



Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha  
ISSN: 1665-0204  
rbaz@ciad.mx  
Asociación Iberoamericana de Tecnología  
Postcosecha, S.C.  
México

## Actualización del estado de arte del secado solar de alimentos a partir de una revisión bibliográfica latinoamericana

**Aien, Salvo; Judith, Franco**

Actualización del estado de arte del secado solar de alimentos a partir de una revisión bibliográfica latinoamericana

Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 23, núm. 2, 2022

Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C., México

**Disponible en:** <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798003>

## Actualización del estado de arte del secado solar de alimentos a partir de una revisión bibliográfica latinoamericana

Update on the state of the art of solar food drying: a review from latin american literature

Salvo Aien <sup>1</sup>  
Universidad Nacional de Salta, Argentina  
aienweni@gmail.com

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798003>

Franco Judith <sup>2</sup>  
Universidad Nacional de Salta, Argentina  
francojudita@gmail.com

Recepción: 01 Agosto 2022  
Aprobación: 16 Septiembre 2022  
Publicación: 30 Diciembre 2022

### RESUMEN:

En un contexto de calentamiento global, la aplicación de energías renovables toma cada vez mayor protagonismo. Dentro del sector agro-productivo, es ampliamente estudiado el secado solar como una posible alternativa, económica y accesible, que permita solucionar el gran porcentaje de pérdidas pos cosecha. En este trabajo se presenta el estado de arte de la aplicación de secado solar para conservación de productos frutihortícolas en países latinoamericanos para el periodo 2012 – 2022. A partir de una revisión bibliográfica, se analizaron 51 artículos correspondientes a 7 países, considerados los más relevantes. Dentro de estos se encontraron los de aplicación solar, de simulación numérica y aquellos orientados a proponer mejoras en el proceso. El secado solar si bien es un método ampliamente utilizado, continúa siendo motivo de investigación en la actualidad, citado como de gran importancia en un contexto de cambio climático, donde el uso de las energías renovables tiene un papel preponderante en el desarrollo actual.

**PALABRAS CLAVE:** Estado de arte, Secado solar de alimentos, conservación de alimentos, energía solar, Latinoamérica, conservación de frutas y hortalizas.

### ABSTRACT:

In a global warming context, the use and application of renewable energies is taking on more and more centrality. In the agricultural productive sector, the use of solar drying is being widely studied as and an option, economic and available, that allows solving a big percentage proportion of post-harvest loses. In the present work, a state of art of the use of solar drying for fruit and vegetables conservation during the 2012 – 2022 period in Latin America is presented. A total of 51 articles from 7 countries were analyzed, which were selected as the most relevant ones on this matter. Articles about solar application, numeric simulation and of improving process proposals were found. The solar drying, although being currently widely used, continues being an aim of investigation research, being of great relevance in a global warming context, where the use of renewable energies has a preponderant role in the modern development.

**KEYWORDS:** State of art, solar food drying, food conservation, solar energy, Latin America, fruits and vegetables conservation.

---

### NOTAS DE AUTOR

1 Instituto de Investigaciones en energía no convencional (INENCO), UNSa – CONICET, Av. Bolivia 5051 CP 4400. Salta Argentina. E-mail: aienweni@gmail.com

2 Instituto de Investigaciones en energía no convencional (INENCO), UNSa – CONICET. Argentina. E-mail: francojudita@gmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

Estamos en un contexto en el cual el desarrollo equilibrado con el ambiente es una premisa obligada. Las investigaciones en torno a la aplicación de las energías renovables toman cada vez mayor protagonismo en un escenario donde la transición energética es uno de los principales pilares para combatir el calentamiento global. La energía solar aparece como una de las más prometedoras en cuanto a afrontar los retos del desarrollo sostenible (Araujo et al., 2021) cuya virtud radica, cuando la misma es técnicamente viable y económicamente rentable, en permitir su aprovechamiento ilimitado (Castillo Téllez et al., 2021).

Dentro del sector agro-productivo, la aplicación de este tipo de fuentes de energías, viene siendo ampliamente estudiada, principalmente como una posible alternativa, económica y accesible, que permita solucionar el gran porcentaje de pérdidas que ha sido reportado por múltiples autores a nivel latinoamericano en dicho sector (Almeida et al., 2016; Araújo et al., 2021; Miranda y dos Santos, 2020; Guevara Blanco y Sabas Segura, 2017). Pérdidas que implican además del desperdicio de los alimentos producidos, gastos innecesarios durante el proceso, tanto económicos como ambientales, junto con el mal aprovechamiento de los recursos implicados en dicha producción y la consiguiente generación de gases de efectos invernadero (Valencia Alonso, 2014).

Entre el 25% y el 50% de los productos hortofrutícolas se pierden después de la cosecha (Yahia et al., 2001) dicho porcentaje puede estar determinado por las elecciones que se toman al momento de producir en cuanto a la selección de cultivos y sus patrones, por las cadenas comerciales y los canales de distribución, por las prácticas de compras y uso de los alimentos por parte de los consumidores (FAO, 2011). Influye también la inadecuada y/o ausente existencia de infraestructura para el manipuleo, almacenamiento y elaboración competente de la producción agrícola a la par del alto costo de las tecnologías de procesamiento y la falta de información o de un apropiado conocimiento técnico de los procesos (FAO, 2004). Las pérdidas poscosecha suelen ser mayores en zonas tropicales y subtropicales por las condiciones climáticas prevalecientes (Yahia et al., 2001).

Esta problemática reportada evidencia la necesidad de ampliar y profundizar el campo investigativo. En países en vía de desarrollo, la gran parte de las pérdidas se presentan en las etapas más tempranas del proceso agroindustrial como ser almacenamiento, refrigeración, y/o transporte (Barret et al. 2012 citado en García et al., 2018). El estudio de métodos para la conservación resulta una alternativa viable para reducir los porcentajes de pérdidas, evitar la degradación de dichos productos, la generación de valor agregado, la diversificación en la oferta y la independización de las variaciones estacionales en el mercado.

La conservación de alimentos tiene una implicancia directa sobre la seguridad alimentaria. (Miranda y dos Santos, 2020), dentro de los múltiples métodos que existen en la actualidad, el proceso de secado es uno de los métodos comercialmente más utilizados (Almeida et al., 2016) y su aplicación mediante el uso de energía solar es uno de los procesos más antiguos permitiendo mantener las propiedades nutritivas de los alimentos apareciendo como una alternativa interesante en especial para lugares aislados o sin acceso a la energía (Iriarte y Bistoni, 2016).

Los altos precios y escasez de los combustibles fósiles han incrementado la necesidad del uso de energía solar como una fuente alternativa de energía en los procesos de secado agrícola, especialmente en los países en desarrollo (Tripathy y Kumar, 2009, citado en Alves et al., 2019; Hernández R. et al., 2010; Moreno et al., 2008). Este proceso es a su vez reportado como en ascenso con un gran potencial de crecimiento, sin embargo, algunos inconvenientes que aún se suceden en la actualidad, continúa estimulando la investigación y la mejora en su aplicación (García et al., 2015).

El objetivo de este trabajo es determinar el estado del arte en materia de secado solar de productos de origen agrícola, principalmente frutas y hortalizas, mediante una revisión bibliográfica para el periodo 2012 - 2022. La revisión fue limitada a países latinoamericanos, realizándose un breve análisis sobre las distintas

tecnologías reportadas, tiempos de secados, materiales constructivos, lugares de aplicación, propuestas de mejoras, entre otros.

## 2. METODOLOGÍA

Se realizó un relevamiento bibliográfico, en los principales motores de búsqueda de artículos científicos, de trabajos de investigación de origen latinoamericano, referidos a la aplicación del secado solar en el sector agrícola, principalmente frutas y hortalizas. La búsqueda fue limitada para el periodo 2012-2022. Las palabras claves utilizadas para el relevamiento, así como los buscadores utilizados se encuentran detallados en la figura 1.

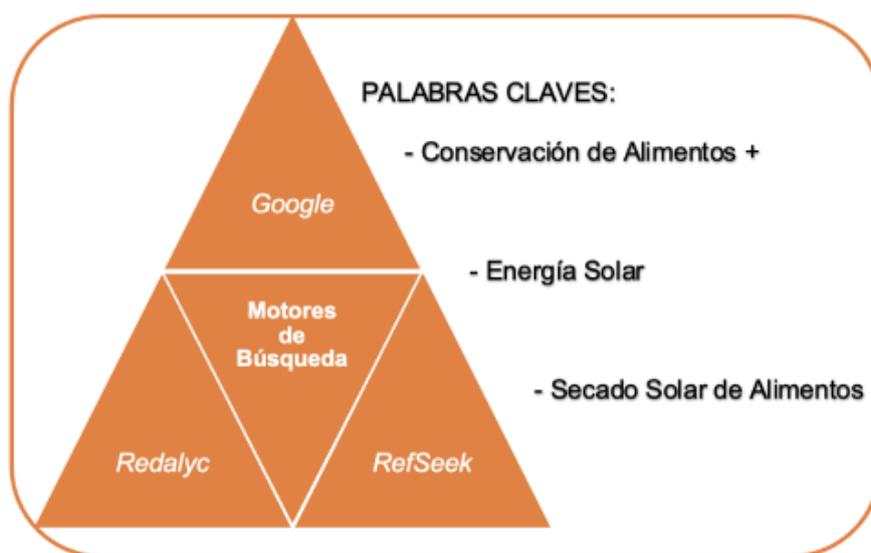


FIGURA 1.  
Motores de búsqueda académicos consultados y filtros aplicados.

Tanto el periodo de tiempo definido, así como las palabras claves utilizadas fueron elegidas en función de definir criterios de selección que permita acotar el gran caudal de trabajos presentes en el área; pero también en pos de que el presente artículo se encuentre restringido a los últimos avances en el área. Se incluyeron en la revisión solo artículos científicos completos excluyéndose tesis o trabajos de graduación.

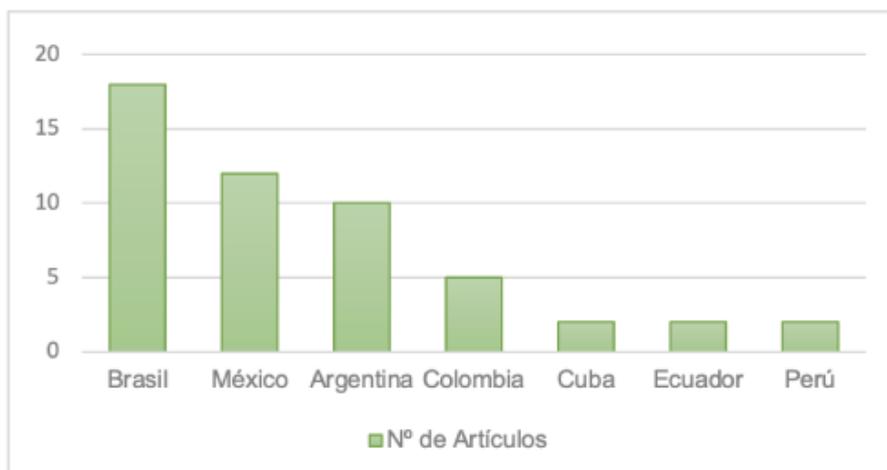
Se realizó una clasificación de los artículos según el país de origen y la línea temática. Finalmente se realizó la sistematización y comparación de los principales parámetros constructivos y de rendimiento de los equipos desarrollados y probados, especificándose el autor, año, lugar del trabajo y equipo estudiado con la idea de brindar información sintetizada, ordenada y de fácil lectura.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Distribución y tipo de artículos

Se encontraron 51 artículos correspondientes a 7 países (ver gráfico 1). Si solo se considera el número de trabajos publicados, Brasil, México y Argentina, evidencian ser los más activos en el tema, sin embargo, el trabajo de secado con energía solar es claramente materia de interés en un gran número de países y desarrollado para múltiples aplicaciones, muchas de las cuales no han sido contempladas en este trabajo.

Resalta sobre todo su importancia como alternativa de conservación para pequeños y medianos productores, especialmente aquellos que se encuentran en áreas rurales sin acceso a fuentes convencionales de energía.



**GRÁFICO 1.**  
**Distribución de artículos por país.**

Distintos autores han logrado identificar una serie de ventajas, tabla 1, a partir de la aplicación de la deshidratación utilizando energía solar. Éstas, no son sólo comparativas respecto al método tradicional, que consiste en la exposición de los productos en canchones al aire libre, sino también respecto a otros métodos de conservación, algunos de los cuales utilizan fuentes convencionales de energía. Más allá de dichas ventajas, el aprovechamiento térmico de la energía solar para secado, también ha presentado una serie de inconvenientes, eje de trabajo para muchos investigadores que buscan mejorar el proceso y la calidad del producto final.

TABLA 1.  
Ventajas y desventajas del secado solar reportadas en los distintos trabajos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de los nutrientes en los alimentos por más tiempo, mayor vida de anaquel, conservación del sabor casi inalterado por más tiempo, disminución de la probabilidad de proliferación de microorganismos, elaboración de productos diferenciados (Almeida et al, 2016).</li> <li>• Permite conservar los alimentos por períodos más largos de lo que habitualmente se dispone en fresco (Iriarte y Bistoni, 2016)</li> <li>• Propuesta adecuada de conservación para sectores rurales sin acceso a la energía, proceso de bajo costo, los equipos pueden ser construidos localmente y no requieren energía fósil (Sharma et al., 1995 citado en Iriarte y Bistoni 2016).</li> <li>• Economía en el transporte al reducir el peso y volumen de los alimentos, método efectivo para prolongar la vida útil. Demanda de los productos secos en crecimiento. Los equipos presentan la posibilidad de ser construidos a diferentes escalas. (Miranda y dos Santos, 2020)</li> <li>• Elevada cantidad de energía por unidad de tiempo disponible para evaporación, dependiendo del equipo, posibilidad de control en el proceso de deshidratación, resguardo de los alimentos de la intemperie, incremento en la productividad en comparación al sistema tradicional, posibilidad de usarse en distintos productos según destino (Mealla-Sanchez y Morales-Olaciregui, 2017).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el método tradicional de secado los productos pueden deteriorarse debido a las condiciones climáticas adversas, también pueden contaminarse con polvo, insectos y excrementos de animales. El área y el tiempo que se requiere es grande, el secado no es uniforme lo que implica que una parte del producto puede reabsorber humedad, reduciendo su calidad y acelerando el proceso de descomposición.</li> <li>• Durante días nublados y frente a grandes volúmenes de producto, los sistemas de convección natural presentan limitaciones frente a los de convección forzada. (Iriarte y Bistoni, 2016).</li> <li>• El recurso solar es intermitente (Alves et al., 2020).</li> <li>• Interrupción del proceso durante la noche.</li> <li>• Extremadamente dependiente de las condiciones climáticas.</li> <li>• Alto costo inicial para su construcción, necesidad de equipo auxiliar y personal de operación capacidad. (Mealla-Sanchez y Morales-Olaciregui, 2017)</li> <li>• Mayor duración del proceso en comparación a equipos convencionales.</li> </ul>

**TABLA 1 (CONT.)**  
**Ventajas y desventajas del secado solar reportadas en los distintos trabajos.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorece el transporte y la manipulación (Machado et al., 2012).</li> <li>• Creación de nuevos productos (Nascimento et al., 2015)</li> <li>• Incentivo de la promoción social mediante el desenvolvimiento tecnológico (Nunes et al., 2018)</li> <li>• Alternativa para incorporación de valor agregado a los residuos agrícolas (Andión - Torres et al., 2012).</li> <li>• Método respetuoso con las propiedades y el contenido nutricional de los alimentos (Guevara Blanco y Sabas Segura, 2017)</li> <li>• El proceso de secado mediante fuente de energías convencionales representa entre el 35 - 40% del costo (Guevara Blanco y Sabas Segura, 2017), al incorporar energías alternativas contribuimos a disminuir emisiones y minimizar costos.</li> </ul>	

El trabajo de desarrollo tecnológico para el secado solar de alimentos, es de larga data. Si bien muchos autores presentan resultados obtenidos de su aplicación por primera vez para determinados productos y/o condiciones ambientales, en general muchos se concentran en tratar de mejorar los aspectos negativos identificados, de forma tal de lograr un proceso lo más viables posible. Es por esto que las líneas de investigación abordadas en los diferentes artículos, son amplias, pudiendo en términos generales agruparse como se detalla en la tabla 2.

TABLA 2.  
Líneas generales de trabajo sobre secado solar.

Línea de trabajo	Autores
Utilización de materiales reciclable/ bajo costo	Alemeida 2016; Araujo, 2021; da Silva Bontempo et al. 2020.
Mejoras + Simulación numérica/computacional	Iriarte y Bistoni 2016, Mealla-Sanchez y Morales-Olaciregui, 2017; Soglia y Sales, 2018; Torres-Gallo et al., 2017; Mendoza et al., 2019.
Mejoras + sistemas de acumulación	Alves et al., 2019; Alves et al., 2020; Da Costa Santos et al., 2014 (1); Torres-Gallo et al., 2017; Peinado Martínez et al., 2013
Equipos híbridos	Camacho-Martinez et al. , 2019; Kerkhoff et al., 2012; García et al., 2015;
Mejoras varias	Gomes et al., 2018; Nacimiento et al., 2015; Vieira et al., 2016, Torres et al., 2016; Mezquitillo - Bocanegra et al., 2014; Martínez y Condorí, 2017; Taco et al., 2019.
Estudio de aplicación solar	Miranda y dos Santos, 2020; Oliveros Tascón, et al. 2017; Rodriguez et al., 2015; Bistoni et al., 2017; Cruz et al., 2012; Souza Coelho et al., 2018; Finck-Pastrana 2013; Castillo Téllez et al., 2019; Recio Colmenares et al., 2019; Andión - Torres et al., 2012; Fonseca-Fonseca et al., 2019; Cabrera Escobar, et al., 2019; García et al., 2012; Gutiérrez et al., 2012; Guevara Blanco y Sabas Segura, 2017; Hernández-Gómez et al., 2017; Hernández-Rodríguez et al., 2019; Hernández Rodríguez et al., 2017; Oré García et al., 2019.
Simulación numérica	García et al., 2018; Machado et al., 2012; Salvo et al. 2018, Ramírez Sandoval, 2014.
Combinación solar + otro proceso	Campañone et al. 2012;
Secado solar con pre tratamiento	da Silveira et al., 2015, Iriarte y Bistoni, 2018; Da Costa Santos et al., 2014 (2); Nunes y Pellegrino, 2017; Nunes et al., 2018; da Silva Bontempo et al. 2020.

### 3.2 Estudios sobre aplicación solar

El proceso de secado solar es sumamente variable siendo una función de las condiciones medio ambientales del lugar, del tipo de secador y del tipo de producto. Numerosos autores se dedican al estudio de las tecnologías ya desarrolladas con el fin de evaluar formas de mejorar la eficiencia, la posibilidad de aplicarse en un determinado lugar o para un producto determinado, la viabilidad a una determinada escala y producción, o simplemente con el fin de encontrar dentro de las múltiples maneras de realizar el proceso, cuas sería la más efectiva. (Finck-Pastrana, 2014; Cabrera Escobar et al., 2019; Gutiérrez et al., 2012; Guevara Blanco y Sabas Segura, 2017; Hernández-Gómez et al., 2017; Hernández-Rodríguez et al., 2019; Hernández Rodríguez et al., 2017; Oré García et al., 2019).

Souza Coelho et al., 2018 estudiaron la viabilidad del secado de mango variedad *Tommy aktins* en un prototipo de secador solar directo con circulación forzada de aire. En el trabajo no especifican la fuente de energía para el sistema de forzado de aire. Obtuvieron que las temperaturas dentro de los equipos de secado siempre fueron mayores que la temperatura del aire ambiente y se basaron en este parámetro para concluir que se justifica la construcción de este tipo de prototipos. Por otro lado, Fonseca-Fonseca et al., 2019, dimensionaron, construyeron y evaluaron en vacío un deshidratador para anamú (*Petiveria alliacea*). Tuvieron en cuenta las condiciones del material a secar y del ambiente obteniendo un prototipo de tipo indirecto el cual cumplió con los requisitos necesarios para el secado de esta hierba medicinal.

Bistoni et al., 2015 evaluaron un diseño de equipo directo compuesto con estantes, para esto estudiaron su desempeño sin carga y con manzanas. Realizaron la simulación térmica del equipo utilizando el software Simusol mediante la construcción del circuito análogo eléctrico y su validación. Obtuvieron un equipo de escala familiar que cumple con las expectativas permitiendo secar gran variedad de productos. La configuración del mismo con 3 compartimientos individuales, determina 3 temperaturas promedio diferentes en cada uno de ellos, pudiendo de esta manera secarse una mayor cantidad de productos.

En muchos lugares, el uso del secado solar empieza a proponerse como una manera económica de darles algún tipo de uso a los residuos agrícolas. Andión - Torres et al., 2012 estudian la aplicación del secado solar para la revalorización de algunos residuos agrícolas que de lo contrario se convierten en un problema en cuanto a cómo eliminarlos. Estos autores trabajaron con los hollejos de naranja, secándolos mediante un secador solar directo tipo gabinete compuesto por dos bandejas. Si bien hubo pequeñas variaciones en el tiempo de secado entre la bandeja de abajo respecto a la de arriba, obtuvieron de igual manera un secado idóneo, según la evaluación que realizaron en laboratorio con el fin de determinar su aprovechamiento por la industria farmacéutica.

Rodríguez et al., 2015, interesados en el aprovechamiento de los residuos de castaña de cajú (*Anacardium Occidentale*) para ser enriquecidos con el fin de ser utilizados como suplemento para ovinos, realizaron la comparación del secado de estos residuos en dos equipos solares. Utilizaron para este fin un biorreactor de secado solar (BSS) y un secador solar por convección natural (SSCN). Si bien ambos sistemas demostraron ser óptimos para el secado demostrando la viabilidad del secado solar en sí, el BSS fue el que presentó un mejor desempeño.

La comparación de sistemas es tema de interés para autores como Miranda y dos Santos, 2020, interesados en el cultivo de cebolla, el cual identificaron como una de las hortalizas de mayor importancia en el área de su estudio, evaluaron dos tipos de configuraciones de secadores, uno de tipo indirecto y otro directo, ambos de flujo activo. Obtuvieron que este tipo de secado es de fácil operación y construcción además de una alternativa sustentable, especialmente para ser aplicada en propiedades rurales de mediana y pequeña escala sumado a su fácil operación y construcción.

Cruz et al., 2012 hicieron un estudio comparativo con frutos de algarroba (*Prosopis alba*) entre el proceso de secado tradicional, realizado de dos formas distintas, con un equipo de secado solar. Realizaron entonces la deshidratación de los frutos extendiéndolos sobre una chapa cinc, sobre un plástico negro de 200 micrones, y en un equipo solar mixto de flujo activo cargando el mismo con fruto con y sin lavado previo. Para el control del proceso, realizaron mediciones a tiempos regulares de radiación, temperaturas, variación del peso de las muestras, humedad ambiente y de cámara (únicamente para el caso del equipo solar). Como resultado obtuvieron que el sistema que mayor eficiencia tuvo fue el de secado solar no observándose diferencias significativas para las muestras que fueron previamente lavadas.

Siguiendo esta misma línea de evaluar distintos tipos de proceso de secado es que Castillo Téllez et al., 2019 realizaron la deshidratación de nuez de la india (*Anacardium occidentale*) en un equipo solar directo tipo gabinete, de manera tradicional al aire libre y en un secador convencional eléctrico. Registraron las temperaturas, humedad relativa dentro de las cámara y pérdida de peso. Como era de esperarse, el secador tipo gabinete tuvo un rendimiento mejor que a cielo abierto con tiempos de secado más cortos. Lo interesante es que el proceso en el secador tipo gabinete fueron muy cercano al horno convencional. Recio Colmenares et al, 2019, hicieron un trabajo muy similar, pero esta vez trabajando con tomate verde.

García et al. 2012 realizaron el diseño y construcción de un secador solar indirecto de flujo forzado cuyo ventilador funciona mediante energía convencional. Compararon el mismo con un equipo de similares características pero que funciona en su totalidad mediante combustibles convencionales. Para la comparación realizaron el secado de 10 kg de Uchuva (*Physalis peruviana*). Si bien el proceso en el secador solar tarda ligeramente un poco más (5 horas extras) la utilización de este tipo de equipo resultó en un ahorro energético de 250 kWh.

Algunos trabajos como el de Oliveros Tascón, et al. 2017 están más orientados a evaluar cuestiones de tipo constructivas. Estos autores estudiaron el desempeño utilizando dos tipos diferentes de plásticos para ser empleada como cubierta en secadores solares tipo túnel para el secado de café en Colombia. El motivo de su trabajo fue debido a que identificaron que muchos productores empezaron a migrar hacia la utilización de secadores mecánicos dado que las cubiertas plásticas de los equipos solares se deterioran muy rápido. De esta manera la investigación se orientó a buscar alternativas para aumentar la vida útil de los equipos e incrementar

la posibilidad de ser utilizados. Obtuvieron que la utilización de plásticos reforzados no altera el tiempo de secado y es una alternativa de mejor resistencia y mayor vida útil que los plásticos tradicionales.

Si bien dentro del secado solar existen alternativas que son económicas como el caso de los secadores directos tipo gabinete; hay muchos autores que investigan la construcción de alternativas tratando de optimizar la reducción de los costos, muchos por ejemplo centrándose en el uso de materiales reciclados y/o recuperados. De esta manera logran generar alternativas orientadas principalmente al trabajo con pequeños y medianos productores, que funcionen bien y que a su vez son amigables con el medio al no utilizar combustibles fósiles durante el proceso de deshidratación, sino que también las emisiones durante el proceso de construcción de los prototipos se reduzcan lo máximo posible. Almeida et al., 2016 presentan la construcción de un equipo de tipo directo compuesto en su totalidad por materiales reutilizados. La estructura del equipo se conforma por la carcasa de una lámpara fluorescente cuyo volumen interno es de 15 L, la cubierta se compone por vidrios de ventanas en desuso. Realizaron el testeo del secador mediante la deshidratación de uvas, si bien la capacidad es chica, los resultados fueron positivos.

Araújo et al., 2021 realizaron en base a trabajos anteriores (Pereira (2015), Góis (2016) y Lima (2018) citado por Araújo et al., 2021) la construcción y evaluación de un deshidratador directo de bajo costo, compuesto nuevamente por materiales recuperados, en este caso utilizaron para la estructura el perfil de una ventana de acero galvanizada. Construyeron dos prototipos, uno con la estructura pintada de negro y el otro sin pintar para realizar la comparación entre ambos. Secaron frutas de piña, plátano, manzana y tomate de manera exitosa observándose un mejor rendimiento en el equipo pintado de negro, probablemente debido al aumento de la absorción de la radiación solar.

Da Silva Bontempo et al. 2020 realizaron el estudio del rendimiento de un equipo solar convectivo tipo caja construido con materiales reutilizados para el secado de cáscara de mandarina pre tratada con etanol. Estudiaron la influencia del uso de dicho compuesto sobre la cinética de secado mediante el empleo del equipo en dos tipos de configuraciones distintas variando a su vez la cantidad de muestra y la rotación de los coolers. Entre sus conclusiones está la alta dependencia entre el tiempo de secado y la temperatura de operación del secado solar convectivo. El proceso resultó eficiente para el secado de cáscaras de mandarina siendo una opción viable para aprovechar dichos residuos. El uso de etanol en la cantidad de 4 gramos para 20 gramos de muestras permitió disminuir muy poco el tiempo de secado y solo para algunas temperaturas de secado.

Al igual que Da Silva Bontempo et al., 2020, muchos autores realizan el uso de diferentes pretratamientos estudiando su influencia sobre el secado solar. Los pretratamientos pueden estar orientado a reducir los tiempos de secado, aunque en general se piensan para mejorar la calidad del alimento después de su deshidratación, como su apariencia, aroma, sabor, etc. buscando un producto final más atractivo para la venta. da Silveira et al., 2015 estudiaron cómo influye en la cinética del secado del *Coriandrum sativum* distintos pretratamientos de blanqueamiento. Secaron muestras sin pre-tratamiento, con tratamiento de blanqueamiento por inmersión directa y tratamiento de blanqueamiento por inmersión en saco de polietileno de alta densidad. Cada prueba fue repetida tres veces durante días de diferentes condiciones. Obtuvieron las curvas de secado mediante el pesaje en intervalos constantes para los tres tipos de pretratamientos. Entre sus conclusiones estuvo el hecho de que la realización de procesos de blanqueamiento no afecta la velocidad de secado solar del coriandro siendo efectivos de todos modos para disminuir en el tenor de ácido ascórbico.

Iriarte y Bistoni, 2018 realizaron la comparación del secado de manzana sin ser pretratadas con manzanas pretratadas con solución de metabisulfito de sodio al 0.5% y con jugo de limón al 10%. Caracterizaron la cinética de secado y realizaron la construcción de modelos matemáticos que permitan predecir con buen ajuste el proceso y el comportamiento de las muestras. Para el secado emplearon el equipo ensayado en Bistoni et al., 2015, entre sus resultados estuvo que el uso de pretratamientos mejora la calidad final del producto recomendando el uso de ácido cítrico (jugo de limón) por sobre metabisulfito de sodio debido a la toxicidad de este último.

Da Costa Santos et al., 2014 (2) trabajaron con el secado de granos residuales de *Bixa orellana L.* en forma de granos y harina. Separaron la muestra en dos, realizando por un lado el lavado del aceite residual característico de esta especie y por otro lado sin dicho lavado. El secado lo llevaron a cabo en un equipo de secado solar de tipo directo con muestras de 15 gr con el objetivo de ajustar distintos modelos matemáticos a datos experimentales en pos de obtener la difusividad efectiva durante el proceso de secado. Si bien la deshidratación fue efectiva en todos los casos, los granos sin lavar presentaron un mayor tiempo de deshidratación. Encontraron a su vez que todos los modelos estudiados representaron satisfactoriamente la cinética de secado.

Nunes y Pellegrino, 2017 y Nunes et al, 2018 secaron muestras banana plateado (*Musa spp.*). Para esto realizaron la construcción y empleo de un equipo solar indirecto forzado cuyos ventiladores funcionan mediante paneles fotovoltaicos. Las muestras de banana fueron cortadas de manera longitudinal y tratadas con jugo de limón para evitar el pardeamiento. Estudiaron la cinética del secado mediante el empleo de los modelos Page y Mata. El secado fue exitoso y el modelo Page el que mejor explicó la cinética.

### 3.3 Procesos de mejora de equipos solares.

Mediante la identificación de las distintas limitaciones y/o desventajas identificadas a partir de la aplicación de la deshidratación solar de alimentos, es que diversos autores han incursionado en la investigación y realización de propuestas que busquen mejorar tanto el proceso en sí, como a las tecnologías ya existentes. El principal aspecto abordado es el hecho de que el proceso dependa de manera exclusiva de la radiación solar incidente siendo de esta manera intermitente y variable en muchos lugares, es por esto que numerosos autores se encuentran investigando sistemas de acumulación que permitan almacenar el excedente de energía térmica durante el día para poder ser utilizada cuando el sol incidente es insuficiente. Alves et al. (2019) realizaron en Campina Grande comparaciones en el proceso de secado de *Vigna unguiculata L. Walp.* combinando el sistema de secado de manera directa al sol en bandejas, con la colocación durante la noche de la mitad de la muestra en un acumulador de calor, y la otra mitad mantenida en laboratorio a condiciones de habitación como control. El acumulador de calor construido para el secado nocturno consistió en un sistema de tubos evacuados, la circulación del agua se realiza con una bomba conectada a un panel fotovoltaico. Si bien el proceso de secado se cumplió de manera exitosa en ambos casos, encontraron que el complemento con un sistema nocturno mejora el mismo evitando la rehidratación nocturna manteniendo buenas temperaturas en el transcurso de la misma.

En una línea muy similar, Da Costas Santos et al. (2014) (1) realizaron el secado de granos residuales de *Bixa orellana L.* combinando en este caso un secador directo durante el día y durante la noche utilizando un sistema de calentamiento auxiliar el cual acumula energía térmica durante el día. Para la prueba realizaron el pretratamiento expuesto en Da Costa Santos et al., 2014 (2). Se comparó el secado con muestras control, las cuales durante la noche se mantuvieron en laboratorio. El sistema de acumulación consistió en un tanque de agua, la circulación del agua durante el día es mediante una bomba alimentada por un panel fotovoltaico y durante la noche por termosifón. En las muestras colocadas durante la noche en el sistema de acumulación lograron alcanzar menores rangos de temperatura y presentaron valores más altos de difusividad de humedad efectiva. Lograron construir modelos matemáticos que represente el secado de los granos de manera exitosa.

Peinado Martínez et al., 2013 diseñaron un equipo para secado de frutas y verduras compuesto por un colector solar de aire plano, un intercambiador de calor, 2 paneles solares fotovoltaicos, una batería de descarga, una bomba de agua, un solenoide para control de rejilla y la cámara de deshidratado. El funcionamiento del equipo estuvo pensado para que, durante el día, cuando hay buenas condiciones, el secado sea directamente mediante el aire caliente proveniente del colector solar plano. Cuando las temperaturas de la cámara caen, el termostato activa una bomba de agua para la circulación del agua caliente por el intercambiador de calor que provee de energía térmica al proceso. El agua es calentada mediante un

termotanque de tubo evacuados. Los paneles proveen de la energía eléctrica para todos los procesos que la requieran. El sistema, si bien es complejo y de apariencia cara, lograron el secado de varios productos de manera exitosa reduciendo el tiempo de manera notable en comparación a sistemas convencionales, pudiendo ser una buena alternativa para un nivel semi industrial.

Dentro de los sistemas de acumulación, los materiales de cambio de fase despiertan un fuerte interés en distintos sistemas de aprovechamiento solar (Torres - Gallo et al., 2017) por lo que hay cada vez más trabajos de investigación orientados a evaluar el funcionamiento de los mismos. Torres - Gallo et al., 2017 decidieron realizar el estudio de un equipo híbrido solar - biomasa compuesto por dos colectores cuyo combustible fue cascarillas de arroz. El colector solar se construyó incorporando parafina en el mismo. Utilizaron Yuca previamente caracterizada para la experiencia realizando la simulación del proceso térmico en Matlab en función de determinar la variación de las temperaturas según la cantidad de latas con parafina incorporadas en el equipo. El sistema se validó para 5 kg de yuca y una temperatura de secado de 70 °C. Determinaron como número óptimo de latas de PCM un total de 50 para cada colector. Cuando la radiación no fue suficiente, el aire de secado se mantuvo mediante el aporte del sistema de acumulación, en 52 °C ± 3 °C. La temperatura del aire se mantuvo durante 45 minutos adicionales. El intercambiado de calor con el sistema auxiliar de biomasa se diseñó con un área de 0.07 m. con una capacidad de 900 gramos de cascarilla consumiéndose 4.5 kg para todo el proceso de secado.

Alves et al. (2020) realizaron en la universidad federal de Mato Grosso, Brasil la comparación entre dos equipos de secado indirectos pasivos, uno con almacenamiento térmico mediante el empleo de PCM (Phase Change Materials – por sus siglas en inglés) y otro sin almacenamiento. Secaron durante tres días banana y manzana para estudiar el comportamiento de ambos. Entre sus resultados, el uso de PCM determinó mayores temperaturas, menores humedades y mejores eficiencias de secado.

Hay muchos sitios donde el recurso solar resulta insuficiente para el secado, es por esto que son necesarios sistemas auxiliares de calor. Kerkhoff et al., 2012 determinaron y compararon la eficiencia de 3 equipos indirectos con diferentes parámetros de colección solar, sistema auxiliar y circulación pasiva de aire para la provincia de Misiones, Argentina, para el secado de cebolla de verdeo. García et al., 2015 presentaron una primera etapa de evaluación de un equipo indirecto forzado preparado para ser utilizado con un sistema auxiliar a base de biomasa. La primera etapa de evaluación realizada sólo mediante energía solar fue exitosa, siendo los resultados prometedores para el estudio del mismo equipo mediante la utilización del sistema auxiliar.

Camacho-Martinez et al. 2019 construyeron un sistema híbrido solar forzado compuesto por un colector térmico, un sistema de almacenamiento pasivo integrado por rocas pintadas de negro alojadas dentro del colector, un sistema de control de temperaturas y resistencias eléctricas para brindar estabilidad térmica alimentadas por un panel fotovoltaico de 90 vatios. Obtuvieron un prototipo con la capacidad de extender hasta 2 horas el aprovechamiento de energía solar.

Gomes et al., 2018 realizaron el estudio comparativo de dos equipos de secado indirectos forzados con algunas diferencias entre ellos en cuanto a dimensiones, cantidad de coolers para la extracción del aire y uno de ellos equipado con un condensador térmico con el fin de almacenar energía para cuando la radiación disminuya. Hicieron la evaluación experimental secando en uno piña y en el otro plátano. Aunque con el equipo con condensador térmico el tiempo de secado fue menor, 840 min versus 1200 min, la eficiencia de masa del proceso de secado y el coeficiente de correlación de los ajustes del modelo de Page a las curvas de secado fueron mejores para el equipo sin acumulación. Ambos equipos resultan económicos y viables para su construcción sobre todo pensando en productores rurales.

Nascimento et al, 2015 introdujeron el uso de arduino para el seguimiento y adquisición de datos durante el proceso de secado en un deshidratador solar. Realizaron entonces la construcción de un equipo solar indirecto de secado en el cual instalaron sensores de temperatura LM35 y sensores de humedad y temperatura DHT03 controlados por una placa arduino Uno tomando y almacenando datos cada 30 minutos. Realizaron

la evaluación en una jornada entre las 10 y las 14 obteniendo de esta manera un equipo con un sistema que permita un mejor control del proceso de secado. El equipo de bajo costo demostró buena eficiencia para el secado de productos. Siguiendo esta misma línea Vieira et al. 2016 utilizaron un arduino para lograr condiciones de temperatura constante durante el proceso de secado en un equipo indirecto de bajo costo.

Torres et al., 2016, estudiaron el secado de nopal (*Opuntia ficus*) en un equipo de deshidratado indirecto al cual le incorporaron reflectores solares en la zona del colector. Durante el proceso de secado que se realizó durante una jornada de 8 horas obtuvieron una humedad promedio retirada del 70.97% y una temperatura promedio a la salida del colector de 36.6 #C. Realizaron a su vez el planteo matemático del proceso de secado obteniendo una correlación de  $R^2 = 0.976$ .

Un trabajo similar fue realizado para tomate saladette por Mezquitillo -Bocanegra et al., 2014. Compararon el secado en un equipo directo de tipo gabinete de bajo costo con y sin reflectores. Fueron jugando con la posición angular de estos buscando maximizar el aprovechamiento de la radiación. Cuando el equipo se valoró sin el uso de los reflectores obtuvieron una variación de las temperaturas en la cámara de secado mayor encontrando que el uso de los reflectores ayuda a homogeneizar la temperatura y obtener un secado más parejo dentro de la cámara.

Martínez y Condorí, 2017 presentaron un prototipo de secador indirecto cuya estructura es muy similar a un equipo directo tipo caja. El mismo está conformado por dos colectores de matriz porosa, uno colocado en el techo del equipo con una inclinación de 22° y el otro de manera vertical al frente del mismo a 90°. El aire circula de manera forzada por ambos antes de ingresar a la cámara de secado. Realizaron mediciones de radiación, temperaturas, humedad, flujo para el cálculo de la eficiencia, obteniendo una opción viable para el secado de alimento mucho más compacta que un equipo indirecto convencional.

Taco et al., 2019 construyeron un equipo de secado cuyo sistema de colección se conformó por 15 tubos de vacío. El mismo fue pensado para el secado de ají panca en Perú. La circulación de aire es por flujo forzado accionado por una turbina cuyo suministro eléctrico se realiza mediante paneles fotovoltaicos. Luego de las evaluaciones, obtuvieron un equipo óptimo para el secado del mencionado ají logrando una reducción importante en el tiempo del proceso de secado en comparación al sistema tradicional.

Algunos investigadores se interesaron por evaluar cómo afecta en la calidad y el tiempo del secado, la combinación del sistema solar con otros tipos de procesos. Campañone et al., 2013 evaluaron el secado de manzanas y espinaca, secadas exclusivamente de manera solar, exclusivamente por microondas y mediante la combinación de ambos sistemas, este último únicamente para la manzana. La manera mixta de secado (solar – microonda) se realizó mediante una jornada de secado de 8 horas. El secado con microondas se realizó empleando distintos ciclos de potencia intermitente (50% - 30 %- 10 %). Durante la realización de los experimentos registraron temperaturas y peso de las muestras. Los productos finales se sometieron a la evaluación de la calidad sensorial mediante la determinación del color y textura. Observaron las mayores velocidades de pérdida de peso para las muestras deshidratadas en microondas 50% de potencia y la menor para las secadas solarmente. Los métodos en secado solar y/o microondas a la menor potencias resultaron ser los mejores para obtener una mejor textura; a mayores potencias en microondas más duros fueron los productos finales. Desde el punto de vista de la mejor relación proceso-calidad-costos, los métodos más recomendables resultaron ser exclusivamente solar, solar - microondas a bajas potencias y microondas solo a bajas potencias. En la tabla 3 se puede ver de manera sintetizada los principales parámetros característicos de las distintas experimentaciones realizadas por los autores hasta aquí citados.

### 3.4 Simulación computacional de sistemas solares térmicos.

El estudio de incorporación de mejoras a los equipos de secado se realiza de diversas formas entre las cuales múltiples autores optan por la utilización de modelos de simulación numérica que permita optimizar el uso

de materiales y tiempo, ver tabla 4. Entre estos están quienes realizan validaciones experimentales de los modelos numéricos, o quienes se limitan únicamente al estudio teórico. García et al., 2018 realizaron un modelo exclusivamente numérico de un equipo mixto para el secado de manzanas en el municipio de Nuevo Colón Boyacá, Colombia. Dicho modelo se basó en la reproducción de fenómenos de transferencia tanto de calor como de masa.

Machado et al., 2012 mediante la elaboración de un modelo numérico realizaron la simulación del secado del pseudofruto de cajú (*Anacardium occidentale L.*) en un equipo solar indirecto forzado. El modelo computacional se conformó por un sistema de ecuaciones diferenciales parciales referentes a dos fases cuya resolución numérica se hizo con el paquete DASSL (Petzold, 1989 citado por Machado et al., 2012). Realizaron a su vez la validación mediante experimentación, obteniendo un muy buen ajuste para las curvas de secado y la distribución de temperaturas dentro del equipo.

Salvo et al., 2018 presentaron la simulación y validación experimental de un secador directo tipo caja de bajo costo. Para la validación del modelo automatizaron la adquisición de datos mediante un microcontrolador Raspberry Pi. Obtuvieron un coeficiente de correlación del 0.98 entre los valores medidos y simulados. Para la validación utilizaron datos de radiación y temperatura.

Ramírez Sandoval et al., 2014 realizaron la simulación y validación experimental de un equipo solar indirecto de convección natural. La validación fue realizada en condiciones de laboratorio mediante la utilización de lámparas en vez de radiación solar para el funcionamiento del equipo. Lo interesante de este trabajo es que una de sus conclusiones fue el rediseño del colector acortando su longitud a 1.60 metros ya que el uso del modelo computacional les permitió determinar que hacerlo más largo no implicaba mejoras en la eficiencia, pero si mayores costos.

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Almeida et al., 2016	Secador directo	Estado de Rio Grande del Norte, Brasil	Uva	960 gr	4 días	-	Vol. interno= 15 L Ac: 0.25m <sup>2</sup>
Alves et al., 2020	Deshidratador indirecto de circulación pasiva. A: Con PCM como sistema de acumulación. B: Sin PCM	Cerrado Brasileño	Banana ( <i>Musa spp.</i> ) y manzana	-	3 días, cada día fue un experimento separado	T máx: -A: 71.7 °C y -B: 71 °C I máx: 900 W/m <sup>2</sup> η cámara máx.: - A: 91.9 -B: 88.28	Ac: 1.15 x 1 m Vol. cámara= 0.3 x 0.3 x 0.48 m
Alves et al., 2019	Secado directo combinado con secador nocturno (intercambiador de calor con tubos evacuados)	Campina Grande, Brasil	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	50 gr	Control: 54.5 hs Hand: 42.5 hs	Amb.: 26.92 ± 2.9 °C and 67.87 ± 12.3% Acumulador de calor (HAND): T máx: 43 +3.3° C Hum Max 56.44 +12.6% T <sup>arriba</sup> de 40°	-
Andión – Torres et al., 2012	Secador solar directo tipo caja	Centro de investigaciones de Energía Solar, Santiago de Cuba, Cuba	Hollejos de naranja	Muestras de 0.8 Kg	Bandeja superior: 21 hs Bandeja inferior 24 hs	T máx.: 52 °C I máx.: 771.4 W/m <sup>2</sup>	-
Araujo et al. 2021	Secador solar directo tipo caja de bajo costo	Estado de Rio Grande del Norte, Brasil	Piña, plátano pacovan, plátano plateado, manzana, tomate	106 – 264 gr	2 jornadas de secado de 7 horas cada una	T máx.: 60 °C I máx.: 1619 W/m <sup>2</sup>	Ac: 0.6 m <sup>2</sup>
Camacho-Martínez et al., 2019	Secador solar híbrido forzado compuesto por colector térmico, sistema de almacenamiento pasivo integrado por rocas, sistema de control de temperatura y resistencias eléctricas.	Suchiapa, Chiapas, México	Frutas, verduras o semillas.	15 kg	-	T máx. colector: 65°C T máx. cámara: 50 - 55 °C	Ac: 0.89 m <sup>2</sup> Potencia panel FV 90 W

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Campañone et al., 2012	Secador solar tipo caja combinado con secado por microondas (Mw) a distintos ciclos de potencia intermitente: 50 – 30 y 10 %	La Plata, Argentina	Manzana var. Red delicious espinaca	-	Manzana: Solar 1200 min Mw10%: 170 min Mw30%: 31.5 min Mw50%: 22.5 min Solar (480 min) + Mw10%: 50 min Mw30%: 25 min Mw50%: 10min Espinaca: Solar 180 min Mw10%: 65min Mw30%: 15 min Mw50%: 8 min	T máx.: Solar: 57.6 °C Mw10%: 82.3 °C Mw30%: 123.26 °C Mw50%: 129.48 °C Solar + Mw10%: 45.7(solar)/106.86 °C Solar + Mw30%: 45.7(solar)/117.92 °C Solar + Mw50%: 45.7(solar)/121.06 °C	Ac: 0.6 x 0.4m Microondas: equipo comercial
Da Costa Santos et al., 2014 (1)	Deshidratador directo tipo caja combinado durante la noche con un sistema de acumulación de calor compuesto por un tanque de agua para continuar el proceso de secado.	Sergipe Brasil	<i>Bixa orellana L.</i> Tratamiento 1: Sin lavar Tratamiento 2: lavado	Muestras de 15 gr	840 min	$\bar{T}$ Acumulador térmico: - Tratamiento 1: 49.94 °C - Tratamiento 2: 64 °C	Ac secador directo: 0.5041 m <sup>2</sup>
Da Costa Santos et al., 2014 (2)	Secador solar directo tipo caja.	Sergipe Brasil	Granos y harinas de <i>Bixa orellana L.</i> -Tratamiento 1: Sin lavar -Tratamiento 2: lavado	Muestras de 15 gr	El tiempo de secado oscilo según las muestras y tratamientos entre 1.25 hs – 4 hs	I máx= 2620 Kj/m <sup>2</sup> $\bar{T}$ : 52.03 – 80.08 °C	Ac=0.5041 m <sup>2</sup>

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Da Silva Bontempo et al. 2020	Secador solar directo de circulación forzada. 1. Usaron la caja como bandeja 2. Utilizaron una cesta metálica como bandeja.	Brasil	Cáscara de mandarina.	1. Muestras 210 – 310 g 2. Muestras de 410 gr.	6 hs	$\eta$ proceso de secado: 93.45%	Ac: 1.5 x 0.3 m
da Silveira et al., 2015	Secador solar mixto.	Universidad Federal de Campiña Grande, Brasil	Coriandro var. verdão ( <i>Coriandrum sativum</i> )	-	Jornada de secado: 6:30 – 17 hs Tiempo medio de secado: 10 hs	-	Ac= 0.24 m <sup>2</sup>
Fonseca-Fonseca et al., 2019	Secador indirecto tipo caja	Centro de investigaciones de Energía Solar, Santiago de Cuba, Cuba	Anamú ( <i>Petiveria alliacea</i> )	-	-	T máx.: 40 – 45 °C	Ac: 3.88m <sup>2</sup>
García et al., 2015	Secador Indirecto con sistema auxiliar y circulación forzada	Valle Viejo, Catamarca, Argentina	Papa cortada en bastones	36 kg	18 hs	I: 200 - 800 W/m <sup>2</sup> T. Amb.: 19 - 30 °C H. Amb.: 55 - 39% T. máx. colector: 45°C $\bar{T}$ : 40°C H min. salida del colector: 2%	Ac: 7.5 m <sup>2</sup> Dimensión cámara de secado: 7 m <sup>3</sup>
García et al., 2012	Deshidratador solar indirecto de flujo forzado.	Cundimarca, Bogotá	Uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	10 kg	30 hs	$\eta$ = 80% $\bar{T}$ : 55 °C V aire: 3 m/s	Ac: 1.17m <sup>2</sup>
Gomes et al., 2018	1. Secador indirecto forzado 2. Secador indirecto forzado con sistema de acumulación	Brasil	1. Piña tipo perla 2. Plátano tipo plata.	-	1. 1200 min 2. 840 min	Potencia Útil media: 1. 170.7 W 2. 171.9 W • $\eta$ proceso: 1. 95.1 2. 85.21	1. AC= 0.830 x 0.30 m 2. -

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Gutiérrez et al., 2012	Secador solar indirecto de convección natural.	Santa Cruz, Argentina	Lavanda, perejil	-	Lavanda: 17 hs Perejil: 17 hs	-	Ac: 1.15 x 0.46 m
Guevara Blanco y Sabas Segura, 2017	Secador solar directo	México	Fresa	-	Fresas cortadas 4 - 5 mm: 3 - 4 hs Fresas cortadas 1.5 - 2 cm: 6 - 7 hs	$\bar{T}$ : 56.2 °C	-
Hernández-Gómez et al., 2017	Secador solar indirecto.	Universidad Nacional Autónoma de México, México	Mango, Manzana, Piña, Papa, Zanahoria, Pepino, Naranja, Plátano	Mango: 2 Kg Manzana: 1 kg Piña: 2 kg Papa: 349 gr Zanahoria: 66 gr Pepino: 409 gr Naranja: 365 gr Plátano: 194 gr	Mango: 10 hs Manzana: 4 hs Piña: 1 hs Papa: 6 hs Zanahoria: 6 hs Pepino: 5 hs Naranja: 6 hs Plátano: 5 hs	$\Delta T$ : 40 - 50 °C	Ac: 2 m x 1.14 m
Hernández-Rodríguez et al., 2019.	Secador solar indirecto de tipo forzado	Universidad de Quintana Roo, México.	Chicozapote ( <i>Manilkara zapota</i> )	2 kg	700 - 800 min	T máx.: 59.3 °C	Ac: 1.4 m <sup>2</sup>
Hernández Rodríguez et al., 2017	Secador solar indirecto	Universidad de Quintana Roo, México.	Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> ) Pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) Pitaya ( <i>Stenocereus thurberi</i> ) Nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) Papaya ( <i>Carica papaya</i> ).	1 - 1.2 kg	Nopal: 480 min. Papaya: 720 min Zanahoria: 780 min Pitaya: 610 min Pepino: 780 min	$\Delta T$ : 42 - 70 °C $\eta$ máx.: 33.1%	Ac: 1.4 m <sup>2</sup>

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Kerkhoff et al., 2012	Secadores indirectos con horno de biomasa e intercambiador de calor: Tipo I con biomasa y extractor. Tipo II con biomasa Tipo III sin biomasa.	Misiones, Argentina	Cebollita de verdeo ( <i>Allium fitolosun</i> )	3 kg/m <sup>2</sup> de bandeja	Tipo I: 12 hs Tipo II: 10.3 hs Tipo III: 8 hs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sin biomasa:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tipo I: <math>\eta_{m\acute{a}x\ inst\acute{a}neo} = 16.2\%</math> <math>\Delta t = 11^{\circ}C</math></li> <li>-Tipo II: <math>\eta_{m\acute{a}x\ inst\acute{a}neo} = 14.1\%</math> <math>\Delta t = 18.1</math></li> <li>-Tipo III: <math>\eta_{m\acute{a}x\ inst\acute{a}neo} = 19.5\%</math> <math>\Delta t = 12.3</math></li> </ul> </li> <li>Con biomasa:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tipo I: <math>\eta_{m\acute{a}x\ inst\acute{a}neo} = 17.3\%</math></li> <li>-Tipo II: <math>\eta_{m\acute{a}x\ inst\acute{a}neo} = 19.5\%</math></li> <li>-Tipo III: <math>\eta_{m\acute{a}x\ inst\acute{a}neo} = 25.9\%</math></li> </ul> </li> </ul> Flujo: Tipo I (con extractor eólico): 0.1 kg/seg Tipo II: 0.056 kg/seg Tipo III: 0.042 kg/seg	Ac: Tipo I: 2 x 4 m Tipo II: 2 x 8 m Tipo III: 1 x 5 m
Martínez y Condorí, 2017	Secador indirecto forzado compuesto por un sistema de dos colectores de material poroso	Salta, Argentina	Sin carga	-	-	$\bar{T}$ cámara: 52 °C $\bar{H}$ : 21% eficiencia prom: 35 % $\bar{V}$ : 1.27 m/s Flujo: 0.015 m <sup>3</sup>	Ac: 2.07 m <sup>2</sup>
Mezquitillo - Bocanegra et al., 2014.	Secador solar indirecto tipo gabinete con y sin reflectores.	Universidad	Tomate Saladette	2 kg	Jornada de 8 a 17 hs	I máx.: 940 W/m <sup>2</sup> $\Delta T$ : 35 - 55°C	Ac: 0.42 x 0.41 m
Miranda y dos Santos, 2020	Secador convectivo forzado tipo bandeja, dos configuraciones.	Minas Gerais, Brasil	Cebolla	150 gr	-	T máx.: 40 - 60°C	Volumen colector: Configuración A: 1.5 x 0.3 x 0.3 m Configuración B: 1.45 x 0.1 x 0.75 m

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Nascimento et al., 2015	Secador solar indirecto con microcontrolador arduino	Universidad Federal de Minas Gerais campus Montes Claros, Brasil.	Equipo vacío	-	Jornada entre 10 y 14 hs	T. máx: 78.69 °C Menor humedad relativa: 19.9%	-
Nunes et al., 2018	Secador solar indirecto forzado.	Universidad Federal de Campiña gande, Brasil	Banana plateada ( <i>Musa spp.</i> )	-	840 min (14 hs)	$\Delta T$ : 40 – 60 °C $\bar{I}$ : 635 W/m <sup>2</sup>	-
Nunes y Pellegrino, 2017	Secador indirecto forzado	Campina Grande, Brasil.	Banana plata ( <i>Musa spp.</i> )	Muestra: 60 – 70 gr	1200 – 1400 min	-	Ac= 1m <sup>2</sup>
Oliveros Tascón, et al. 2017	Secador solar tipo túnel A: con plástico Agroplast N como cubierta B: con malla Europlast como cubierta.	Colombia	Café variedad castillo	14 kg/m <sup>2</sup>	7 - 10 días	-	2 x 5 m por 0.9 altura máxima de la cámara de secado.
Oré García et al., 2019	Secador solar directo tipo caja con reflector usado como captador solar	Perú	Manzanas, Plátanos y piña	-	1 - 2 días	T max: 74 °C $\bar{I}$ : 960 W/m <sup>2</sup>	-
Rodriguez et al., 2015	1. Bioreactor secador solar (BSS) 2. Secador convectivo natural (SSCN)	Universidad Nacional de Sergipe, Brasil.	Residuos enriquecidos de Cajú ( <i>Anacardium Occidentale</i> )	1: 107.69 gr 2: 53.10 gr	290 min	1. $\Delta T$ : 31.9 – 45.4°C Hum. Relativa: 25 -61% 2. $\Delta T$ : 46 – 55.4°C Hum. Relativa: 10 – 38% 1. V Aire: 6 m/s	-
Souza Coelho et al., 2018	Secador solar directo con circulación forzada	Brasil	Mango var. tommy aktins	-	14 hs	$\bar{T}$ : 44.13 °C	-

**TABLA 3.**  
**Síntesis de los principales parámetros para los trabajos citados.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto	Cantidad	Tiempo de secado	Parámetros de desempeño*	Dimensiones colector **
Taco et al., 2019	Secador indirecto compuesto por 15 tubos de vacío y sistema forzado de circulación	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.	AjÍ panca	-	10.5 hs	$\bar{T}$ : 50 – 55 °C	Ac: 15 tubos de 1.80 m y diámetro 0.058 m
Téllez Margarita et al., 2019	1. Secador solar directo 2. Secado a cielo abierto.	Universidad autónoma de Campeche, México	Nuez de la india ( <i>Anacardium occidentale</i> )	Muestras 12 gr	1. 17 hs 2. 25 hs	I máx = 980 W/m <sup>2</sup> 1. T máx: 58 °C	1. Ac: 0.5 m <sup>2</sup> 2. Plástico oscuro cubierto con malla transparente
Torres et al., 2016	Secador indirecto natural con reflectores solares en el colector	México	Nopal ( <i>Opuntia ficus</i> )	-	8 hs	H retirada: 70.97%/8 horas	-

Iriarte y Bistoni, 2016 buscaron desarrollar un secador tendalero de tipo indirecto, el cual consistió en dos módulos conectados entre sí. La parte superior cumple la función de placa absorbidora y la parte inferior es la cámara de secado conteniendo las bandejas de secado. Construyeron y validaron el modelo térmico en el programa Simusol lo que les permitió posteriormente realizar el ajuste y variación de algunos parámetros como ser la forma de circulación del aire, longitudes del colector y su correlación con temperaturas máximas y eficiencias instantáneas.

Mealla-Sánchez y Morales-Olaciregui, 2018 realizaron el balance térmico y comparación de la eficiencia térmica entre 3 configuraciones distintas de secaderos pasivos, directo, indirecto y mixto. Optaron por la

construcción de los equipos en módulos acoplables para las etapas de colector, cámara de deshidratación y sistema de extracción de forma tal de poder ensamblar o desmontar las mismas dependiendo de cuál configuración de las 3 se quiera usar. Realizaron la evaluación experimental de los 3 sistemas junto a la validación computacional de los mismos a partir de mediciones de radiación y temperatura ambiente. Si bien las tres configuraciones mostraron condiciones óptimas en cuanto a temperatura y humedad para el secado de alimentos, el equipo mixto fue el que presentó un mejor comportamiento térmico, lo cual puede deberse a la gran diferencia en el área de colección.

Soglia y Sales, 2018 diseñaron mediante simulación computacional, un método de acumulación térmica solar para el secado de almendras de cacao en Brasil mediante el empleo de un sistema de concentración solar parabólica utilizando aceite mineral como fluido de transferencia, conformado por 6 espejos cuya área total fue de 0.3873 m<sup>2</sup>. La energía térmica es transferida a un tanque de acumulación a partir del cual queda disponible para el secado de granos. Todos los parámetros utilizados en la simulación fueron generados por el mismo programa, COMSOL Multiphysics, el cual fue empleado para obtener medidas geométricas a partir de las cuales continuar trabajando en la mejora del sistema en general.

Mendoza et al., 2020 partieron del planteo de la reducción de la calidad de los productos secados de manera directa como problemática, proponiendo de esta manera un deshidratador mixto (solar – eléctrico) indirecto de flujo forzado para una capacidad de 50 Kg de frutas; principalmente frutilla, manzana y durazno. Mediante el empleo del programa SolidWorks realizaron el diseño del prototipo. La incorporación de resistencias eléctricas se hizo buscando que el secado puede hacerse de manera continua, tanto durante el día como la noche, aumentado el rendimiento en cuanto a capacidad en la tasa de secado.

**TABLA 4.**  
**Síntesis de los principales parámetros para trabajos que involucraron procesos de simulación computacional.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto y cantidad	Software	Tiempo de simulación	Parámetros de rendimiento *	Flujo promedio**	Dimensiones colector***
Iriarte y Bistoni, 2016	Modelo térmico de un secador tendalero indirecto con acumulación y circulación forzada	Catamarca, Argentina	Pimiento para pimentón; 52.5 kg	Simusol	3 días de simulación	$\eta$ instantánea máx.:58.2% I máx: 1039 W/m <sup>2</sup> T máx: 75°C	0.17 – 0.18 Kg/s	Ac= 5.50 m x 1.80 m
Mealla-Sanchez y Morales-Olaciregui, 2017	Deshidratador solar: A. Mixto, B. Indirecto, C. Directo	Barranquilla, Colombia	-	Simusol	-	Mediciones: $\eta_A$ :22% $\eta_B$ :18% $\eta_C$ :1.2% Simulaciones: $\eta_A$ :44.3% $\eta_B$ :32.5% $\eta_C$ :25.5%	Mediciones: $\dot{m}_A$ :0.29 $\frac{Kg}{s+m^2}$ $\dot{m}_B$ :0.17 $\frac{Kg}{s+m^2}$ $\dot{m}_C$ :0.05 $\frac{Kg}{s+m^2}$ Simulaciones: $\dot{m}_A$ :0.25 $\frac{Kg}{s+m^2}$ $\dot{m}_B$ :0.16 $\frac{Kg}{s+m^2}$ $\dot{m}_C$ :0.09 $\frac{Kg}{s+m^2}$	$A_{cA} = 2.5 m^2$ $A_{cB} = 2 m^2$ $A_{cC} = 0.5 m^2$
Soglia y Sales, 2018	Sistema de concentración solar como forma de acumulación de energía solar térmica.	Universidad estatal de Santa Cruz - Brasil	Almendras de cacao	COMSOL Multiphysics	8 hs	I:235.72 W/m <sup>2</sup> Tmáx aceite: 60.6 °C Volumen total de aceite mineral= 11.23 litros		Ac= 0.3873 m <sup>2</sup>
García et al. 2018	Modelación de un secador solar mixto	Nuevo Colón, Boyacá, Colombia	Manzana	-	-	Qu= 250 W ncol=16.13%	-	Ac: 3 m <sup>2</sup>

**TABLA 4.**  
**Síntesis de los principales parámetros para trabajos que involucraron procesos de simulación computacional.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto y cantidad	Software	Tiempo de simulación	Parámetros de rendimiento *	Flujo promedio**	Dimensiones colector***
Torres – Gallo et al. 2017	Secador híbrido solar + biomasa con PCM como fuente de almacenamiento.	Montería, Colombia	Yuca, 5 kg	Matlab	Tiempo de secado: 16 hs y 11 min +- 18 min	T de secado: 70°C T aire con PCM: 52 ±3.46°C I= 116.22 ± 31.94 W/m <sup>2</sup> η térmica del secador= 36.72%	V aire de secado= 2 m/s	Ac de cada colector= 1.12 m <sup>2</sup>
Bistoni et al., 2017	Secador solar directo con estantes	Catamarca, Argentina	Manzana: 20kg	Simusol		T máx: 80°C I: 23.6 Mj/m <sup>2</sup>	Q: 5 m <sup>3</sup> /min	Ac:2 m <sup>2</sup>
Machado et al., 2012	Secador solar indirecto forzado	Universidad Federal de Rio Grande del Norte, Brasil.	Pseudofrutos de <i>Anacardium occidentale</i> L.	DASSL (Petzold, 1989 citado en Machado et al., 2012)	-	-	-	-
Salvo et al., 2018	Secador directo tipo caja	Salta, Argentina	Banana	SIMUSOL	38 horas	I max: 1154 W/m <sup>2</sup> R <sup>2</sup> : 0.9828	-	Ac: 0.6m <sup>2</sup>
Ramírez Sandoval et al., 2014.	Secador indirecto	México	Equipo vacío	CFD		R <sup>2</sup> : 0.9451		Longitud colector: 2 m

**TABLA 4.**  
**Síntesis de los principales parámetros para trabajos que involucraron procesos de simulación computacional.**

Autor	Tipo de tecnología	Lugar	Producto y cantidad	Software	Tiempo de simulación	Parámetros de rendimiento *	Flujo promedio**	Dimensiones colector***
Peinado Martínez et al., 2013	Secador indirecto con sistema de acumulación e intercambiador de calor.	Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, México	Chile Morrón, Tomate, Cebolla, Ajo, Manzana, Mango, Plátano, Piña, Limón. Peso total. 2227.5 gr	Trnsys	-	-	-	Ac: 1.75 x 1.05 m
Mendoza et al., 2019	Deshidratador indirecto mixto con circulación de aire forzada	Riobamba, Provincia de Chimborazo, Ecuador	Frutilla, mazana, durazno. Capacidad máxima: 50 kg	Solid Works	-	$\bar{T}$ : 50 °C	1.68 m <sup>3</sup> /s	Ac: 1m <sup>2</sup>

\* T: Temperatura; I: Radiación; #: eficiencia; Qu: Calor útil; PCM: Material de cambio de fase; R2: Coeficiente de determinación \*\* : Flujo másico; V: Velocidad; Q: caudal \*\*\* Ac: Área colector

#### 4. CONCLUSIONES

En un contexto de crisis climática, la transición hacia alternativas productivas y tecnológicas que minimicen el impacto sobre el medio ambiente y la emisión de gases de efecto invernadero está en aumento, en dicho contexto el uso de la energía solar térmica se vuelve estratégica, la cual además de ser “ambientalmente amigable” se convierte en una alternativa productiva donde la mención de su utilización puede aparecer como una estrategia de marketing en sí.

Se realizó una revisión bibliográfica latinoamericana referida a la aplicación del secado solar como método de conservación de frutas y hortalizas. Numerosos trabajos en el área fueron encontrados seleccionándose un total de 51 artículos que fueron agrupados en 9 líneas de trabajo. Dentro de dichas líneas, fueron clasificados en una misma categoría, aquellos estudios orientados a la viabilidad del proceso dentro de una determinada región de aplicación, aspecto importante si se tiene en cuenta que la forma de aplicar la deshidratación solar será específica a las condiciones climáticas predominantes del lugar, al tipo de tecnología seleccionada, a los materiales empleados en su construcción, al tipo y finalidad del producto, entre otros aspectos.

Por otro lado, algunos autores se han dedicado al estudio de la utilización de determinados materiales en la construcción de equipos, principalmente recuperados y/o reciclados, y su influencia en la eficiencia de las tecnologías. Dichos estudios están orientados a que los costos de la construcción y aplicación de secadores solares sean económicos y accesibles, especialmente para productores de pequeña y mediana envergadura o aquellos que puedan llegar a estar en áreas aisladas y sin acceso a fuentes de energía convencionales.

Cuando el destino de la producción es pensado con fines comerciales, o cuando el caudal de la materia prima es abundante y urge su rápido procesamiento debido a la alta caducidad de las frutas y hortalizas, numerosos investigadores se han dedicado a tratar de hallar mecanismos que mejoren la eficiencia del proceso, focalizados en las desventajas del mismo, buscando el desarrollo de alternativas que pueda realmente competir con sistemas a base de energías convencionales en cuanto al tiempo y calidad final de secado. El principal desafío identificado entre los numerosos estudios, y sobre el cual si bien aún hay múltiples alternativas ninguna ha sido replicada, es el lograr un sistema de secado que funcione de manera continua, es decir generar una propuesta tecnológica, principalmente solar, que permita continuar con el proceso de secado tanto cuando las condiciones no son óptimas durante el día, como durante la noche. En esta área investigativa, es común a los distintos autores, el estudio e incorporación de sistemas de acumulación de calor.

Finalmente, fue posible agrupar trabajos que se dedican a estudiar propuestas que mejoren el sistema de secado de manera general, habiendo quienes realizan la experimentación mediante la construcción de prototipos de manera directa y quienes optan por la utilización en primera instancia de modelos térmicos computacionales que permitan prever de qué manera pueden influir la incorporación de determinadas modificaciones sobre la eficiencia de los equipos. Dichos modelos permiten el ahorro de recursos y tiempo, sin embargo, para que estos sean aplicables de manera óptima, deben ser previamente validados experimentalmente.

Del presente trabajo, se concluye que el secado solar es viable de ser aplicado en múltiples lugares de Latinoamérica con condiciones climáticas muy diversas, para escalas de producción amplias y numerosos tipos de productos frutihortícolas; citado como de gran importancia en un contexto de cambio climático, donde el uso de energías renovables es de interés en casi todos los ámbitos de la vida moderna. Se observó sin embargo que los artículos siguen siendo estudios de caso muy puntuales y que, si bien el método de deshidratación solar es de larga data, aún no se observa ningún tipo de estandarización tecnológica a diferencia de otros tipos de sistemas de aprovechamiento solar como por ejemplo el caso de los calefones solar.

Por último, se considera que mediante una mayor interacción entre los distintos investigadores sería interesante el obtener parámetros de diseño generalizados que puedan ser aplicados por cualquier persona independientemente de donde se pretenda realizar la experiencia a partir de la obtención de correlaciones como por ejemplo: radiación incidente, área de colección y potencia térmica entregada; potencia térmica entregada por el equipo, impacto sobre las propiedades psicométricas del aire y capacidad de evaporación de agua; producto a ser secado y tipo de tecnología; cantidad de producto, potencia térmica necesaria y tiempo de secado; entre otras. En síntesis, obtener parámetros de diseño generalizados y transferibles.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Almeida I. B., Lima M. A. A., y Souza L. G. M. (2016). Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável. *Holos*, 4, 197-205. DOI: 10.15628/holos.2016.2477.
- Alves N. M. C., de Oliveira Rodrigues J., Silva T. A. A., Galle N. B. C., da Cruz Salina T. H., da Silva Moura A., da Silva K. L. M y de Almeida Borges C. J. (2020). Performance of solar dryer with thermal energy storage in brazilian cerrado region. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 64220-64235. DOI:10.34117/bjdv6n9-016
- Alves R. A., Queiroz A. J. D. M., de Figueirêdo R. M., Silva W. P. D., y Gomes J. P. (2019). Solar drying of cowpea bean combined with drying in a heat accumulator dryer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 709-715. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p709-715>
- Andión-Torres, R., Suárez-Rodríguez, J. A., & Bergues-Ricardo, C. C. (2012). Evaluación experimental de un secador solar tipo Gabinete para el secado de hollejo de naranja. *Tecnología Química*, 32(2), 223-233.
- Araújo, C. V. M., Varella, F. K. D. O. M., y Vale, M. R. B. G. (2021). Construção de secador solar no semiárido nordestino utilizando materiais recicláveis. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 12(1), 21-30.
- Bistoni S., Iriarte A., Fagonde V., y Rodriguez M. I. (2015). Secadero solar con estantes. *Revista del CIZAS*, 16(1-2), 22-34.
- Cabrera Escobar J., Cabrera Escobar R., Guamán Lozada D., Cajamarca Carrasco D., Carrera Oña G., (2019). Design of an Indirect Solar Dehydrator of Fruits by Forced Convection. *European Scientific Journal* Vol 15, No18.
- Camacho-Martínez H. A., Antonio-Gordillo D. M., Robles-Ocampo J. B. y Sevilla-Camacho P. J. (2019). Deshidratador solar híbrido para el secado de plátano. *Revista de Sistemas Experimentales*, Vol.6 No.21 26 - 33.
- Campañone L. A., Mackeprang M., y Paola C. A. (2013). Aplicación de Energía Solar combinada con Microondas para la deshidratación de frutas y vegetales. In VII Congreso de Medio Ambiente.
- Castillo Téllez M., Castillo Téllez B., de Jesús May O. y Marzoug R. (2021). Secado solar y conservación de alimentos. *Revista Ecofronteras*, Vol. 25, núm. 73, pp. 24-27.
- Castillo Téllez M., Ovando Sierra J. C., Lezama Zárraga F. y Mez Álvarez D. C. (2019). Nut drying of India cultivated in Campeche, México through direct solar technologies and under controlled conditions. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, 60-69.
- Cruz I. G., Sauad J. J. y Condorí, M. Á. (2012). El deshidratado de los frutos de algarroba (*Prosopis alba*): análisis comparativo entre secador solar y métodos tradicionales del NOA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- Da Costa Santos D., De Melo Queiroz A. J., De Figueirêdo R. M. y De Oliveira E. N. A. (2014). Drying of residual grains of annatto in a heat accumulator dryer combined with drying in a solar dryer. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 32(2). (1)
- Da Costa Santos D., De Melo Queiroz A. J., De Figueirêdo R. M. y De Oliveira E. N. A. (2014). Secagem solar de grãos residuais e farinha de grãos residuais de urucum. *Biosci. j.(Online)*, 436-446. (2)
- da Silva Bontempo L. H., Castejon L. V. y dos Santos K. G. (2020). Secagem da casca de tangerina: cinética e desempenho do secador solar convectivo. *Research, Society and Development*, 9(6), e44963458-e44963458.
- da Silveira N. H., de Andrade Silva G. V., Pereira F. K., y Silva A. S. A. (2015). Secagem solar de coentro: efeito de pré-tratamentos e do processo sobre, os aspectos físicos-químicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10(4), 33.
- de Andrade Gomes Í., Medeiros P. G. P. y Grilo M. B. (2018). SECADOR SOLAR DE FRUTAS: ANÁLISE DE DOIS SISTEMAS. In VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018.
- FAO (2011) Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Düsseldorf, Alemania.
- FAO (2004). Conservación de Frutas y Hortalizas Mediante Tecnologías Combinadas.
- Finck-Pastrana, A. G. (2014). Nopal (*opuntia lasiacantha*) drying using an indirect solar dryer. *Energy Procedia*, 57, 2984-2993.

- Fonseca-Fonseca S., Andi6n-Torres R., Pacheco-Busquets O., Torres-Ten A., y Zen6n-Cobi6n F. (2019). Dise1o, construcci6n y evaluaci6n sin carga de un prototipo de secador solar para el secado de Anam6. *Tecnolog1a Qu1mica*, 39(1), 158-168.
- Garc1a L. E., Mej1a M. F., Mej1a D. J., y Valencia C. A. (2012). Dise1o y construcci6n de un deshidratador solar de frutos tropicales. *Avances: Investigaci6n en Ingenier1a*, 9(2), 09-19.
- Garc1a P., Leon J., Cardenas L. y Giraldo J. F. (2018). Modelado num6rico del proceso de secado solar de manzanas en el municipio de Nuevo Col6n-Boyac6. *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, no. 1, pp. 201-208. Doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018019>
- Garc1a V., Iriarte A. A., Justinovich S., Angel L., y Heredia, T. (2015). Secadero solar forzado para productos agr1colas. *Avances en Energ1as Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 19, pp. 02.21 - 02.28.
- Guevara Blanco A. R. y Sabas Segura J. (2017). Dise1o y construcci6n de un deshidratador solar para fresa. *Quinto encuentro de j6venes investigadores*. Vol. 3.
- Guti6rrez C., Herrera M., Mansilla F. E., y Sisca, N. (2012). Secadero Solar Indirecto de Circulaci6n Natural, Para Hierbas Arom6ticas, Frutas y Verduras en la Ciudad de Pico Truncado. *Avances en Energ1as Renovables y Medio Ambiente*, 12, 02-01.
- Hern6ndez-G6mez V., Olvera-Garc1a O., Guzm6n-Tinajero P., y Morill6n-G6lvez D. (2017). Secado de frutas y verduras con energ1a solar. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(11), 22-33.
- Hern6ndez-Rodr1guez J., Quinto-Diez P., Aguilar-Aguilar, J. O., Barbosa-Pool G. R., Razo-P6rez, W. R., y Toledo-Velazquez M. (2019). Secado solar de chicozapote (Manilkara zapota). *Cient1fica*, 23(2), 135-139.
- Hern6ndez-Rodr1guez J., Quinto-Diez P., Barbosa Pool G. R., y Aguilar-Aguilar, J. O. (2017). Secado solar de frutas y verduras en Quintana Roo, M6xico. *Revista Iberoamericana de Tecnolog1a Postcosecha*, 18(1), 1-8.
- Hern6ndez R, J., Mart1nez V, O., Quinto D, P., Cuevas D, J., Acosta O, R., y Aguilar, J. O. (2010). Secado de chile habanero con energ1a solar. *Revista Iberoamericana de Tecnolog1a Postcosecha*, 10(2), 120-127.
- Iriarte A., y Bistoni S. (2018). Secado de manzana en secadero t6nel de laboratorio y en secadero solar en convecci6n natural. *Avances en Energ1as Renovables y Medio Ambiente*, 22.
- Iriarte A., y Bistoni S. (2016). Dise1o y simulaci6n de un secadero solar doble paso para productos especiales. *Avances en Energ1as Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 20, 1-11.
- Kerkhoff A. J., Senn J., Condori M. A., y Mantulak M. J. (2012). Caracterizaci6n de tres deshidratadores solares-h1bridos en misiones, determinaci6n de rendimientos. *Sal6o do Conhecimento*.
- Machado A. V., de Oliveira E. L., de Oliveira J. A., Souza D. F. S. y de Freitas L. M. (2012). Modelagem e simulaci6o da secagem solar do ped6nculo de caju. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustent6vel*, 7(3), 18.
- Mart1nez C. C. y Condori M. A. (2017) Construcci6n de un secador solar con colector de matriz porosa. Mediciones de su eficiencia t6rmica. XXIV Simposio Peruano de Energ1a Solar y del Ambiente, Huaras.
- Mealla-S6nchez L. E., & Morales-Olaciregui J. D. (2018). Evaluaci6n del comportamiento t6rmico de secadores solares en r6gimen pasivo. *Tecnol6gicas*, 21(41), 29-44.
- Mendoza J., Insuasti R., Barrera O., y Navarro M. (2020). Dise1o y Simulaci6n de un Deshidratador Mixto Indirecto de Frutas/Design and simulation of an Indirect Mixed Fruit Dehydrator. *KnE Engineering*, 107-124.
- Miranda S. A., y dos Santos K. (2020). Produ6o de cebola desidratada em secador solar convectivo de bandeja. *Universidade Federal do Tri6ngulo Mineiro*. DOI: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v5i2.3345>
- Moreno C., Curzel H., Mariconda L. y Marisa B. (2008). Secado solar, valor agregado para peque1os productores de or6gano en el alto valle del r1o negro, Argentina. *Revista Iberoamericana de Tecnolog1a Postcosecha Vol 15 (1):106-114*
- Nascimento A. L. A., da Silva L. C. R., Santos M. A., Pereira S., Chauca M. N. C. y Brandi I. V. (2015). Desenvolvimento de desidratador solar de alimentos com sistema de aquisi6o de dados em plataforma arduino. *Caderno de ci6ncias agr6rias*, 7(2), 29-34.
- Nunes A. G., y Pellegrino N. S. L. (2017). Tecnologias Sustent6veis: Desenvolvimento de um Secador Solar para Secagem de Frutas. *Revista Espacios*, 38(53), 9.

- Nunes A. G., Grilo M. B., Sales A. Q., Ribeiro B. F., de Castro Nascimento C. Á., y Maia, J. E. F. (2018). Secador Solar Usado na Secagem de Banana. In VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018.
- Oliveros Tascón C. E., Ramirez Gómez C. A., Tibaduiza Vianchá C. A., y Sanz Uribe J. R. (2017). Construcción de secadores solares tipo túnel con nuevos materiales. Gerencia Técnica. Programa de Investigación Científica. Fondo Nacional del Café.
- Oré García J., Janama Quispe K., Cerón Balboa O., Morales Morales O. y Pérez Sáez J. F. (2019) Snak Solar. XXVI Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, Ayacucho.
- Peinado-Martínez J. L., Vidal Herrera R., y Fernández, J. A. G. (2013). Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 10(50), 99-107.
- Recio Colmenares R. B., Recio Colmenares C. L., y Pilatowsky Figueroa I. (2019). Estudio experimental de la deshidratación de tomate verde (*Pysalis ixocarpa* brot) utilizando un secador solar de tipo directo. BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS, 17(1), 76-86.
- Ramírez Sandoval S. A., Gutiérrez Sánchez H. C., Solório Díaz G., Galván González S. R., Mendoza Covarrubias C., y López López Garza V. (2014). Modeling and experimental studies on an indirect type natural convection solar food-dryer. In 2014 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (pp. 1-6). IEEE.
- Rodrigues S. G., Santos D. S., Lima F. D. C., Silva G. F. y Monteiro L. F. (2015). Estudo da secagem solar de resíduos enriquecidos de caju. Anais do VII SIMPROD.
- Salvo A., Dellicompagni P., Sarmiento N., Franco J. y Echazú R. (2018). Simulación y validación de un secadero solar directo pasivo mediante simusol. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 22, 73-83.
- Souza Coelho B. E., Ferreira Moraes Da Silva L., Da Silva Santana Novaes M., Dos Santos Melo de Sousa K., y Silva Machado N. (2018). Cinética de secagem da manga “tommy aktins” em secador solar de baixo custo e com convecção forçada de ar. In Anais do 5º Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia-CONTECC, Anais do 5º Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió-AL.
- Soglia L., y Sales J. (2018) Painel solar para auxílio do secador cilíndrico.
- Taco A. P., Tejada E. P., Falcón V. C. y Calla J. C. G. (2019) Secado del aji panca en un secado solar fotovoltaico de tubos al vacío. XXVI Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, Ayacucho.
- Torres J., Hernández O., Arce G. y Vizuet J. (2016). Secado de nopal (*Opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. Revista De Energía Química Y Física, 3(6), 39-46.
- Torres-Gallo R., Miranda-Lugo P. J., y Martínez-Padilla K. A. (2017). Design and construction of a hybrid system of heating air by combustion of biomass and solar radiation, using phase change material (PCM) as a source of thermal storage, for cassava drying. *TecnoLógicas*, 20(39), 71-83.
- Valencia Alonso M. (2014). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador solar para el proceso de secado de tomate.
- Vieira J. C., Viana V. y Figueiredo R. (2016). Controle de temperatura do secador com incidência solar indireta utilizando micro controlador de baixo custo. Semana de Pesquisa e Extensão da Universidade Tiradentes-SEMPESq-SEMEX, (18).
- Yahia E. M. & Flores R. A. (2001). Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza.