



**5<sup>to</sup> ConSyCSA**  
Congreso Iberoamericano de Secado, Cocción y Refrigeración Solar de Alimentos



**ASEERCA**

# **CONGRESO IBEROAMERICANO DE SECADO, COCCIÓN Y REFRIGERACIÓN SOLAR 2024**

**Contribuciones Científicas en Energía Solar y  
Procesamiento de Alimentos**

**Zacatecas, Zac., noviembre 2024**



## Presentación

### **Comer es una necesidad, pero comer de forma inteligente es un arte**

Francisco VI, duque de La Rochefoucauld

### **Tripa vacía, corazón sin alegría.**

Anónimo

De acuerdo al informe de Naciones Unidas entre 713 y 757 millones de personas pasaron hambre en 2023 (1 de cada 11 personas en el mundo) y el 28.9% de la población mundial, unos 2300 millones de personas, se enfrentan a una inseguridad alimentaria moderada o grave, cifra que no ha variado en los últimos 3 años. A pesar de algunas mejoras desde el punto álgido del COVID hay importantes disparidades regionales, siendo África la más afectadas con un 20.4% de la población con hambre, y se tienen cifras similares para algunas regiones rurales de países en desarrollo. Cerca de 2.7 millones de niños mueren al año por desnutrición.

Las previsiones del último años muestran que seguramente no se alcanzará el objetivo de Desarrollo Sostenible del Hambre Cero (ODS 2) en el 2030.

La seguridad alimentaria implica disponibilidad de alimentos suficientes, inocuos y con valor nutricional. Para mejorarla es necesario promover el aumento en la producción agrícola, garantizar la cosecha y el almacenamiento de los alimentos con un mínimo de pérdidas posibles.

En México en 2022, 46.8 millones viven en situación de pobreza (36.3% de la población) y 9.1 millones en pobreza extrema. Paradójicamente en México se pierde el 32.8 % de la producción nacional de alimentos, suficiente para alimentar a una población de 7.4 millones de habitantes en pobreza extrema y vulnerabilidad alimentaria. Estos desperdicios generan adicionalmente emisiones de gases de efecto invernadero que equivalen al CO2 que producen 15.7 millones de autos. Para esta producción de alimentos que se desperdicia, se requieren de 40 billones de litros de agua, que es equivalente a lo que consumimos todos los mexicanos durante 2.4 años.

México cuenta con importantes fuentes de energías renovables destacando en particular la solar. Siendo uno de los países con mayor potencial en el mundo, con una irradiación solar promedio de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>día, la cual se puede transformar en calor y en electricidad.

La problemática alimentaria requiere de soluciones que resuelvan de manera integral el acceso a los alimentos en calidad y cantidad. La preservación de alimentos forma parte de una bien estructurada cadena alimentaria, en donde la refrigeración, el secado y la cocción son tecnologías que contribuyen a la seguridad y al abasto alimentario. La integración de la energía termosolar y fotovoltaica en estos procesos, permite obtener un substancial ahorro de energía y un mínimo impacto ambiental, coadyuvando al desarrollo económico y social de las zonas rurales.

Zacatecas, Zac. noviembre, 2024



El procesamiento solar de alimentos, que incluye el deshidratado para su conservación, y la imprescindible cocción de algunos de ellos para hacerlos comestibles (como las leguminosas, las gramíneas, los tubérculos, las carnes), así como la refrigeración solar ofrecen una inmejorable oportunidad para remediar muchos de los graves problemas que enfrentamos de salud e inseguridad alimentaria, así como lograr la soberanía energética y el cuidado del medio ambiente.

Además de lo anterior, la refrigeración, la cocción y el secado solar pueden contribuir significativamente a alcanzar todos los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para enfrentar el cambio climático, que hoy en día, es el tema más importante en la agenda mundial.

El 5to Congreso Iberoamericano de Secado, Cocción y Refrigeración Solar de Alimentos constituye una respuesta desde la academia y la sociedad organizada, a los retos que plantean, como son la necesidad de mitigar y prevenir los innegables efectos del cambio climático, reducir la pobreza energética, la desigualdad social, y sobre todo, en la búsqueda de una mejora significativa en la calidad de vida y la salud pública consecuencias de una mejor alimentación. En éste evento se contará con una amplia participación nacional e internacional para abordar tanto los temas tecnológicos como socioeconómicos, ambientales y de bienestar social.

¡En nombre de la Asociación de Especialistas en Energías Renovables para la Conservación de Alimentos (ASEERCA) reciban una cordial bienvenida!

**Dr. Octavio García Valladares**

*Presidente*

*Asociación de Especialistas en Energías Renovables para la Conservación de Alimentos*

Zacatecas, Zac. noviembre, 2024



## Mensaje del Presidente del Congreso

Como presidente del 5º Congreso Iberoamericano de Secado, Cocción y Refrigeración Solar de Alimentos (ConSyCSA), me complace presentar las memorias de un evento que marcó un hito en nuestra continua exploración de las energías renovables y su aplicación en la conservación de alimentos. A lo largo de esta edición, tuvimos el privilegio de acoger a más de 150 participantes, tanto de forma presencial como virtual, provenientes de diversas regiones de México y de países como Argentina, Brasil, Colombia, España, Portugal y Uruguay.

Este año introdujimos importantes innovaciones, incluyendo un curso pionero sobre calidad e inocuidad de alimentos deshidratados y la realización de nuestra primera feria del congreso en donde se expusieron productos con valor agregado deshidratados mediante energía solar. Estas novedades atrajeron a una diversidad de especialistas y productores agrícolas, enriqueciendo así el diálogo y la colaboración entre diferentes sectores.

Los cursos ofrecidos destacaron por su enfoque práctico, aprovechando las instalaciones de la Planta Termosolar de secado de Zacatecas y del Laboratorio de Análisis Sensoriales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Zacatecas. La profundidad y relevancia de los temas tratados se vieron fortalecidos por la presencia de distinguidos conferencistas magistrales, cuyas contribuciones proporcionaron nuevas perspectivas sobre los desafíos y oportunidades en nuestra área de estudio.

Uno de los puntos culminantes del congreso fue el conversatorio con los líderes de cuatro proyectos PRONAI, financiados por CONAHCYT, enfocados en el secado de alimentos. Esta discusión no solo resaltó la relevancia de la tecnología solar en la conservación de alimentos sino también exploró los desafíos de su implementación desde una perspectiva social, interinstitucional y de mercado.

En el ámbito social, disfrutamos de memorables eventos culturales, como la actuación de la Banda Sinfónica Juvenil de Guadalupe y la tradicional callejoneada de Zacatecas, que ofrecieron a todos los asistentes una experiencia cultural rica y envolvente. Además, realizamos un homenaje muy especial al Dr. Isaac Pilatowsky, cuya influencia en el campo del secado solar en México ha sido profundamente significativa.

Al cerrar este congreso, nos sentimos satisfechos y optimistas, esperando que las interacciones y el conocimiento compartido durante estos días inspiren nuevas investigaciones, proyectos y colaboraciones. Esperamos con entusiasmo el próximo encuentro para el año 2025, donde continuaremos fortaleciendo nuestra comunidad y expandiendo los horizontes de la conservación de alimentos mediante tecnologías solares.

Gracias a todos los que participaron y contribuyeron a hacer de este congreso un éxito. Su pasión y compromiso son la clave para nuestro progreso común. ¡Hasta nuestro próximo encuentro!

*M.I.E. Néstor Manuel Ortiz Rodríguez*  
*Presidente del ConSyCSA 2024*

Zacatecas, Zac. noviembre, 2024

## COMITÉ ORGANIZADOR

### COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL

Presidenta del comité  
Dra. Blanca Isabel Sánchez Toledano  
INIFAP-Campo Experimental Zacatecas

Mtro. Rodrigo Cervando Villegas Martínez  
Mtro. Ethson Uriel Carrera Arellano  
Dra. Lourdes Olivan Tiscareño  
Dra. María Argelia López Luna  
Dr. Juan Manuel García  
Universidad Autónoma de Zacatecas

Dr. Nicolás Morales Carrillo  
Universidad Autónoma Chapingo

Dra. Silvia Xochilt Almeraya Quintero  
Colegio de Postgraduados

Dra. Mercedes Borja Bravo  
Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez  
INIFAP Campo Experimental Pabellón

Delia Aréchiga Valenzuela  
Teresa Muñoz Escobedo  
Mtra. Mayra Mayra Denise Herrera  
Dr. Juan José Figueroa González  
Dr. Miguel Servín Palestina  
Dr. Luis Roberto Reveles Torres  
Mitzy González Calva



### COMITÉ ORGANIZADOR ASSERCA

Presidente  
Mtro. Néstor Manuel Ortiz Rodríguez  
Planta Termosolar de Deshidratado de  
Productos Agrícolas

Dr. Erick César López Vidaña  
Centro de Investigación en Materiales  
Avanzados S.C.

Dra. Beatriz Castillo Téllez  
Dr. Jesús Águila León  
Centro Universitario de Tonalá

Dra. Margarita Castillo Téllez  
Universidad Autónoma de Campeche

Dr. Octavio García Valladares  
Dr. Alfredo Domínguez Niño  
Instituto de Energías Renovables - UNAM

## COMITÉ TÉCNICO-EVALUADOR

M.G. José Israel Casas Flores  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dra. Margarita Castillo Téllez  
Profesora Investigadora  
Universidad Autónoma de Campeche

M.C. Valentín Melero Meraz  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dra. Nadiezhda Yakovleva Zitz Ramírez  
Cabral  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dr. Ángel Tlatelpa Becerro  
Profesor-investigador  
Universidad Autónoma de Morelos

Dra. Blanca Isabel Sánchez Toledano  
Profesor-investigador  
INIFAP

Mtra. Diana C. Mex Álvarez  
Profesora-investigadora  
Universidad Autónoma de Campeche

Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dr. Rachid Marzoug  
Profesor-investigador  
CuNorte. Universidad De Guadalajara

Dra. Mercedes Borja Bravo  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dra. Ana Rosa García Angelmo  
Profesora-investigadora  
Universidad Autónoma de Guerrero

Dr. Alfonso Serna Pérez  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dr. José Antonio Rubio González  
Profesor-investigador  
Cutonalá. Universidad De Guadalajara

Dra. Raquel Karina Cruz Bravo  
Profesor-investigador  
INIFAP

Dr. José Camilo Jiménez García  
Profesor-investigador  
IER. UNAM

Dr. Wilfrido Rivera  
Profesor-investigador  
IER. UNAM

Prof. Antonio Lecuona Neumann  
Profesor - Investigador  
Universidad Carlos III, de España

Dr. Jesús Águila León  
Profesor-investigador  
Depto de Estudios del Agua y la  
Energía. Cutonalá. U de Guadalajara

Dra. Luz Ma. Hernández Cruz  
Profesora Investigadora  
Universidad Autónoma de Campeche

Dr. Miguel Ángel Córdori Catorceno  
Profesor-investigador  
Instituto de Inv. en Energía no  
Convencional- B. Aires, Argentina

Dr. Mario Nájera Trejo  
Profesor-investigador  
Centro de Investigación en Materiales  
Avanzados

Dr. José Gervasio Partida Sedas  
Profesor-investigador  
Centro Regional Oriente-Universidad  
Autónoma Chapingo

Dr. Cesar Efrain Rivasplata Cabanillas  
Profesor-investigador  
Universidad Nacional Jorge Basadre  
Grohmann

M.C. Carolina Livier Recio Colmenares  
Profesor-investigador  
CuTonalá - Universidad De Guadalajara

Mtro. Raúl Quiroz Martínez  
Profesor - Investigador  
Cunorte. Universidad De Guadalajara

Mtro. Julio Gutiérrez González  
Profesor Investigador  
Universidad Autónoma de Campeche

Mtro. César Augusto Rodríguez Arias  
Profesor - Investigador  
Cunorte. Universidad De Guadalajara

Ing. Ana Lilia César Munguía  
Profesor-investigador  
IER. UNAM

Prof. Celestino Rodrigues Ruivo  
Profesor - Investigador  
Universidad de Algarve, de Portugal

# Estudio experimental de secado de pescado en un secador solar tipo invernadero

Margarita Castillo Téllez<sup>a</sup>, Diana C. Mex Álvarez<sup>a</sup>, Luz M. Hernández Cruz<sup>a</sup>, Rachid Marzoug<sup>b\*</sup>, Juan Carlos Percino Picazo<sup>a</sup>, Alfredo Domínguez Niño<sup>c</sup>, Alfonso Lorenzo Flores<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México

<sup>b</sup>Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. Jalisco, México

<sup>c</sup>Instituto de Energías Renovables, UNAM. Morelos, México

\*Beatriz Castillo Téllez: [beatriz.castillo@academicos.udg.mx](mailto:beatriz.castillo@academicos.udg.mx)

## Resumen

México presenta un gran potencial para el desarrollo de la pesca. Ocupa a nivel mundial el 17° lugar en producción pesquera y el 24° en acuicultura, el 3° en pulpo, el 7° en camarón y sardina. Con el propósito de contribuir al fortalecimiento de la competitividad de la pesca y la acuicultura mexicana, consideradas como sector estratégico para la producción de alimentos y coadyuvar al bienestar social comunitarios ofreciendo servicios basados en la utilización de la energía solar, se propone el estudio experimental del secado de pescado de bajo valor comercial en un secador solar tipo invernadero, realizado en un secador solar de productos pesqueros construido para su integración en las zonas rurales. Se presentan en este trabajo las cinéticas de secado, contenido de humedad, velocidad de secado y colorimetría, así como la correlación del control del proceso con la caracterización térmica del secador solar. El proceso de secado tuvo una duración de procesamiento con energía solar de 620 minutos continuos. El contenido de humedad inicial fue de 90, en contraste la humedad final, fue de 22.3 %. En cuanto a la colorimetría, de acuerdo con los resultados obtenidos se aprecia una importante diferencia de color del pescado deshidratado con respecto al alimento fresco. El experimento se realizó en la ciudad de Campeche, Campeche, México, en un clima tropical subhúmedo y monzónico, con coordenadas 19°50'41"N 90°32'23"O / 19.844814166667, -90.539649166667.

**Palabras clave:** secado solar, cinéticas de secado, secado solar tipo invernadero.

## Introducción

El secado es un fenómeno complejo que involucra la transferencia de calor y materia (el transporte de calor hacia dentro del material y el transporte de agua hacia el exterior del material). Existen muchos mecanismos posibles de secado, pero aquellos que controlan el secado de una partícula dependen de su estructura y de los parámetros de secado-condiciones de secado (temperatura, velocidad y humedad relativa del aire), contenido de humedad, dimensiones, superficie expuesta, y contenido de humedad de equilibrio de la partícula. (Millán, 2015).

Los secadores solares son una alternativa para locaciones donde se encuentra una alta radiación solar (Pangavhane, Sawhney, & Sarsavadia, 2002). La tecnología de secado solar ayuda a superar los principales problemas, como el rápido aumento de precios de los combustibles fósiles y la contaminación ambiental. Los secadores solares utilizan la energía del sol para eliminar la humedad excesiva de los productos y ofrecen una amplia gama de ventajas como calidad superior de los productos secos, proceso rápido, pérdidas reducidas, control sobre el proceso y bajos requisitos de espacio en el piso.

En los alimentos al reducir el contenido de humedad se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan otras reacciones de deterioro (Doymaz & Pala, 2003). Por otra parte, se reducen su volumen y su peso, lo cual disminuye los costos de empaque y transporte, además el almacenamiento puede ser a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo (Jayaraman & Das Gupta, 1995). Estos fenómenos se producen al secar los alimentos, el cual es un proceso que implica fundamentalmente los conceptos de contenido de humedad y contenido de humedad en el equilibrio.

El sector pesquero y acuícola es fundamental para la generación de alimentos y su contribución a la economía nacional es muy relevante ya que sus actividades fortalecen la soberanía alimentaria y territorial. Los productos pesqueros son alimentos de muy alta calidad y accesibles para satisfacer la demanda nacional y promueven una mayor oferta a los mercados nacionales e internacionales.

En México, se pierde el 54% de pescados y mariscos capturados por diversas razones como procesos de distribución obsoletos, falta de infraestructura en la cadena de suministros, carencia de vehículos apropiados, malas prácticas de comercialización, falta de capacitación del personal para la conservación y manejo de productos (FAO, 2009; SEDESOL, 2018).

En el presente artículo se presenta el estudio del secado solar de pescado en un secador solar tipo invernadero, en apego a la fundamentación del proyecto de creación de una Planta Comunitaria de Secado Solar de productos marinos para su integración en las zonas

Rurales pesqueras.

### Agradecimientos:

Los autores agradecen al CONAHCyT por el apoyo al proyecto PRONAH 319524: "Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales"

## Materiales y métodos

El pescado fresco se compró en el puerto de abrigo de Lerma, Campeche, lugar donde arriban los pescadores al regresar del mar. Para iniciar el proceso de secado el pescado se lavó, descamó y fileteó, esto con fin de poder iniciar el proceso de deshidratado, teniendo en cuenta los factores físicos que influyen en el secado solar tales como el tamaño y el grosor del filete. Se controló el porcentaje de humedad, actividad del agua ( $A_w$ ) y colorimetría en fresco y seco. Se deshidrató filete de pescado y residuo de pescado, este último pasó primero a un proceso de cocción antes de introducirlo al secador. Finalmente se procedió a introducir las muestras al secador solar tipo invernadero como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Disposición del filete de pescado en el secador solar tipo invernadero. Foto de autor.

### *Secador solar tipo invernadero*

El deshidratador solar es del tipo invernadero y se diseñó y construyó para deshidratar productos pesqueros y está conformado por una nave curva con dimensiones de 9m de largo x 6m de ancho y 2.5 m en la parte más alta del domo, contando con un área en su base de aproximadamente 54 m<sup>2</sup>. Se le acopló un sistema de inyección de aire proveniente de 15 colectores solares de aire y un termotanque con resistencias eléctricas. Todos los sistemas eléctricos están alimentados por un campo de paneles fotovoltaicos. En la figura 2 se muestra la planta de secado solar con los sistemas de apoyo integrados.



Figura 2. Planta de secado solar tipo invernadero. Foto de autor.

## Monitoreo del proceso de secado

### *Analizador de Humedad*

Para la determinación de la humedad se utilizó un analizador de humedad, marca Boeco modelo BMA 150, con una precisión de  $\pm 0.01\%$  mg. Se tomó una pequeña muestra del filete de pescado, se dividió en pequeñas partes y se colocó una muestra de aproximadamente 3.0 g dentro del equipo.

### *Medidor de actividad de agua (aw)*

Se determinó la actividad de agua para el filete de pescado y posteriormente para la seca. Se utilizó un equipo marca Rotronic Hygropalm de tipo portátil, con una precisión de  $\pm 0.01\%$  mg.

### *Balanza de precisión*

El seguimiento de la pérdida de peso en las muestras analizadas es importante para determinar la cinética de secado. Se utilizó una balanza digital de alta precisión marca Boeco modelo BPS 40 plus.

### *Estación meteorológica*

Se tomaron parámetros climatológicos de la estación meteorológica instalada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche.

### *Monitoreo de temperaturas*

El monitoreo se toma mediante sensores de temperatura y pesaje conectados a un Arduino, el cual recolectara datos durante todo el proceso de secado de manera autónoma, como se ve a continuación en la Figura 3.



Figura 3. Caja de instrumentación del sistema autónomo. Foto de autor.

## Resultados experimentales

### Influencia del clima en el proceso de secado

La gráfica de la figura 4, corresponde al 21 de septiembre del 2024. Se muestra los datos de irradiancia y temperatura ambiente registradas durante el primer día de secado solar, se puede apreciar que se obtuvo una irradiancia solar máxima de  $950 \text{ W/m}^2$ , cabe mencionar que durante el tiempo transcurrido se presentó una leve precipitación entre las 9:40 am a 10:20 am y una nubosidad intermitente durante las 3:00 pm, con esto podemos apreciar que el secado solar depende mucho de la intermitencia solar.

Zacatecas, Zacatecas, México del 4 al 8 de noviembre



Figura 4. Irradiación y temperatura durante el proceso de secado solar

### Cinética de secado

#### *Contenido de humedad y velocidad de secado de residuos de pescado*

En la figura 5 se puede observar que el secado de residuos de pescado se llevó a cabo durante 780 minutos. La prueba experimental comenzó a las 9:30 h y terminó a las 16:30 del primer día y el segundo día comenzó a las 10:20 y el experimento concluyó a las 15:00 h, lo que representa 13 horas de secado continuo. El contenido de humedad inicial fue de 1.17 g agua/g materia seca, en contraste la humedad final fue de 0.16 g agua/ m seca.

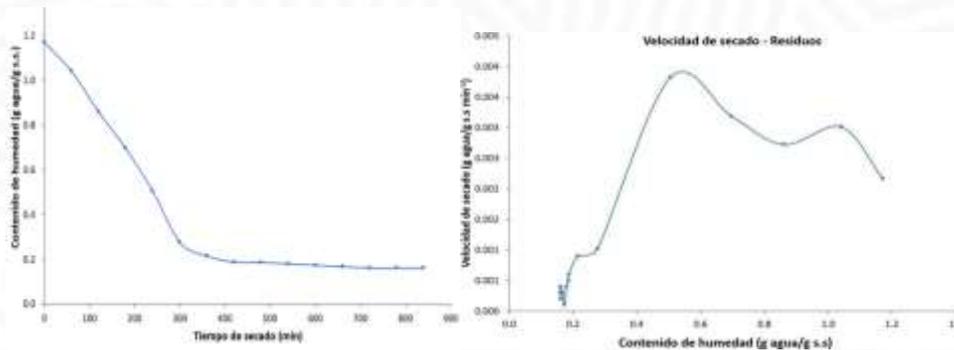


Figura 5 Contenido de humedad y Velocidad de secado solar de residuos de pescado

### Cinética de secado de filete de pescado

Se experimentó con tres especies de pescado de bajo valor comercial y nativos del estado de Campeche: Armado, Chac-chi y Bosh. La figura 6 presenta la gráfica del contenido de humedad y velocidad de secado del Armado, que se tomó como ejemplo para el presente artículo, en cuanto a la velocidad de secado se observa que al inicio del proceso de secado tuvo una velocidad de 0.20 g agua/g m seca min<sup>-1</sup> y después un incremento hasta 0.0025 g agua/g m seca min<sup>-1</sup>, manteniéndose esta velocidad por 90 minutos aproximadamente, por lo que puede deducir que este fue el periodo de velocidad constante. A continuación, se puede observar un primer periodo de velocidad decreciente con valores oscilantes entre 0.004 y 0.002 g agua/g m seca min<sup>-1</sup> y finalmente se observan las velocidades mínimas a partir del minuto 400 min con

valores cercanos a 0.001 g agua/g m seca min<sup>-1</sup>. El proceso de secado tuvo una duración de dos días de procesamiento con energía solar o bien de 840 minutos continuos.

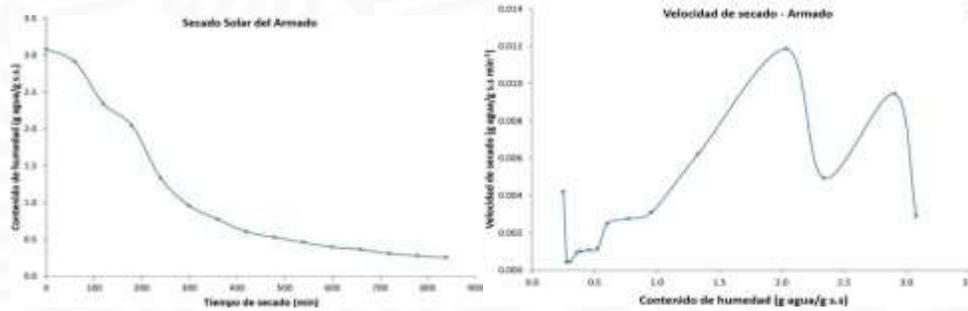


Figura 6 Contenido de humedad y Velocidad de secado solar de la especie de pescado Armado.

En las figuras 7 y 8 se presenta una muestra de filete de pescado y residuo de pescado fresca y seca, respectivamente, como resultado del secado en el secador solar tipo invernadero.



Figura 7 Filete de pescado fresco y después del proceso de secado



Figura 8 Residuo de pescado fresco y después del proceso de secado

## Bibliografía

Doymaz, I., & Pala, M. (Noviembre de 2003). *Las características de secado en capa fina del maíz*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877403000256?via%3Dihub>

Jayaraman, K., & Das Gupta, D. (1995). *Drying of fruits and vegetables*. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652010000400013](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000400013)

Millán, J. A. (5 de Julio de 2015). *Dpto. Máquinas y Motores Térmicos*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/nmwmgaj/SECADERO.htm>

Pangavhane, D., Sawhney, R., & Sarsavadia, P. (2002). *Diseño, desarrollo y pruebas de rendimiento de un nuevo secador solar de convección natural*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544202000051?via%3Dihub>