



Asociación Interamericana  
de Ingeniería Sanitaria  
y Ambiental

## TRANSFORMACIÓN DE DESECHOS MARINOS EN RECURSOS VALIOSOS: UN ENFOQUE SOSTENIBLE

<sup>1</sup>Beatriz Castillo-Téllez, <sup>2</sup>Castillo Téllez Margarita, <sup>3</sup>Martha Fabiola Martín del Campo, <sup>3</sup>Edgar Oswaldo Zamora, <sup>1</sup>Gerardo Mejía Pérez, <sup>4</sup>Alfredo Domínguez Niño

[beatriz.castillo@academicos.udg.mx](mailto:beatriz.castillo@academicos.udg.mx), [mcastill@uacam.mx](mailto:mcastill@uacam.mx), [martha.martindelcampo@academicos.udg.mx](mailto:martha.martindelcampo@academicos.udg.mx),  
[edgar.zamora8148@academicos.udg.mx](mailto:edgar.zamora8148@academicos.udg.mx), [gerardo.mejia@udg.mx](mailto:gerardo.mejia@udg.mx), [aldoni@ier.unam.mx](mailto:aldoni@ier.unam.mx)

<sup>1</sup>Centro Universitario de Tonalá, Tonalá, Jalisco, México

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Camp., México.

<sup>3</sup>Centro Universitario del Norte, Colotlán, Jalisco, México

<sup>4</sup>Instituto de energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos, México

### 1. ABSTRACT

El desperdicio de alimentos contribuye significativamente al hambre, la pobreza y la contaminación. Los productos marinos son especialmente afectados, con muchos considerados desechos y un porcentaje aprovechable de apenas el 30% en aquellos de alto valor. Es crucial rescatar y utilizar estos recursos. Este estudio propone el uso de productos y desechos marinos de bajo valor, como huesos, cabezas y vísceras, para producir biofertilizantes y alimentos balanceados para animales domésticos y de granja. Se diseñó y construyó una planta de secado solar, logrando deshidratar los residuos en 11 horas después de una precocción hasta la esterilización. El biofertilizante obtenido fue analizado para determinar sus componentes esenciales y se formularon alimentos para los sectores ganadero, acuícola y canino. El aprovechamiento de desechos de pescado ofrece una oportunidad para fomentar un comercio más sostenible y avanzar hacia una economía circular. Palabras Clave: Secado solar, energía solar, economía circular, biofertilizantes, alimento para ganado.

### 2. INTRODUCCIÓN

Los residuos de pescado tales como las cabezas de pescado, espinas, viseras, músculos oscuros, aletas y piel por lo general son desechados en las pescaderías. Se estima que se procesan 70 millones de toneladas de pescado ya sea por fileteado, congelación, enlatado o curado, de los cuales se desperdician entre un 30 a 50 % [1]. Estos desechos pueden utilizarse para generar otros productos tales como la harina de pescado rica en nutrientes. Sin embargo, requiere de un proceso de secado, para después utilizarlo por ejemplo en fertilizantes o alimento para animales [2].

La agricultura convencional depende en gran medida

de los fertilizantes para aumentar el rendimiento de los cultivos, lo que ha causado contaminación en los mantos acuíferos y suelos, desequilibrando el ecosistema. Además, las crisis económicas y el crecimiento poblacional han incrementado las importaciones de alimentos y fertilizantes. En 2019, México importó abonos y fertilizantes de Rusia, representando el 24% de las importaciones totales de México desde ese país, situación que cambió a partir del actual conflicto bélico de esta nación [3].

Por otro lado, la harina de desperdicios de pescado es una fuente rica en proteínas y nutrientes esenciales para la alimentación animal, mejorando su crecimiento y bienestar [4].

Según investigaciones recientes, la harina de pescado contiene aminoácidos esenciales, ácidos grasos omega-3 y minerales que son vitales para el crecimiento y la salud de los animales, mejorando su rendimiento y bienestar [5].

u uso en la alimentación animal contribuye a una economía circular, promoviendo la sostenibilidad al reciclar subproductos de la pesca y reduciendo la necesidad de proteínas como la soya y el maíz. Estudios indican que la inclusión de harina de pescado en dietas animales es viable, mejora la calidad nutricional y reduce los costos de producción, beneficiando al medio ambiente y apoyando a productores locales e industria pesquera [6]. Esta práctica no solo beneficia al medio ambiente, sino que también apoya a los productores locales y a la industria pesquera al agregar valor a lo que antes se consideraba desperdicio (Rustad et al., 2020).

Existen numerosas materias primas para fórmulas balanceadas que varían según la especie, con datos disponibles sobre sus valores nutritivos y normas de uso [7]. En contextos comunitarios, es preferible usar materias primas locales para fortalecer la producción local, valorando a los proveedores locales y organizando la producción, recolección y



disposición de insumos.

La producción de harina de pescado requiere el secado de los desperdicios [8]–[13]. Esta técnica consiste en quitar la humedad de los productos sin alterar sus características, con el fin de conservar su sabor, su olor y propiedades nutritivas, además de evitar el crecimiento de microorganismos y mitigando las reacciones químicas que lo deterioran. Para el proceso de deshidratado de pescado el propósito es mantener las propiedades que tienen los residuos de pescado, esto debido que, una vez deshidratado el residuo, tiene un proceso muy fácil de convertirlo en abono orgánico con la finalidad de ofrecer una alternativa a los pequeños agricultores que se ven afectados con las crisis, además de obtener un beneficio para optimiza el suelo. En este trabajo se construyó una planta híbrida de secado solar y se propone la síntesis de biofertilizantes y alimento para animales.

### 3. OBJETIVOS

Uso de energía solar en una planta de secado solar para aprovechar los residuos de pescado en la producción de subproductos, favoreciendo la economía de los pescadores rurales y la sostenibilidad del medio ambiente.

### 4. METODOLOGÍA

#### Diseño de la planta:

Se diseñó y optimizó un sistema de secado de pescado utilizando energía termosolar, complementado con calentadores de gas LP. Se analizaron las características del proceso de secado, la ubicación geográfica en Campeche y las condiciones climáticas locales. Se desarrollaron dos diseños conceptuales: un sistema híbrido solar-gas y un sistema exclusivamente a gas. Se utilizó la herramienta de simulación TRNSYS para modelar el comportamiento térmico del sistema bajo variabilidad climática. Se realizaron análisis paramétricos para optimizar el número y disposición de colectores solares y se evaluó el costo del ciclo de vida (LCCA) del proyecto, comparando la viabilidad económica de los diferentes arreglos. La simulación consideró factores como la evaporación del agua, el flujo másico y la eficiencia del sistema, resultando en la identificación del diseño óptimo en términos de costos y rendimiento energético.

#### Deshidratado de pescado.

Se adquirieron muestras de pescado en el Mercado Municipal de Lerma, Campeche, y se filetearon, seleccionando las muestras más uniformes en color, tamaño y espesor. Se trabajó con tres tipos de pescado: Chac-chi, Boox y Armado, debido a su bajo valor comercial en la región. Se midieron el porcentaje de humedad y actividad del agua antes,

durante y después de la introducción en la cámara de secado.

#### Síntesis de subproductos.

**Biofertilizante:** La harina de pescado obtenida del deshidratado de los desechos fue utilizada para la producción del biofertilizante, el cual fue sometido a una serie de rigurosas pruebas y análisis encaminados a evaluar diversos aspectos importantes. Estas pruebas se centraron en determinar su composición de macronutrientes, evaluar la tasa de germinación de las semillas cuando se exponen al biofertilizante, investigar la presencia de bacterias coliformes potencialmente dañinas y medir la fitotoxicidad, que indica cualquier efecto adverso que el biofertilizante pueda tener en el crecimiento de las plantas.

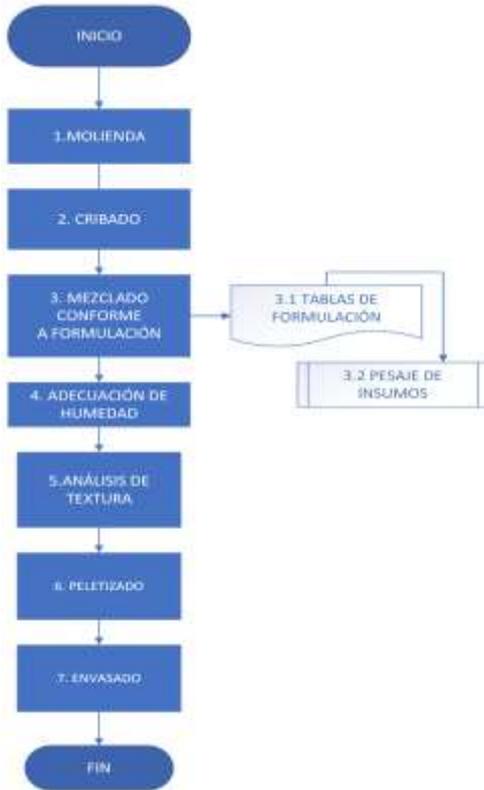
#### Alimento balanceado para Tilapia y pollo de engorda:

La formulación de alimentos balanceados para animales domésticos y de granja depende de la especie, edad y objetivos específicos como crecimiento, engorda, ovación, crianza o mantenimiento. Las normas revisadas para la formulación son NOM-251-SSA1-2009: Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, NOM-061-ZOO-1999: Especificaciones zoonosológicas de los productos alimenticios para consumo animal, NMX-Y-013-1998-SCFI: Alimentos para animales - Harina de pescado – Especificaciones, NMX-Y-015-SCFI-2006: Alimentos para animales-Harina de pescado con solubles- Destinada a la alimentación de animales- Especificaciones y NOM-Y-119-A-1979: Alimento para la iniciación de pollo para la producción de carne.

Por otro lado, los requerimientos nutricionales son: Tilapia: Proteína: 45 - 60%, Carbohidratos: < 25%, Relación Proteína-Energía: 120 mg/kcal, Lípidos: 5 - 8%. Engorde: Proteína: 25 - 35%, Carbohidratos: 25 - 30%, Relación Proteína-Energía: 103 mg/kcal y Lípidos: 8 - 10%.

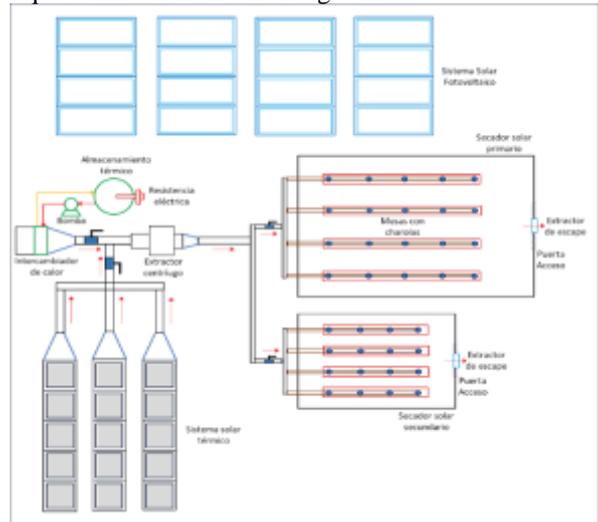
#### Procedimiento:

1. **Molienda:** Las materias primas se muelen hasta obtener un polvo fino.
2. **Cribado:** Se asegura que las partículas sean homogéneas.
3. **Mezclado:** Los ingredientes se mezclan durante un mínimo de 5 minutos.
4. **Adecuación de Humedad:** Se mezcla la harina de maíz con agua para formar una masa.
5. **Análisis de Textura:** Se verifica la homogeneidad de la mezcla.
6. **Peletizado:** La mezcla se procesa en una peletizadora.
7. **Envasado:** El alimento peletizado se enfría, se pesa y se envasa.



**Figura 8** Diagrama de flujo de proceso para la obtención de alimento para animales.

que utiliza exclusivamente gas LP.



**Figura 1** Diseño esquemático de los secadores de la planta de secado solar para productos pesqueros.

Los secadores solares tipo invernadero tienen una capacidad para secar aproximadamente 880 kg de producto fresco, y operan con dos los captadores solares térmicos calculados para calentamiento de aire, y un banco de paneles solares fotovoltaicos para la generación de la electricidad requerida, con lo cual el secador puede operar de forma continua durante las horas de insolación y hasta 6 horas de operación a plena carga, sin radiación solar o en periodos nocturnos.

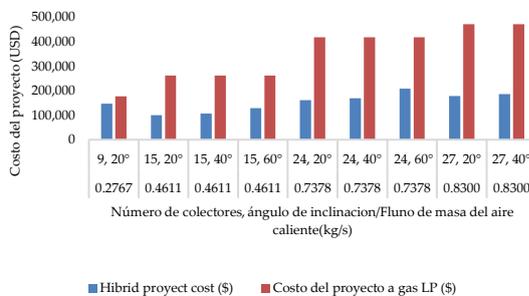


**Figura 2:** Prototipo de secador solar con hibridación de tecnologías solares

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

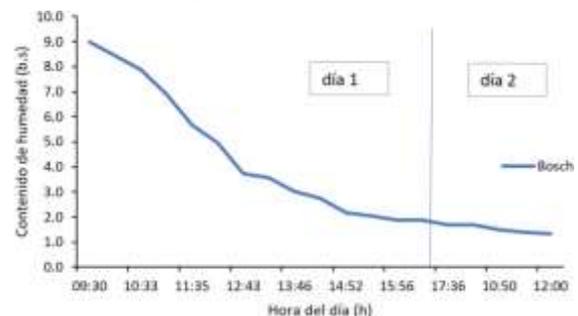
### Diseño de la planta

Costo Total del Proyecto Híbrido y Ahorros: El proyecto híbrido óptimo, que utiliza 15 colectores solares dispuestos en un arreglo de 3 colectores en serie y 5 filas en paralelo a un ángulo de 20 grados, tiene un costo total de \$1,771,760 MXN a 20 años de operación.



Este diseño alcanza una fracción solar del 64%, con un período de recuperación de la inversión estimado en aproximadamente 1.8 años. Se estima un ahorro del 80% en comparación con un sistema

### Deshidratado de pescado



**Figura 6.** Cinética de secado de filete de pescado Boox

La Figura XXX presenta la pérdida de peso en las

muestras más representativas. La prueba experimental comenzó a las 9:30 h y concluyó a las 16:30 h del primer día. El segundo día, el experimento se reanudó a las 10:20 h y finalizó a las 12:00 h, lo que representa un total de 11 horas de secado continuo. El contenido inicial de humedad de las muestras fue del 90%, equivalente a 9.0 g de agua por gramo de materia seca. En contraste, la humedad final registrada fue del 22.3%, es decir, 1.3 g de agua por gramo de materia seca.

### Síntesis de subproductos.

#### Biofertilizante

Los análisis de los componentes de la harina de pescado se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1** Porcentaje de composición de macronutrientes del pescado seco.

Componente	% peso b.s. (P/P)
Equivalente orgánico de nitrógeno	7.99
Fósforo en equivalente de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.67
Potasio en equivalente de K <sub>2</sub> O	0.5
Calcio en equivalente de CaO	6.37
Sodio	0.4

El proceso produjo un biofertilizante con una proporción NPK de aproximadamente 3-7-0,5, apto para diversos cultivos. La ausencia de coliformes fecales y el impacto positivo en la germinación de las semillas, particularmente con una mezcla de tierra al 5%, demuestran la seguridad y eficacia del producto. Además, se incorporó energía solar al proceso de secado, destacando los beneficios ambientales y económicos frente al uso de gas. Los hallazgos sugieren que el pescado secado al sol no utilizado puede reemplazar eficazmente los fertilizantes sintéticos, ofreciendo una solución sostenible al reciclaje de nutrientes en la agricultura.

*Alimento balanceado para Tilapia* Para obtener 6.3 kilogramos de alimento balanceado para tilapia en etapa de engorde, tomando en cuenta los requerimientos de las normas y los de este pez para crecer adecuadamente, así como los insumos locales, se obtuvo:

**Grano de soya molido:** 1 kg, **Harina de maíz:** 2 kg, **Harina de pescado:** 2.5 kg, **Lecitina:** 50 g, **Melaza:** 300 g, **Rastrojo de avena molido:** 450 g y **BHT:** 6.3 g

*Pollo de engorda.* Para preparar 6 kilogramos de alimento balanceado para pollo en etapa de crecimiento: **Harina de soya:** 750 g, **Harina de maíz:** 3 kg, **Harina de pescado:** 1.5 kg, **Rastrojo molido:** 750 g, **CaCO<sub>3</sub>:** 60 g y **BHT:** 6 g



## 6. CONCLUSIONES

## 7. REFERENCIAS

- [1] E. Chassot et al., "Fuel consumption and air emissions in one of the world's largest commercial fisheries," *Environ. Pollut.*, vol. 273, p. 116454, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116454>.
- [2] FAO, "Food Loss and Waste in Fish Value Chains," 2023. <https://www.fao.org/flw-in-fish-value-chains/overview/objective/en/> (accessed Apr. 07, 2023).
- [3] World Bank, "How to manage the world's fertilizers to avoid a prolonged food crisis," 2023. <https://blogs.worldbank.org/voices/how-manage-worlds-fertilizers-avoid-prolonged-food-crisis> (accessed Apr. 07, 2023).
- [4] M. Lanno, M. Kriipsalu, M. Shanskiy, M. Silm, and A. Kisand, "Distribution of phosphorus forms depends on compost source material," *Resources*, vol. 10, no. 10, 2021, doi: 10.3390/resources10100102.
- [5] B. de C. Bonfim, M. L. G. Monteiro, A. F. G. N. dos Santos, J. dos S. Vilar, and C. A. Conte-Junior, "Nutritional Improvement and Consumer Perspective of Fish Nuggets with Partial Substitution of Wheat Flour Coating by Fish (*Priacanthus arenatus*, Cuvier, 1829) Waste Flour," *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, vol. 29, no. 1, pp. 28–42, 2020, doi: 10.1080/10498850.2019.1693462.
- [6] M. M. Martínez-Moreno, E. M. Buitrago, R. Yñiguez, and M. Puig-Cabrera, "Circular economy and agriculture: Mapping circular practices, drivers, and barriers for traditional table-olive groves," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 46, pp. 430–441, 2024, doi:



<https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.036>.

- [7] A. Isibika, B. Vinnerås, O. Kibazohi, C. Zurbrügg, and C. Lalander, “Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae,” *J. Clean. Prod.*, vol. 318, no. July, p. 128570, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128570.
- [8] S. U. Marzuki, Y. Pranoto, T. Khumsap, and L. T. Nguyen, “Effect of blanching pretreatment and microwave-vacuum drying on drying kinetics and physicochemical properties of purple-fleshed sweet potato,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 58, no. 8, pp. 2884–2895, 2021, doi: 10.1007/s13197-020-04789-5.
- [9] R. Saengrayap, A. Tansakul, and G. S. Mittal, “Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 52, no. 5, pp. 2610–2621, 2015, doi: 10.1007/s13197-014-1352-4.
- [10] Z. Duan, M. Zhang, Q. Hu, and J. Sun, “Characteristics of Microwave Drying of Bighead Carp,” *Dry. Technol.*, vol. 23, no. 3, pp. 637–643, 2005, doi: 10.1081/DRT-200054156.
- [11] G. A. Reineccius, “The Spray Drying of Food Flavors,” *Dry. Technol.*, vol. 22, no. 6, pp. 1289–1324, 2004, doi: 10.1081/DRT-120038731.
- [12] T. R. Bajgai and F. Hashinaga, “HIGH ELECTRIC FIELD DRYING OF JAPANESE RADISH,” *Dry. Technol.*, vol. 19, no. 9, pp. 2291–2302, 2001, doi: 10.1081/DRT-100107499.
- [13] J. T. S. Batista, C. da Silva Araújo Matias, L. H. da Silva Martins, D. N. P. Cardoso, M. R. S. P. Joele, and L. de Fátima Henriques Lourenço, “Effect of convection drying and lyophilization of fish myofibrillar proteins on the technological properties of biodegradable films,” *Dry. Technol.*, vol. 40, no. 8, pp. 1673–1687, 2022, doi: 10.1080/07373937.2021.1875230.



Asociación Interamericana  
de Ingeniería Sanitaria  
y Ambiental

## DESHIDRATADO DE PESCADO DE BAJO VALOR COMERCIAL MEDIANTE HIBRIDACIÓN DE TECNOLOGÍAS SOLARES

<sup>1</sup>Margarita Castillo Téllez, <sup>2</sup>Beatriz Castillo Téllez, <sup>2</sup>Gerardo Mejía Pérez, <sup>3</sup>Alfredo Domínguez Niño, <sup>1</sup>Diana C. Mex Álvarez, <sup>1</sup>Luz Ma. Hernández Cruz

[mcastill@uacam.mx](mailto:mcastill@uacam.mx), [beatriz.castillo@academicos.udg.mx](mailto:beatriz.castillo@academicos.udg.mx), [gerardo.mejia@udg.mx](mailto:gerardo.mejia@udg.mx), [aldoni@ier.unam.mx](mailto:aldoni@ier.unam.mx),  
[diancmex@uacam.mx](mailto:diancmex@uacam.mx), [lmhernan@uacam.mx](mailto:lmhernan@uacam.mx)

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Camp., México; C.p. 24087.

<sup>2</sup>Centro Universitario de Tonalá, Tonalá, Jalisco, México; C.p. 45425

<sup>3</sup>Instituto de energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos, México; C.p. 62588

### 1. ABSTRACT

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, 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, Hibridación de tecnologías, Cinética de secado, Colorimetría

### 2. INTRODUCCIÓN

México presenta un gran potencial para el desarrollo de la pesca y la acuicultura, su extenso litoral de 11,00 km, de los cuales 8,400 pertenecen al Pacífico y 3,100 al Golfo de México y el Caribe y con una extensión de 12,500 km<sup>2</sup> de lagunas costeras y esteros y 6500 km<sup>2</sup> de aguas interiores (lagos, lagunas, ríos, presas). El país contribuye a nivel mundial con el 12% de la diversidad y más de 12,000 especies endémicas. La ictiofauna en México cuenta con 2,763 especies, siendo el 9.8 % de las especies conocidas, 505 de peces dulceacuícolas, 224 marinas y 563 estuarios y

vicarias (Espinosa-Pérez, 2014), México 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.

El Estado de Campeche tiene una extensión litoral de 425 km, lo que representa el 3.8 % del total, cuenta con 12,135 embarcaciones de pesa en alta mar y 3,401 embarcaciones ribereñas, con 26 plantas pesqueras, ocupando el 7° lugar nacional en producción pesquera con 72,266 ton de pesca de captura, con 38,855 ton en esteros, lagunas y bahías y 33,512 en mar abierto y 158,014 de cultivo (Ramírez-Rodríguez, 2015; Wakida-Kusunoki et al., 2016). 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 (Comisión Nacional De Acuicultura Y Pesca, 2018). El sector pesquero 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.

El secado solar a cielo abierto es uno de los métodos más antiguos empleado en la conservación de alimentos. Esta técnica es económica y sencilla, no requiere de mano de obra calificada (Deng et al., 2021); sin embargo, presenta como inconvenientes largos periodos de tiempos de secado y los alimentos están expuestos a una diversidad de factores que pueden mermar su calidad e higiene, como roedores o moscas, polvo, lluvia, insectos, radiación solar o viento. Por otro lado, los secadores industriales eliminan estos inconvenientes y les permiten ser eficientes a través de diseños adecuados, mejorando así las propiedades nutricionales y organolépticas de los alimentos en comparación con el secado tradicional (Mewa et al., 2019; Mohammed et al., 2020).

Para obtener un deshidratado de calidad, es necesario controlar el proceso de principio a fin, monitoreando parámetros como pérdida de peso, porcentaje de humedad, actividad de agua, velocidad de secado, colorimetría y eficiencia térmica del secador solar.

### 3. OBJETIVOS

En este trabajo se presenta la construcción de un prototipo de secador solar tipo túnel con hibridación de tecnologías solares y un estudio experimental de secado de pescado de bajo valor comercial, demostrando ser un método eficiente al obtener un producto final de calidad competitiva tanto en mercados nacionales como internacionales.

### 4. METODOLOGÍA

**Deshidratador solar para productos pesqueros:** está conformado por tres secciones principales, la primera sección es la cámara para el secado, la cual está compuesta por dos compartimentos en forma de ductos rectangulares, que tienen la capacidad de alojar 10 charolas en forma de rejillas, con capacidad de 4 kg de producto por cada rejilla, para un total de 40 kg de producto fresco. Esta sección se encuentra aislada térmicamente y cuenta con dos puertas abatibles con sellado hermético y bisagras de seguridad. La segunda sección de distribución del aire caliente está compuesta por un ducto rectangular que en su interior cuenta con una zona de 6 persianas de aluminio y vidrio que tienen la función de distribuir el flujo de aire caliente que pasará posteriormente al interior de la sección de secado. La tercera sección de direccionado del caudal de aire caliente está compuesta por un ducto rectangular, que en su interior cuenta con dos válvulas de compuerta que tienen la función de ingresar el aire caliente a la sección de secado mediante dos formas posible; la primera ingresando el aire caliente producido por el banco de colectores solares de calentamiento de aire, y la segunda ingresando el aire caliente producido por el banco de colectores solares de calentamiento de agua y el intercambiador de calor agua-aire. En la Figura 1 se presenta el acoplamiento y ensamblado de las secciones del secador solar.

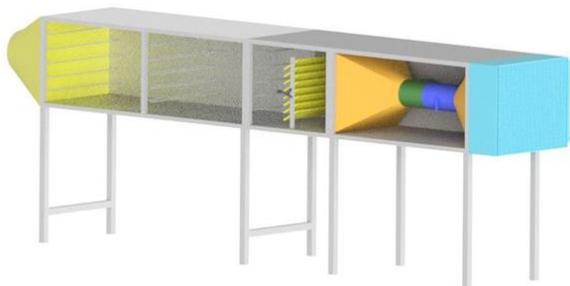


Figura 1: Sistema de monitoreo del secador solar

Para la generación de la energía eléctrica requerida para el accionamiento del ventilador-extractor del secador solar se instaló un sistema fotovoltaico de tres paneles solares con un área de captación con 1362 W de potencia (Figura 2).



Figura 2: Prototipo de secador solar con hibridación de tecnologías solares

**Instrumentación:** Se utilizó un sistema de adquisición de datos para medir parámetros en la cámara de secado. El sistema es portable con baterías, y tiene los siguientes sensores: 4 de irradiancia ( $0-1000 \text{ W/m}^2$ ), 4 de humedad relativa ( $0-100 \%$ ), 14 de temperatura de ( $0-100 \text{ }^\circ\text{C}$ ), y uno de masa ( $0-5 \text{ kg}$ ). Ver Figura 3.



Figura 3: Sistema de monitoreo del secador solar

Durante el período de pruebas se registraron los parámetros climatológicos (temperatura ambiente, HR, velocidad y dirección del viento e irradiación solar) en la estación meteorológica instalada en la Facultad de Ingeniería de la UACAM (Figura 4).



Figura 4. Estación meteorológica instalada en la Facultad de Ingeniería de la UACAM.

**Materia prima:** Se adquirieron las muestras de pescado a secar en el Mercado Municipal de la población de Lerma, Campeche; se fileteó el pescado y se seleccionaron las muestras procurando considerar las que tenían color, tamaño y espesor más uniformes. Se trabajó con tres tipos de pescado: Chac-chi, Boox y Armado, se definió considerar estas especies debido a su bajo valor comercial en los mercados municipales de la región. Se midió porcentaje de humedad y actividad del agua (Aw) en fresco y en seco y la colorimetría se estuvo monitoreando en fresco y cada hora durante todo el proceso de secado.

Para la determinación del porcentaje de humedad se utilizó una termobalanza marca Velab, con una precisión de  $\pm 0.01\%$  mg; la pérdida de eso se midió una balanza digital de alta precisión marca Boeco modelo BPS 40 plus; se utilizó un medidor de Aw marca Rotronic Hygropalm de tipo portátil, con una precisión de  $\pm 0.01\%$  mg. La colorimetría se monitoreó con un colorímetro digital marca Huanyu, modelo SC-10, repetibilidad  $\leq 0.03 \Delta E^* ab$  (escala CIELAB).

En la Figura 5 se puede observar la disposición de las muestras de pescado y su disposición en el secador solar.



Figura 5: Disposición de muestras en el interior del secador solar

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se pueden apreciar los valores de inicio y fin del % de humedad y Aw. Se puede observar que las muestras secas tienen un porcentaje de humedad final y Aw que garantiza que no habrá proliferación de microorganismos ni tendrán afectación negativa en dichas muestras las condiciones medio ambientales.

Muestra	% de Humedad		Actividad del agua (Aw)	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco
Chac-chi	78.06	12.41	0.93	0.46
Boox	73.71	10.19	0.89	0.41
Armado	75.48	10.86	0.91	0.43

Tabla 1: Porcentaje de humedad y Aw en muestras frescas y secas

**Cinética de secado.** La experimentación se realizó con tres tipos de pescado: Boox, Armado y Chac-chi, se presenta la pérdida de peso en las muestras más representativas, se seleccionó el Boox.

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 12:00 h, lo que representa 11 horas de secado continuo. El contenido de humedad inicial fue de 90% o bien 9.0 g agua/g materia seca, en contraste la humedad final fue de 22.3 % o bien 1.3 g agua/ m seca (Figura 6).

**Velocidad de secado.** La velocidad de secado de filete de pescado Boox, al inicio del proceso de secado tuvo una velocidad (0.20 g agua/g m seca min<sup>-1</sup>) y después un incremento hasta 0.42 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 0.015 y 0.009 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 0.003 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 650 minutos continuos.

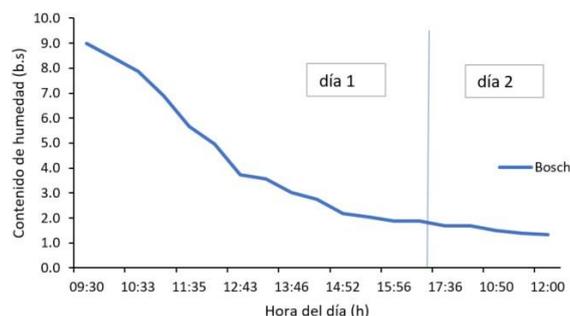


Figura 6. Cinética de secado de filete de pescado Boox

En la Figura 7 se puede ver la gráfica que representa la velocidad de secado monitoreada durante un día soleado.

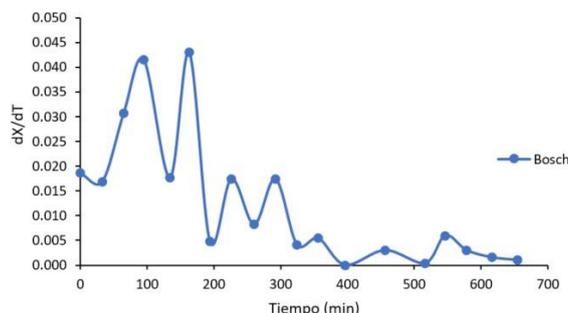


Figura 7. Velocidad de secado de filete de pescado Boox

**Colorimetría:** La diferencia de color es un parámetro que ha sido utilizado ampliamente para evaluar la variación de color entre el alimento fresco y deshidratado y es afectada generalmente por la temperatura de secado. La Tabla 2 muestra los parámetros de luminosidad (L) y

Cromaticidad (a, b) de las 3 variedades de pescado seco.

El análisis colorimétrico se realizó en dos zonas del pescado fresco, una zona clara y la otra oscura. Los parámetros de color se vieron afectados por el proceso de secado solar, la Tabla 2 muestra los valores de Luminosidad (L), cromaticidad (a y b).

Se observa claramente que la luminosidad tiende a disminuir en el proceso de secado por lo que el alimento se torna oscuro, siendo más evidente en la zona oscura del pescado deshidratado. Por otra parte, los valores negativos o positivos del parámetro a indican que el alimento tiende hacia el verde o hacia el rojo; mientras que los valores negativos o positivos del parámetro b indican que el alimento tiende hacia azul o amarillo, respectivamente.

Especie	Luminosidad (L)		Cromaticidad (a)		Cromaticidad (b)	
	Lado claro	Lado oscuro	Lado claro	Lado oscuro	Lado claro	Lado oscuro
Chac-chi	25.55	14.48	25.55	-13.89	3.62	1.79
Armado	33.95	9.44	0.85	15.37	13.09	13.9
Boox	24.71	13.27	-0.15	19.51	10.59	19.92

**Tabla 2: Parámetros colorimétricos de pescado seco**

El análisis de la diferencia de color se presenta en la Tabla 3. De acuerdo con los resultados obtenidos se aprecia una diferencia de color del pescado deshidratado con respecto al alimento fresco no despreciable.

De acuerdo con los niveles descriptivos de color, cuando los productos presentan niveles de 0 a 1.5 la diferencia con respecto al estándar es ligeramente diferente; cuando los niveles van de 1.5 a 3 la diferencia de color es notoria y los valores por arriba de 12 unidades presentan una diferencia de color muy obvia.

En este caso, los valores obtenidos durante la experimentación se encontraron por arriba de las 5 unidades por lo cual la diferencia de color es alta.

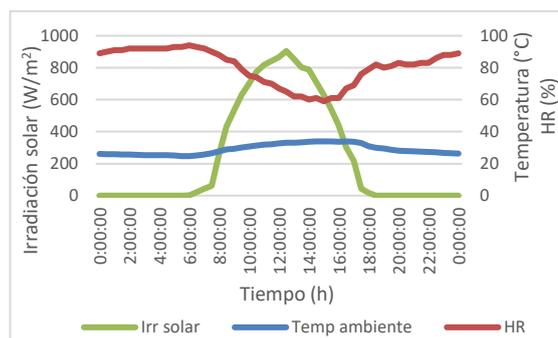
Especie	Diferencia de color total	
	Lado claro	Lado oscuro
Chac-chi	34.20	29.69
Armado	20.66	46.04
Boox	23.82	37.26

**Tabla 3. Diferencia de color total del pescado deshidratado**

**Parámetros climáticos.** Al realizar el secado del pescado mediante tecnologías renovables, resulta importante monitorear el clima, ya que depende totalmente del comportamiento climático el tiempo de secado, lo cual se traduce directamente en disminución de costos de producción y calidad del producto deshidratado. En la figura 8 se presenta la gráfica del

clima durante un día soleado durante el periodo de pruebas.

La radiación solar fue muy uniforme, alcanzando una lectura máxima de 900 W/m<sup>2</sup> a las 12 pm del día, la humedad relativa en el Estado de Campeche es muy alta a lo largo del año, lo cual es poco benéfico para el secado solar, lo que obliga a los investigadores a búsquedas permanentes de tecnologías y métodos para eficientar estos procesos, como puede apreciarse en la gráfica, la lectura mínima fue de 61%, finalmente, la temperatura ambiente máxima que se presentó durante la experimentación fue de 33.9 °C, mostrándose una línea muy uniforme a lo largo del día.



**Figura 8. Parámetros climáticos durante la experimentación, tomado de un día soleado como ejemplo.**

## 6. CONCLUSIONES

El secado de pescado mediante tecnologías renovables, utilizando tecnologías solares híbridas es un método eficiente y viable para la producción de productos deshidratados de alta calidad. Es importante monitorear y controlar diversos parámetros del proceso de secado, como la pérdida de peso, el porcentaje de humedad, la actividad de agua, la velocidad de secado y la colorimetría, para asegurar la calidad del producto final. La experimentación se realizó con tres tipos de pescado: Boox, Armado y Chac-chi, los cuales son pescados de bajo valor comercial nativos del Estado de Campeche, México; las muestras frescas contenían un 75% de humedad, al deshidratarlas se logró un 10% de humedad en promedio en un tiempo de 11 horas. Al realizar el estudio de colorimetría encontramos un cambio de color por arriba de las 5 unidades, lo cual indica un cambio de color significativo entre las muestras frescas y secas, esto sigue siendo un reto importante para las tecnologías solares. El secado solar presenta otro desafío debido a las condiciones climáticas, el uso de tecnologías avanzadas puede mejorar significativamente la eficiencia y la calidad del secado, contribuyendo a la sostenibilidad y competitividad del sector pesquero en México.

## 7. REFERENCIAS

- i. Comisión Nacional De Acuacultura Y Pesca, D. L.A. (2018). *ANUARIO ESTADÍSTICO DE ACUACULTURA Y PESCA 2018*.
- ii. Deng, Z., Li, M., Xing, T., Zhang, J., Wang, Y., & Zhang, Y. (2021). A literature research



## Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

- on the drying quality of agricultural products with using solar drying technologies. *Solar Energy*, 229, 69–83.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.07.041>
- iii. Espinosa-Pérez, H. (2014). Biodiversity of fishes in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.).  
<https://doi.org/10.7550/rmb.32264>
- iv. Mewa, E. A., Okoth, M. W., Kunyanga, C. N., & Rugiri, M. N. (2019). Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 235–241.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.067>
- v. Mohammed, S., Fatumah, N., & Shadia, N. (2020). Drying performance and economic analysis of novel hybrid passive-mode and active-mode solar dryers for drying fruits in East Africa. *Journal of Stored Products Research*, 88, 101634.  
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101634>
- vi. Ramírez-Rodríguez, M. (2015). La pesquería de camarón en Campeche : Desarrollo histórico y perspectiva. *Ciencia Pesquera*, 23(1), 73–87.
- vii. Wakida-Kusunoki, A. T., Rojas-González, R. I., Toro-Ramírez, A., Medina-Quijano, H. A., Cruz-Sánchez, J. L., Santana-Moreno, L. D., & Carrillo-Nolasco, I. (2016). Caracterización de la pesca de camarón en la zona costera de Campeche y Yucatán. *Ciencia Pesquera*, 24(May), 3–13.