta. En tal sentido, resulta un método efectivo, pero, por el momento, inviable a gran escala.

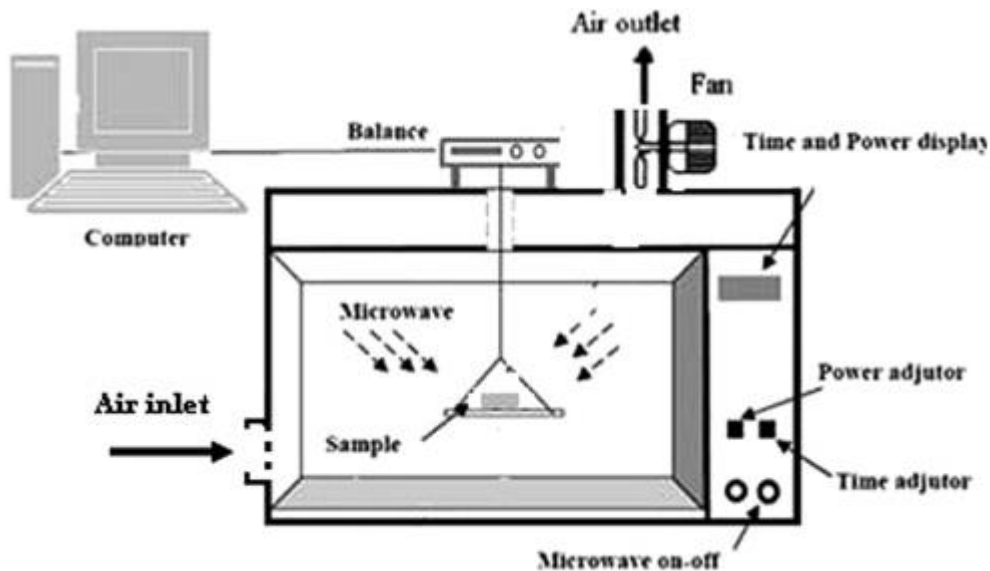


Figura 5. Esquema de un secado por microondas

Tomado de “Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices”, por Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B., 2015.

3.3.1.5. Secado por infrarrojo

La radiación constituye un método de transferencia de calor que permite el secado de alimentos, producida por la interacción entre las ondas electromagnéticas, las cuales son originadas por el generador de infrarrojos (IR), y el agua presente en el alimento. Ello ocasiona vibraciones mecánicas de las moléculas o de un conjunto molecular particular en un fenómeno muy complejo (Ratti & Mujumdar, 2006). El uso de esta radiación artificial podría traer beneficios con respecto a la calidad final del producto; no obstante, el factor económico cumple un rol fundamental al momento de decidir qué tipo de tecnología utilizar. Este secado es bastante similar a los descritos anteriormente, tal como se puede apreciar en la Figura 6. La

única diferencia es que la fuente que estará encargada de producir los cambios en las moléculas de los productos será el elemento infrarrojo.

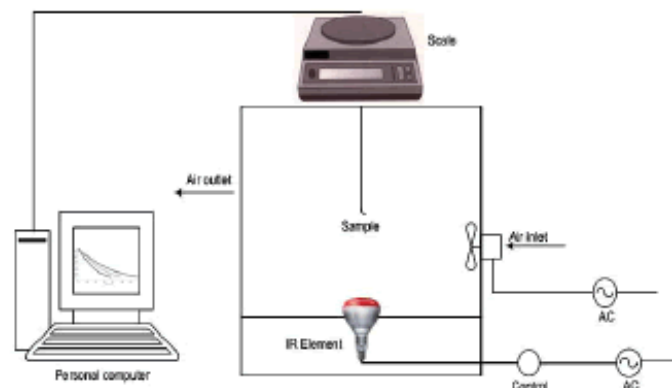


Figura 6. Esquema de un secador infrarrojo

Tomado de “Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón”, por de Puente-Díaz, L., Echegaray- Pacheco, E., Castro-Montero, E., & Di Scala, K., 2013.

3.3.1.6. Secado al vacío

Este tipo de secado suele estar enfocado a productos sensibles al calor o que tengan una probabilidad de dañarse al momento de exponerse a una mayor temperatura. Por tal motivo, el proceso de secado al vacío es considerado el más efectivo y el que interfiere menos con la calidad final del producto; sin embargo, resulta bastante costoso. Al realizar este proceso, se reduce la presión en la cámara y, con ello, el punto de ebullición del agua disminuye, lo cual permite reducir la temperatura de secado. Gracias a esto, es posible obtener productos de excelente calidad, mediante la unión del secado al vacío y microondas, como es la tendencia en la actualidad. Según se muestra en la Figura 7, es posible adaptar un secador microondas a una línea de vacío. Con ello, se obtendría el beneficio de la baja presión y menor temperatura de secado, y en conjunto con el secado microondas se mejoraría la eficiencia del sistema y la calidad del producto final.

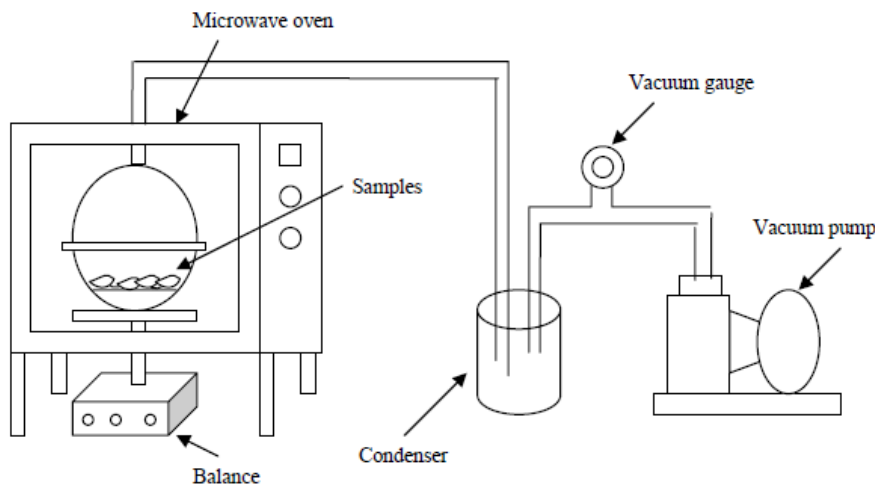


Figura 7. Esquema de un secador microondas al vacío experimental

Tomado de “Drying characteristics of papaya during microwave vacuum treatment”, por Zaki, N., Muhammad, I., Salleh, L., & Khairuddin N., 2007.

3.3.2. Convección natural

3.3.2.1. Secador solar

En el presente apartado, relacionado al secado, dividiremos la clasificación de secadores solares convencionales por medio de los siguientes métodos de incidencia de radiación: directa, indirecta y mixta. La primera se refiere a la incidencia sobre el producto de manera directa, la cual compromete algunas propiedades del fruto, en caso el tiempo al que se halla expuesto el fruto sea extenso. Asimismo, se eleva la temperatura del producto y, al vaporizarse el agua de este en el ambiente, el aire inducido por convección natural es capaz de remover la humedad.

Por otro lado, la radiación indirecta recolecta la energía solar en un ambiente separado, comúnmente llamado *colector*, próximo a la cámara de secado. Posteriormente, el aire absorbe dicha energía, al momento de pasar por el colector, elevando su temperatura e ingresa a la cámara de secado, donde estará encargado de remover la humedad. La forma en la que se mueve el aire puede ser por medio de convección natural o forzada.

Por último, el método mixto procura un equilibrio entre ambas metodologías e incluso podría reducir el tiempo de secado global de manera considerable (en comparación con los otros dos métodos presentados), pero habría que tener en cuenta el efecto que puede causar la radiación directa sobre producto y la calidad del mismo.

En la Figura 8, se pueden observar los tres tipos de secadores descritos anteriormente. Cabe recalcar que en cada uno de ellos es posible modificar el tipo de convección de natural a forzada, mediante el uso de un ventilador o soplador.

Así pues, uno de los métodos más versátiles para el secado de frutos es el solar, puesto que es posible encontrar distintas configuraciones que se adapten óptimamente a las condiciones climatológicas presentes.

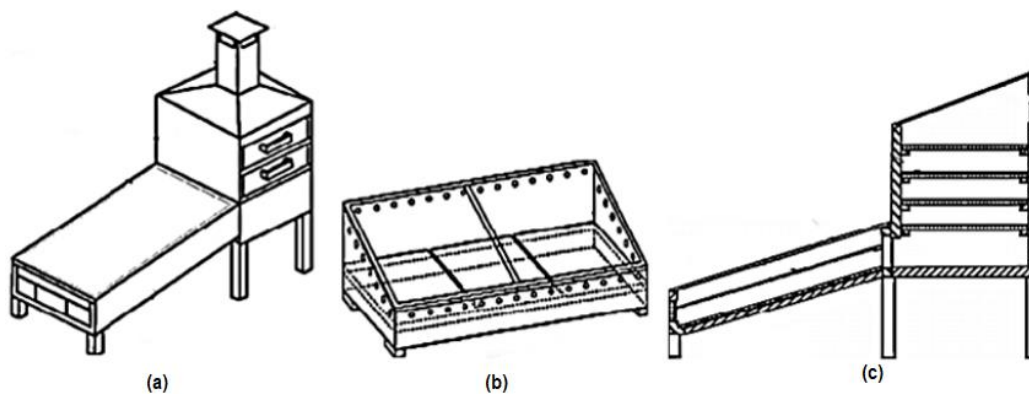


Figura 8. Distintos tipos de secadores solares. (a) Mixto. (b) Directo. (c) Indirecto.

4. Metodología

Para el presente trabajo, la metodología empleada consistirá en la recolección de datos con respecto a las técnicas de secado, en el ámbito académico, para luego poder interpretar dichos resultados y hallar una tendencia en el uso de la tecnología.

En primer lugar, se realizará un análisis de distintas fuentes sobre las técnicas de secado de piña utilizadas en distintos puntos geográficos. Luego, se efectuará la clasificación de esta información en una base de datos, la cual se diferenciará por método o tecnología de secado y localidad; en este caso, se agrupará por continentes, debido a motivos de simplificación. Esto nos brindará una idea más clara del tipo de tecnología de secado que predomina en cada región y las consideraciones que se pudieron haber llevado a cabo para tomar dicha decisión.

Posteriormente, se podrán realizar dos clases de comparaciones con base en el método de secado predominante. La primera buscará encontrar cuál es el método más utilizado por continente y la segunda comparación buscará hallar el método más usado en términos globales. A partir de ello, se podrá observar la tendencia presente con respecto a este tema en distintos lugares geográficos, ya sea por la capacidad de tecnología que se maneje, la disponibilidad de ciertos recursos naturales y cómo estos podrían aprovecharse de una mejor manera, entre otros.

Por último, se desarrollará un análisis del método de secado de piña predominante a nivel global, en conjunto con las variaciones que se hayan podido llevar en cabo en los distintos puntos estudiados.

5. Resultados

En primer lugar, se presentarán los datos clasificados por método de secado y localidad tanto en continente como en país. Para ello, se considerará que se han tomado como referencia 10 métodos distintos de secado.

Tabla 1

Clasificación por métodos de secado y continente

Método de secado	Continente
Secador piloto de laboratorio	América
Secador tipo horno	
Secador de bandejas	
Secado microondas al vacío	
Secador infrarrojo	
Secador de bandejas	
Secador solar (5)	
Secador tipo túnel (2)	África
Secador tipo horno (5)	
Secador microondas (2)	
Secador solar	Asia
Secador tipo horno	
Secador de bandejas (3)	
Secador solar (2)	
Secador tipo horno al vacío	Europa
Secador piloto de laboratorio (2)	
Secador tipo túnel	Oceanía
Secador de bandejas al vacío	

Ahora bien, con base en la información presentada anteriormente, es posible clasificar los métodos de secado de forma global, de modo que se torne más sencillo verificar el método más usado.

Tabla 2

Clasificación por métodos de secado global

Método de secado	Cantidad
Secador piloto de laboratorio	3
Secador tipo horno	7
Secador de bandejas	5
Secador tipo túnel	3
Secador solar	8
Secador infrarrojo	1
Secado microondas al vacío	1
Secador microondas	2
Secador tipo horno al vacío	1
Secador de bandejas al vacío	1

Con estos datos, se presentarán los gráficos correspondientes para las comparaciones propuestas en la metodología. En primer lugar, se encuentra la clasificación dada por continentes, en la cual se apreciará la representación que tiene cada uno de los métodos en los continentes estudiados.

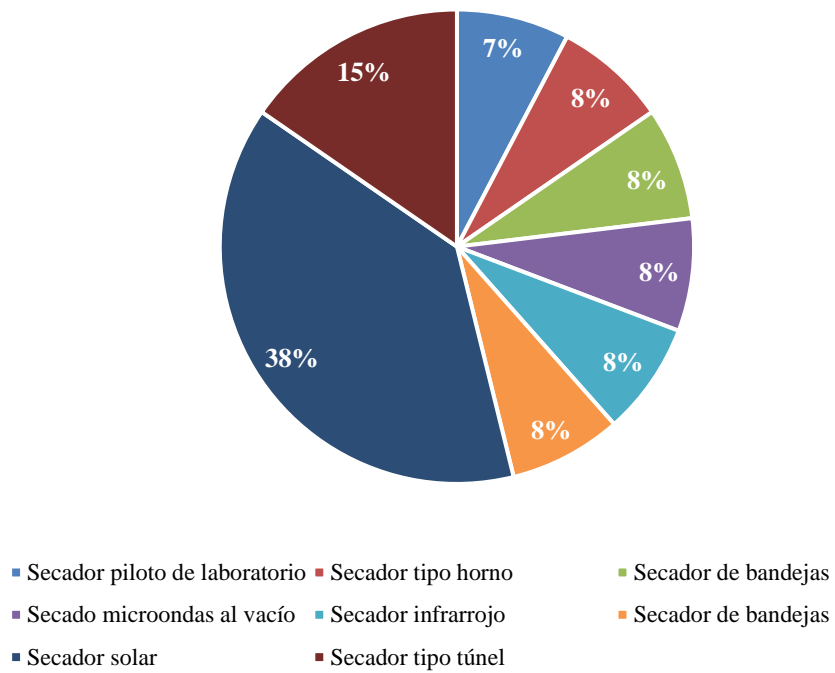


Figura 9. Métodos de secado utilizados en América

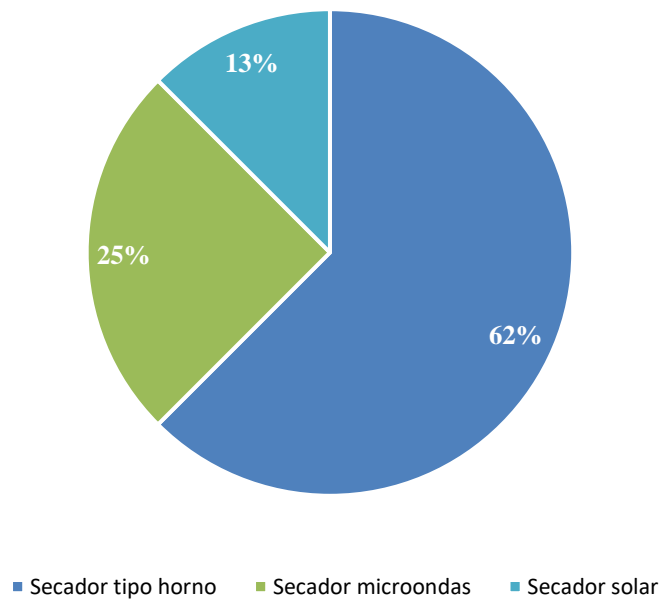


Figura 10. Métodos de secado utilizados en África

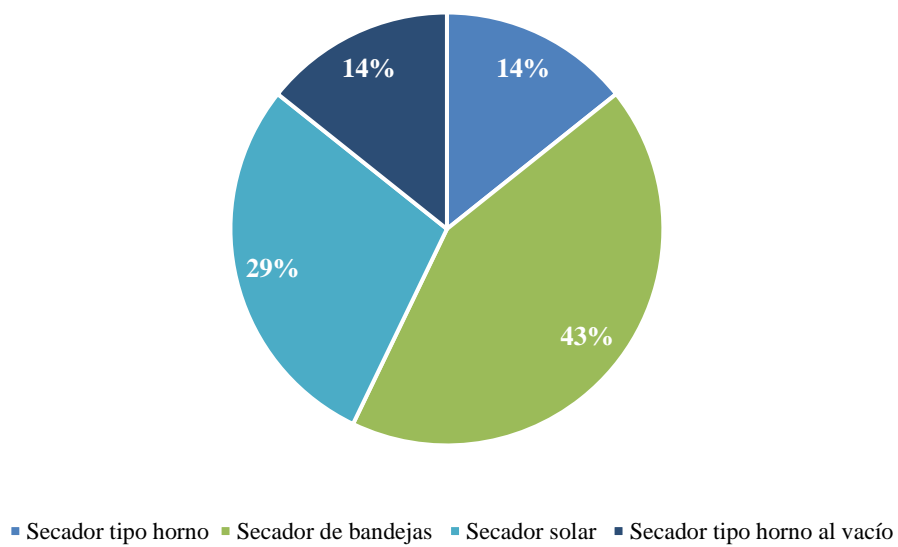


Figura 11. Métodos de secado utilizados en Asia

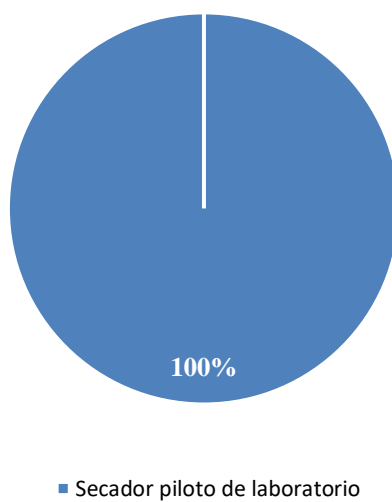


Figura 12. Métodos de secado utilizados en Europa

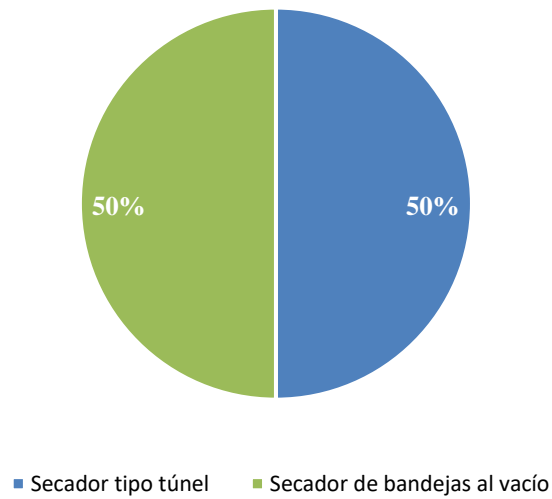


Figura 13. Métodos de secado utilizados en Oceanía

Por otro lado, se halla la gráfica correspondiente al método de secado predominante de forma global.

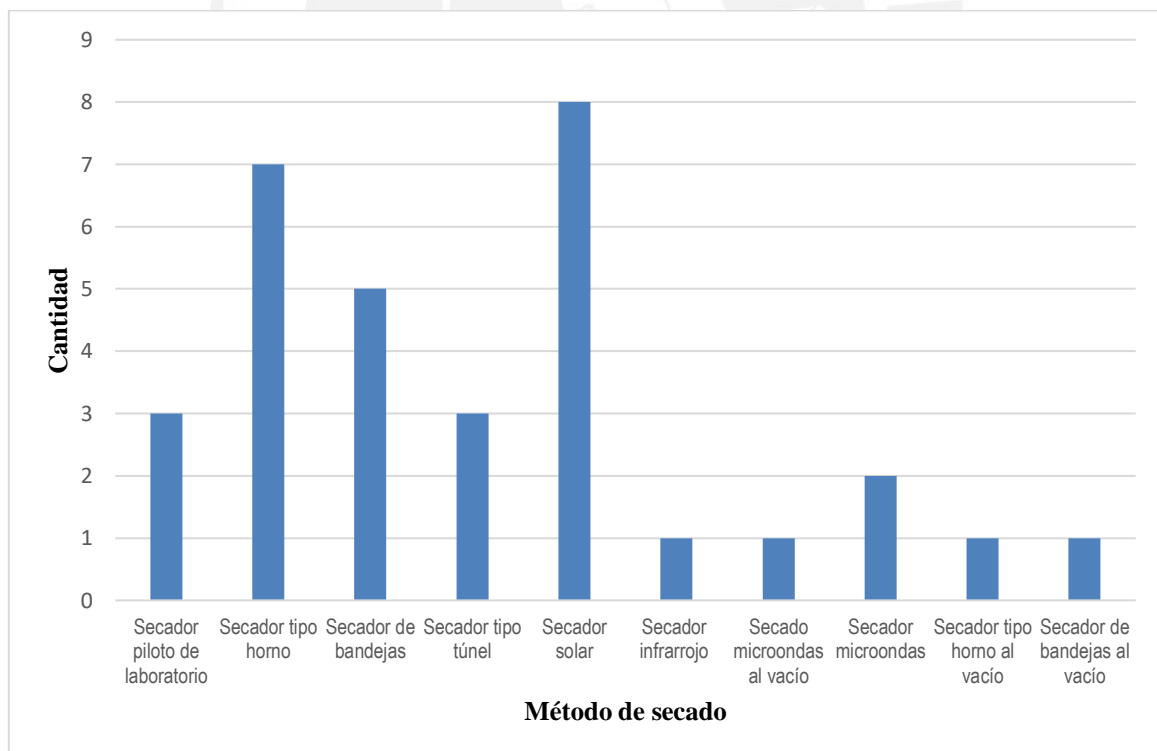


Figura 14. Clasificación de métodos de secado a nivel global

Por último, si el foco constituye el método de secado de piña mayormente utilizado, se obtiene la siguiente división con respecto a su uso:

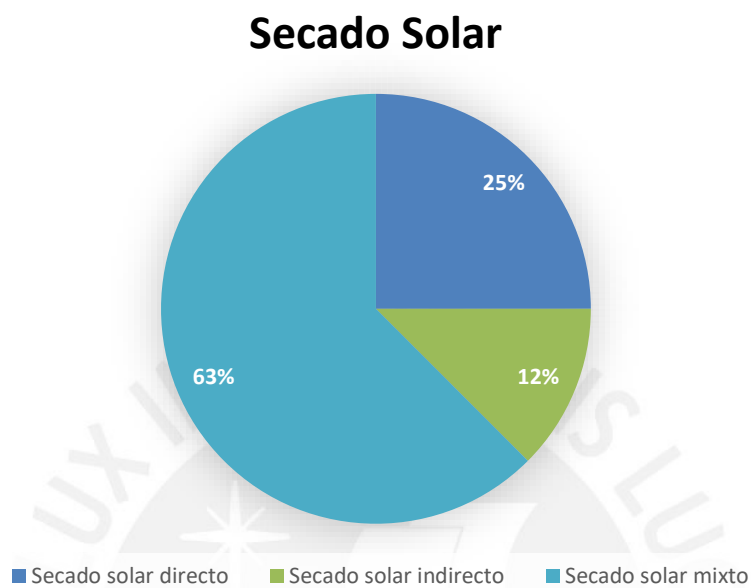


Figura 15. Variaciones en el uso del secado solar

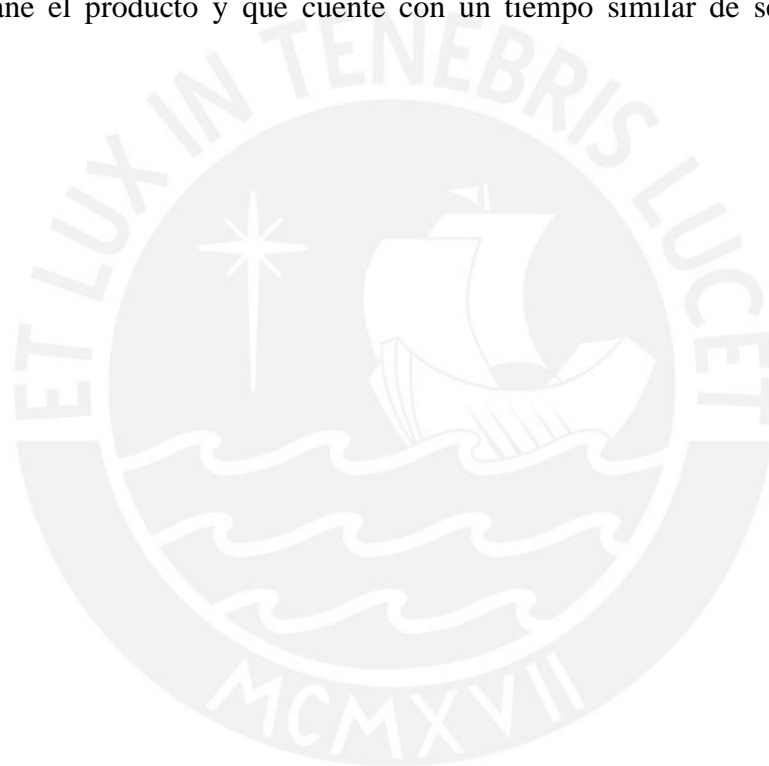
6. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, es posible observar que en la Tabla 1 existe una gran cantidad de investigaciones con respecto al secado de piña en tres continentes principales: América, Asia y África, donde el predominante llega a ser América, con un 40% del total de los casos analizados. Ello puede resultar un indicador sobre la disponibilidad del fruto en cada una de las localidades analizadas, puesto que, al disponer de un fácil acceso y un mayor consumo del fruto, es factible indagar en distintos métodos de secado para la preservación de dicho alimento.

Por otro lado, si nos centramos en las técnicas utilizadas en cada continente, se puede advertir el amplio uso que se le otorga a la energía solar, en el continente americano, según la Figura 9, llegando a abarcar un 38% del total. Con respecto a los continentes africano y asiático, se aprecia una tendencia en el uso de secadores de horno y bandejas; sin embargo, la energía solar continúa mostrando una presencia importante en estas regiones. Asimismo, es posible afirmar que los factores que pueden haber influido en la utilización de esta técnica sean climatológicos y/o económicos; es decir, debido a la alta disponibilidad del recurso solar y el bajo costo que este representa en el desarrollo de la tecnología, en comparación con las otras técnicas, se ha visto ampliamente favorecido su uso en las distintas investigaciones.

Además de ello, según se muestra en las Figuras 12 y 13, en países de Europa y Oceanía, existe un bajo nivel en lo que respecta a la cantidad de técnicas de secado que se emplean, y se excluye, así, a la energía solar. No obstante, es preciso notar que la tecnología que se emplea en su lugar es bastante costosa y compleja; en tal sentido, la capacidad de replicarse en pequeñas localidades queda descartada, pero su aporte sigue siendo beneficioso para el estudio de este fruto. Por último, en la clasificación de métodos a nivel global, de acuerdo con la Figura 14, se observa que la técnica de secado predominante es la solar, seguida del secador tipo horno.

En conclusión, con base en lo observado en el presente estudio, podemos afirmar que el secado solar de la piña está incrementando en ciertas partes del mundo. Con esto, se busca aprovechar de la manera más eficiente los recursos que se tienen disponibles; por ello, es factible introducir este tipo de secado en territorio nacional. Con respecto a los tipos de secado solar, es evidente el amplio uso del secado mixto, en el cual se aprovecha la radiación directa e indirecta. No obstante, si se requiere de un producto final de alta calidad, sería necesario descartar el uso de la radiación directa y buscar alternativas en el aprovechamiento de la energía solar que no dañe el producto y que cuente con un tiempo similar de secado para poder reemplazarlo.



7. Bibliografía

- Abano, E. E. (2010). Assessments of drying characteristics and physio-organoleptic properties of dried pineapple slices under different pre-treatments. *Asian Journal of Agricultural Research*, 4(3), 155-161. <https://doi.org/10.3923/ajar.2010.155.161>
- Agarry, S. E., Ajani, A. O. Ajani & Aremu, M. O. (2013). Thin Layer Drying Kinetics of Pineapple: Effect of Blanching Temperature – Time Combination. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*, 21(1), 1-10.
- Bala, B. K., Mondol, M. R. A., Biswas, B. K., Das Chowdury, B. L., & Janjai, S. (2003). Solar drying of pineapple using solar tunnel drier. *Renewable Energy*, 28(2), 183-190. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00034-4)
- Baptestin, F. M., Corrêa, P. C., De Oliveira, G. H. H., Almeida, L. F. J., & Vargas-Elías, G. A. (2016). Constant and decreasing periods of pineapple slices dried by infrared. *Revista Brasileirade Ciencias Agrarias*, 11(1), 53-59. <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i1a5160>
- Barbosa-Cánovas, G. V. & Vega-Mercado, H. (1996). *Dehydration of foods*. New York, Estados Unidos: Chapman & Hall.
- BM, F. (2013). Studies on the Osmotic Dehydration and Rehydration Characteristics of Pineapple Slices. *Journal of Food Processing & Technology*, 04(04). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000220>
- Botha, G. E., Oliveira, J. C., & Ahrné, L. (2012). Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 304-311. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.009>

- Chaudhary, V., Kumar, V., Sunil, Kumar, R., Kumar, V., & Singh, B. (2019). Studies on drying and rehydration characteristics of osmo-treated pineapple slices using different tray drying temperatures. *International Journal of Agricultural Engineering*, 12(1), 25-30. <https://doi.org/10.15740/has/ijae/12.1/25-30>
- Cheema, L. S., & Ribeiro, C. M. C. (1978). Solar Dryers of Cashew, Banana and Pineapple. *International Solar Energy Society*, 2075-2079. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4832-8407-1.50403-7>
- Corrêa, J. L. G., Dev, S. R. S., Gariepy, Y., & Raghavan, G. S. V. (2011). Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. *Drying Technology*, 29(13), 1556-1561. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.582558>
- Cortellino, G., Pani, P., & Torreggiani, D. (2011). Crispy air-dried pineapple rings: optimization of processing parameters. *Procedia Food Science*, 1(Icef 11), 1324-1330. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.196>
- Erle, U. (2005). Drying using microwave processing. *The microwave processing of foods*. (pp. 142-152). Cambridge, England: Woodhead Publishing Series.
- Falade, K. O., Olukini, I., & Adegoke, G. O. (2004). Adsorption isotherm and heat of sorption of osmotically pretreated and air-dried pineapple slices. *European Food Research and Technology*, 218(6), 540-543. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0900-y>
- Fernandes, F. A. N., Linhares, F. E., & Rodrigues, S. (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>

- Gudiño-Ayala, D., & Calderón-Topete, Á. (2014). Pineapple drying using a new solar hybrid dryer. *Energy Procedia*, 57, 1642-1650. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.155>
- Kerr, W. L. (2013). Food Drying and Evaporation Processing Operations. *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering* (2da. Edición). (pp. 353-387). Oxford: Elsevier. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814803-7.00014-2>
- Lewicki, P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, 1(1), 1-22.
- López-Cerino, I. Müller, J. (2018). Thin layer drying of Pineapple (*Ananas comosus*, L.). *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 19(3), 331-344. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n3.028>
- Nicoletti, J. F., Telis-Romero, J., & Telis, V. R. N. (2001). Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: Fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. *Drying Technology*, 19(9), 2175-2191. <https://doi.org/10.1081/DRT-100107493>
- Olanipekun, B. F., Tunde-Akintunde, T. Y., Oyelade, O. J., Adebisi, M. G., & Adenaya, T. A. (2015). Mathematical Modeling of Thin-Layer Pineapple Drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1431-1441. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12362>
- Orsat V., Raghavan V., & Meda V. (2005). Microwave technology for food processing: an overview. *The microwave processing of foods*. (pp. 105-118). Cambridge, England: Woodhead Publishing Series.
- Puente-Díaz, L., Echegaray-Pacheco, E., Castro-Montero, E., & Di Scala, K. (2013). Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón

- (*citrus limon* (L.) Burm. F. Cv. Genova). *DYNA*, 80(181), 91-97. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/34404/45318>
- Rahman, S., & Lamb, J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14(3), 163-171. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1991.tb00088.x>
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.001>
- Ratti, C. & Mujumdar, A. S. (2006). Infrared Drying. *Handbook of Industrial Drying* (3era. Ed.), (pp. 423-438), Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
- Ravula, S. R., Munagula, S. R., Arepally, D., Ravula, P. R., & Golla, S. (2017). Mathematical modelling and estimation of effective moisture diffusivity and activation energy, exergy analysis of thin layer drying of pineapple. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 5(2), 390-401. [https://doi.org/10.18006/2017.5\(3\).392.401](https://doi.org/10.18006/2017.5(3).392.401)
- Rodrigues, E., Jadir, N., & Chaves, M. A. (n.d.). Modelling the Drying Kinetics of Pineapple Slices in a Tray Dryer, 1-6.
- SaintyCo. Pharma Process & Packaging*. (s.f.) Disponible el 6 de julio de 2020, de <https://www.saintytec.com/hot-air-circulation-pharmaceutical-oven/figure-2-hot-air-circulation-oven/>
- Santos, P. H. S., & Silva, M. A. (2009). Kinetics of L-ascorbic acid degradation in pineapple drying under ethanolic atmosphere. *Drying Technology*, 27(9), 947-954. <https://doi.org/10.1080/07373930902901950>

- Silveira, E. T. F., Rahman, M. S., & Buckle, K. A. (1996). Osmotic dehydration of pineapple: Kinetics and product quality. *Food Research International*, 29(3-4), 227-233.
[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(96\)00035-X](https://doi.org/10.1016/0963-9969(96)00035-X)
- Srittipokakun, N., & Kirdsiri, K. (2014). Drying pineapple using a mix mode solar dryer. *Advanced Materials Research*, 979, 11-15.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.979.11>
- Treybal, R. (2000). Operaciones de transferencia de masa (2da. Edición). México: McGraw-Hill.
- Tunçkal, C., Coşkun, S., Doymaz, İ., & Ergun, E. (2018). Determination of sliced pineapple drying characteristics in a closed loop heat pump assisted drying system. *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(1), 35-41.
<https://doi.org/10.14710/ijred.7.1.35-41>
- Zaki, N., Muhammad, I., Salleh, L., & Khairuddin, N. (2007). Drying characteristics of papaya (carica papaya L.) during microwave-vacuum treatment. *International Journal of Engineering and Technology*, 4(1), 15-21.
- Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>