



**PLANTA COMUNITARIA
PARA EL SECADO DE
PRODUCTOS PESQUEROS
OPERADA CON ENERGÍA
TERMOSOLAR PARA SU
INTEGRACIÓN EN
COMUNIDADES RURALES**

PRIMERA ETAPA: MARZO - NOVIEMBRE DEL 2022



Secador solar con hibridación de tecnologías solares



Ilustración 1: Secador solar con hibridación de tecnologías solares

Sistema de calentamiento solar de aire.

Sistema de paneles fotovoltaicos

Sistema de calentamiento solar de agua

Temperaturas en el SST



Ilustración 3: Sistema de monitoreo del secador solar



Ilustración 2: Secador solar tipo túnel.



Ilustración 4: Estación meteorológica instalada en la facultad de ingeniería

Secado Solar de Pescado

Para experimentar se seleccionó el pescado de las especies Chac-chi, Armado y Boox, debido a que estas especies son nativas del estado de Campeche.

Materiales y Métodos

- Pescado fresco.
- Porcentaje de humedad.
- Actividad del agua (aw).
- Colorimetría en fresco y seco.

Equipo Experimental

- Secador solar tipo túnel (SST):
 - ✓ Túnel o cámara
 - ✓ Sistema de calentamiento solar de aire
 - ✓ Calentamiento solar de agua
 - ✓ Moto-ventilador
 - ✓ Variador de voltaje
 - ✓ Soportes y ductos
 - ✓ Sistema de paneles fotovoltaicos
 - ✓ Bombas

Instrumentación

- Temperaturas en el SST
- Variables climatológicas

Control del Proceso de Secado

Muestra

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 midió porcentaje de humedad y Actividad del agua en fresco y en seco.



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

Tabla 2: Porcentaje de humedad y Aw en muestras frescas y secas

Parámetro	Porcentaje de humedad		Actividad del agua (Aw)	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco
Muestra				
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

Determinación de humedad

Para la determinación de la humedad se utilizó un analizador de humedad, marca Velab, con una precisión de $\pm 0.01\%$ mg. Se sustrajo una porción del filete y se cortó en fracciones diminutas, se colocó una muestra de aproximadamente 2.5 g, procediéndose a su deshidratación.



Ilustración 6: Medición de porcentaje de humedad

Determinación de la pérdida de peso.

Se utilizó una balanza digital de alta precisión marca Boeco modelo BPS 40 plus. Se midió la pérdida de peso cada 30 minutos del día.



Ilustración 8: Monitoreo de la pérdida de peso en filetes frescos y secos

Determinación de Actividad de agua (Aw).

La actividad de agua es un parámetro que determina la estabilidad de los alimentos con respecto a la humedad ambiental. Se determinó la actividad de agua para el filete fresco y posteriormente para el seco. Se utilizó un equipo marca Rotronic Hygropalm de tipo portátil, con una precisión de $\pm 0.01\%$ mg.



Ilustración 7: Actividad de agua Aw

Estudio de Colorimetría

Para realizar las pruebas de medición de color en muestras frescas y deshidratadas se utilizó un colorímetro digital marca Huanyu, modelo SC-10, repetibilidad $\leq 0.03 \Delta E^*$ ab (Ilustración 9).



Ilustración 9: Monitoreo de colorimetría en muestras frescas y secas

Resultados experimentales

Cinética de secado solar de pescado Bosch

El secado de filete de pescado Bosch se llevó a cabo durante dos días de experimentación. 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.

La velocidad de secado de filete de pescado Bosch al inicio del proceso de secado tuvo una velocidad ($0.20 \text{ g agua/g m seca min}^{-1}$) y después un incremento hasta $0.42 \text{ g agua/g m seca min}^{-1}$, manteniéndose esta velocidad por 90 minutos aproximadamente, por lo que puede deducir que este fue el periodo de velocidad constante.

Ilustración 10: Cinética de secado de filete de pescado Bosch

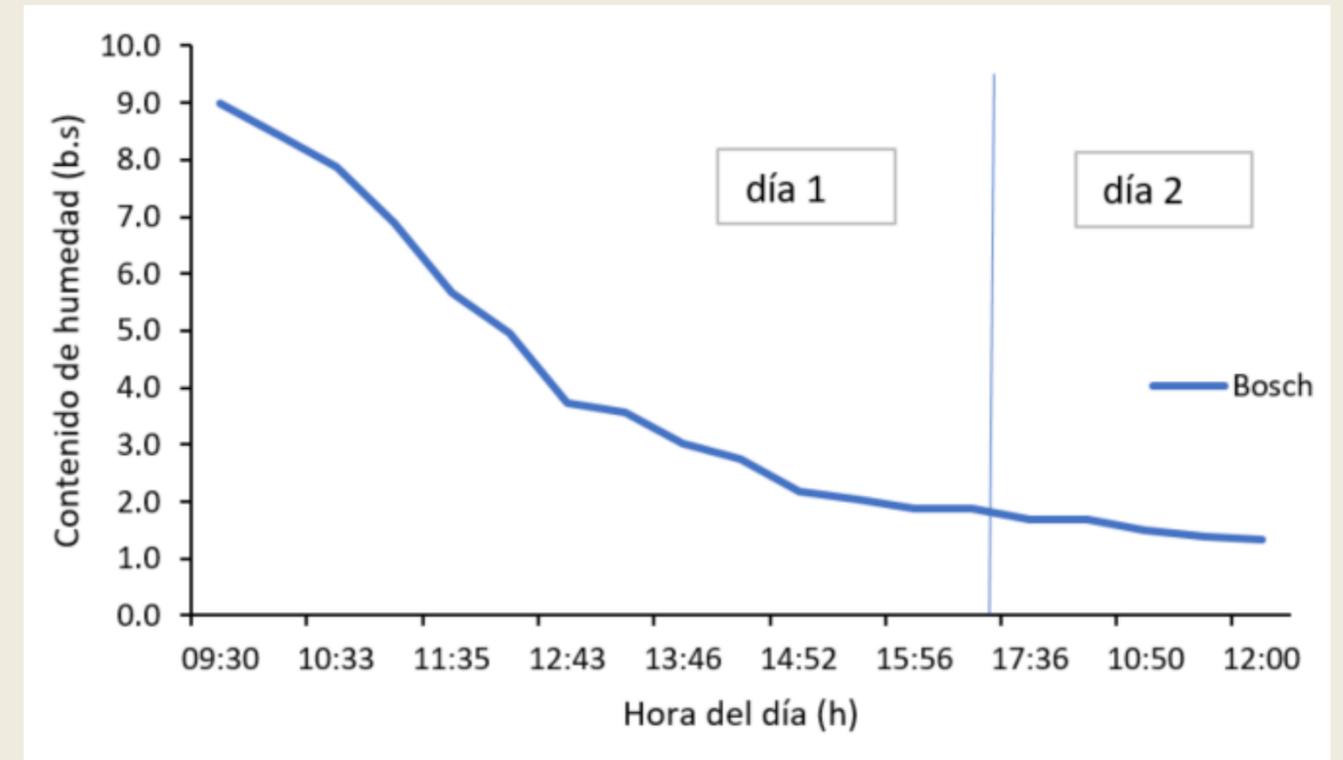


Ilustración 11: Velocidad de secado de filete de pescado Bosch

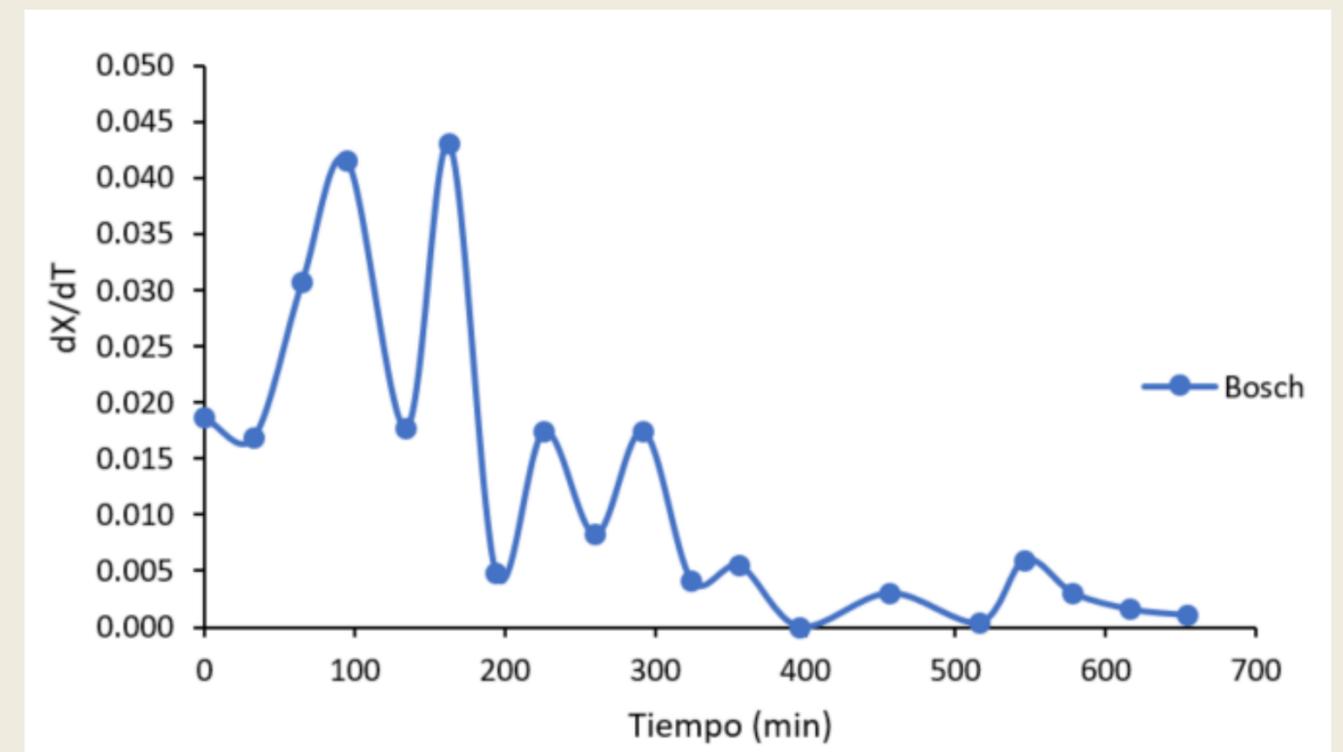
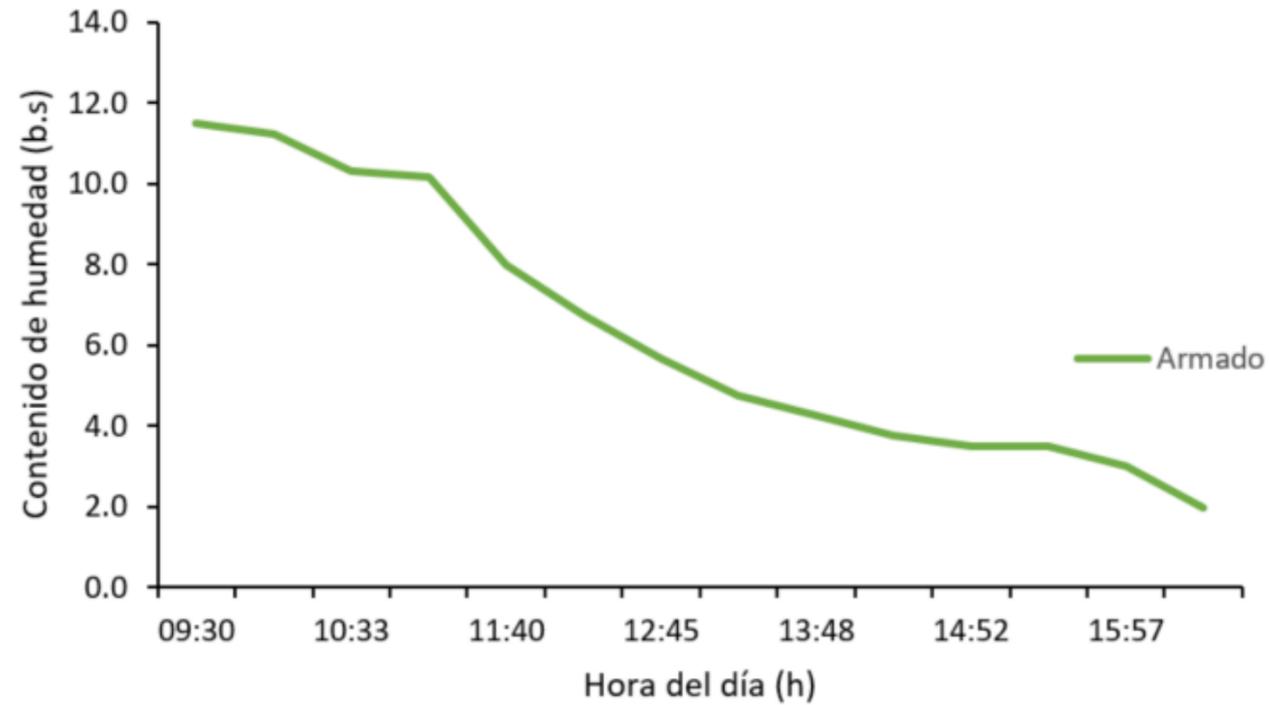


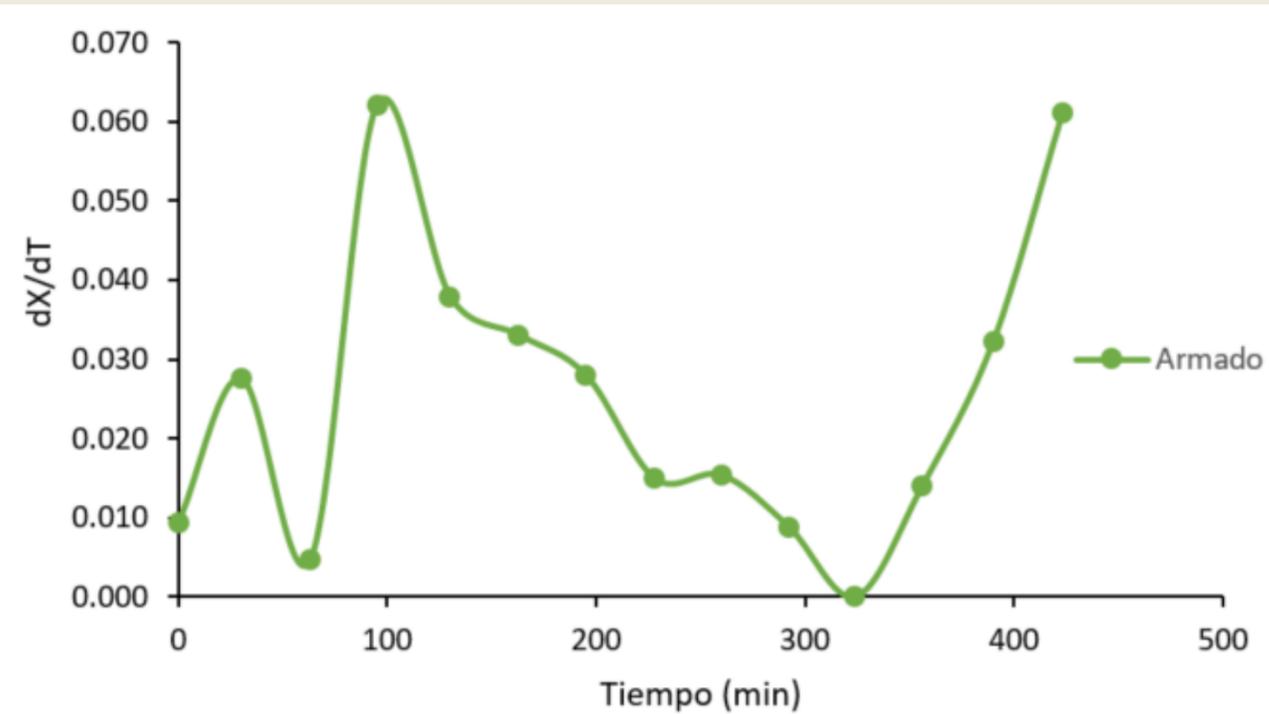
Ilustración 12: Cinética de secado solar de filete de pescado Armado



Cinética de secado solar de pescado Armado

El secado de filete de pescado armado se llevó a cabo durante un día. La prueba experimental comenzó a las 9:30 h y terminó a las 16:30, lo que representa 7 horas de secado continuo. El contenido de humedad inicial fue de 92% o bien 11.5 g agua/g materia seca, en contraste la humedad final fue de 26.7 % o bien 2 g agua/m seca.

Ilustración 13: Velocidad de secado de filete de pescado Armado



La velocidad de secado de filete de pescado armado, se observó al inicio del proceso de secado una velocidad baja (0.10 g agua/g m seca min⁻¹) y después un incremento hasta su punto máximo (0.62 g agua/g m seca min⁻¹). Posteriormente se observa una velocidad mínima hacia el minuto 300, y después la velocidad de secado se incrementa nuevamente, esto puede deberse a nubosidad intermitente. Cabe señalar que no se observó un periodo de velocidad constante.

Cinética de secado solar de pescado Chac-Chi

La cinética de secado solar de filete de pescado Chac-Chi. Se puede observar que el secado se llevó a cabo durante dos días de procesamiento. La prueba experimental comenzó a las 9:30 h y terminó a las 17:36 del primer día; en el segundo día el experimento continuó a partir de las 10:20, lo que representa más de 10 horas de secado continuo. El contenido de humedad inicial fue de 89% o bien 8.1 g agua/g materia seca, en contraste la humedad final fue de 29 % o bien 1.7 g agua/ m seca.

La velocidad de secado de filete de pescado armado, se observó al inicio del proceso de secado una velocidad baja (0.10 g agua/g m seca min⁻¹) y después un incremento hasta 0.28 g agua/g m seca min⁻¹, esta velocidad se mantuvo por 1.5 h por lo que puede deducir que este fue el periodo de velocidad constante. Posteriormente se observa que a partir del minuto 200 la velocidad fue decreciendo hasta valores cercanos a 0.010 g agua/g m seca min⁻¹.

Ilustración 14: Cinética de secado solar de filete de pescado Chac-chi

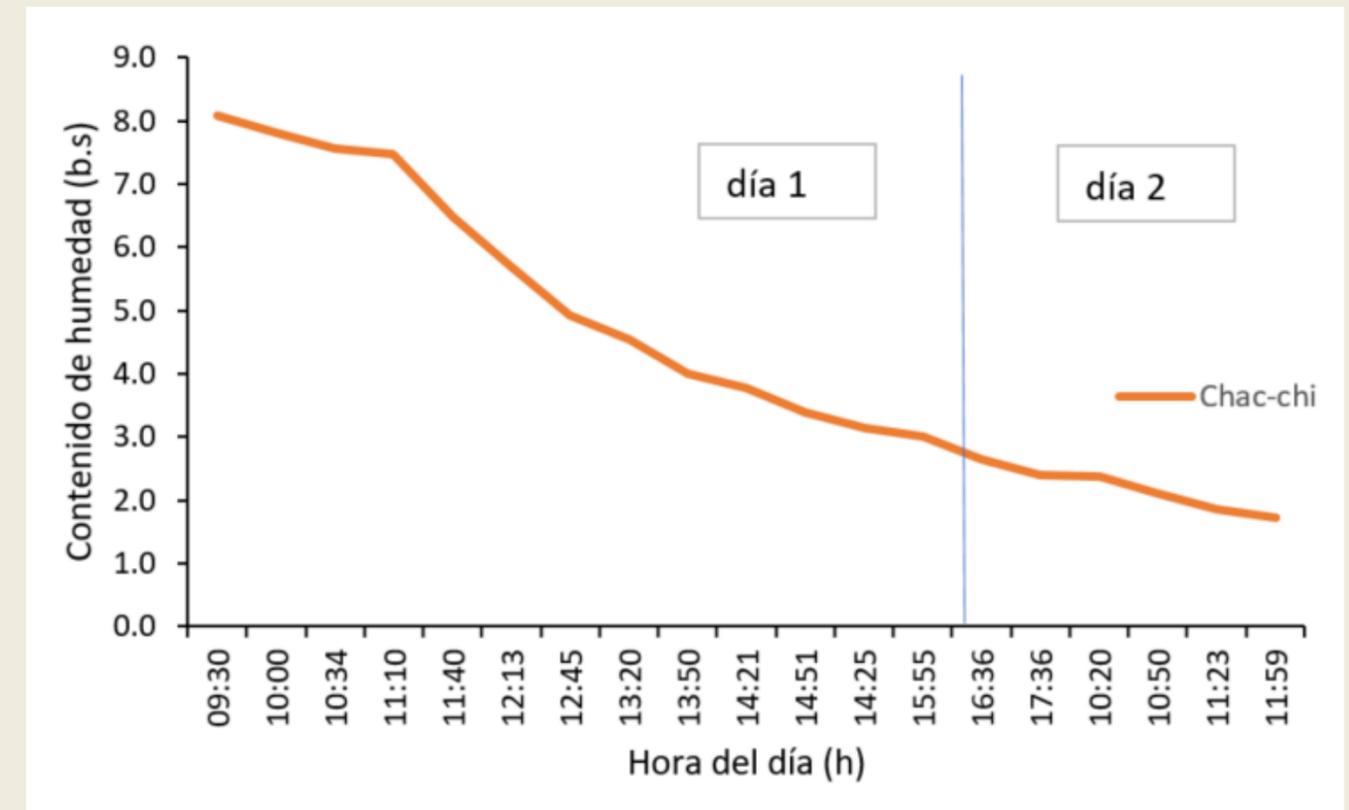
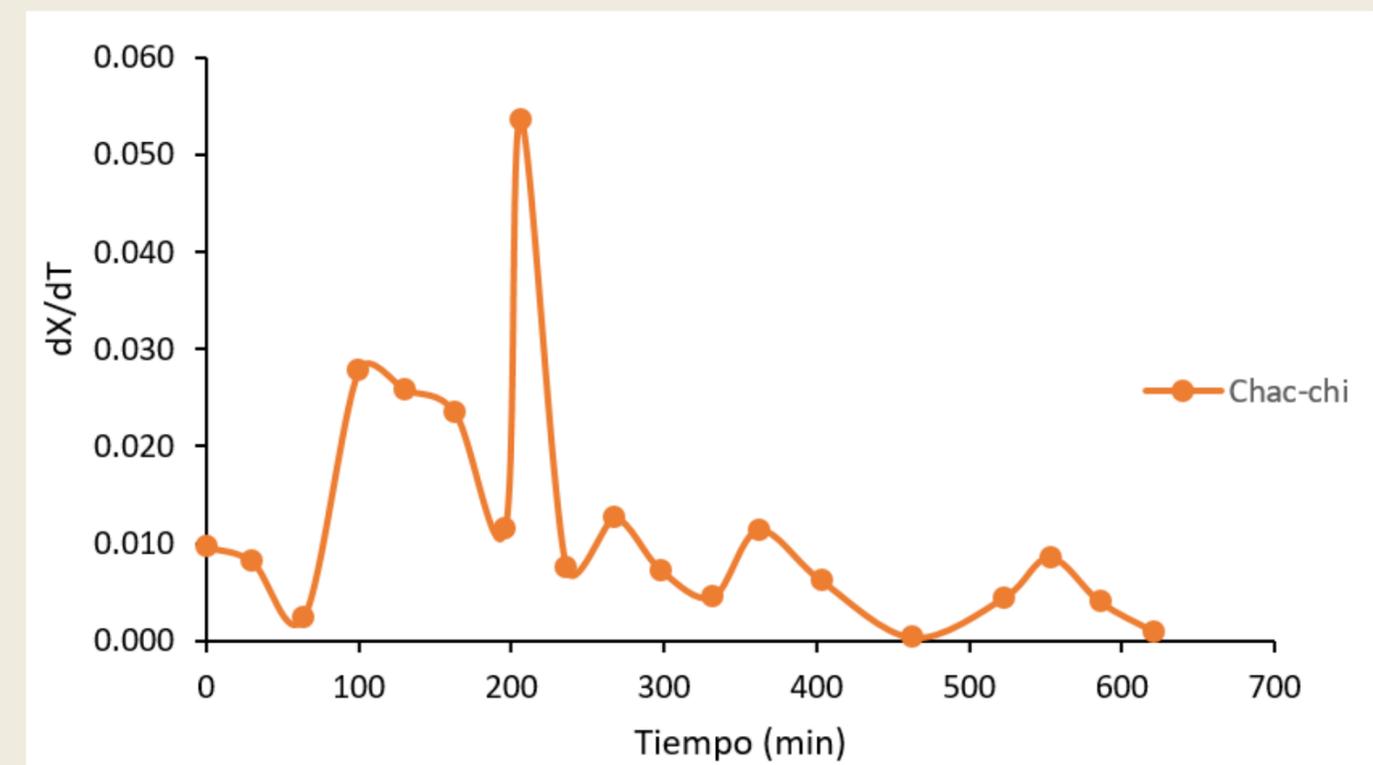


Ilustración 15: Velocidad de secado de filete de pescado Chac-Chi



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.

Tabla 3: Parámetros colorimétricos de pescado fresco

Especie	Luminosidad (L)		Cromaticidad (a)		Cromaticidad (b)	
	Lado claro	Lado oscuro	Lado claro	Lado oscuro	Lado claro	Lado oscuro
Chac-chi	39.1	39.92	-5.86	0.16	3.4	7.87
Armado	47.91	50.6	-3.48	-0.55	-1.52	0.77
Boox	46.04	39.72	0.77	2.21	0.01	0.18

Tabla 5: Diferencia de color total del pescado deshidratado

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 4: Parámetros colorimétricos de pescado seco

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

Extracción de Lípidos Totales en Muestras de Pescado

Muestra

Las muestras utilizadas en el proyecto fueron filetes de “Boox” o “Bagre boca chica” (*Ariopsis felis*), “Armado” o “Pigfish” (*Orthopristis chrysoptera*) y “Chac-Chí” o “Ronco Arará” (*Haemulon plumieri*), deshidratados por el “Método de Secado Solar”, con un secador tipo túnel y conservados al vacío.

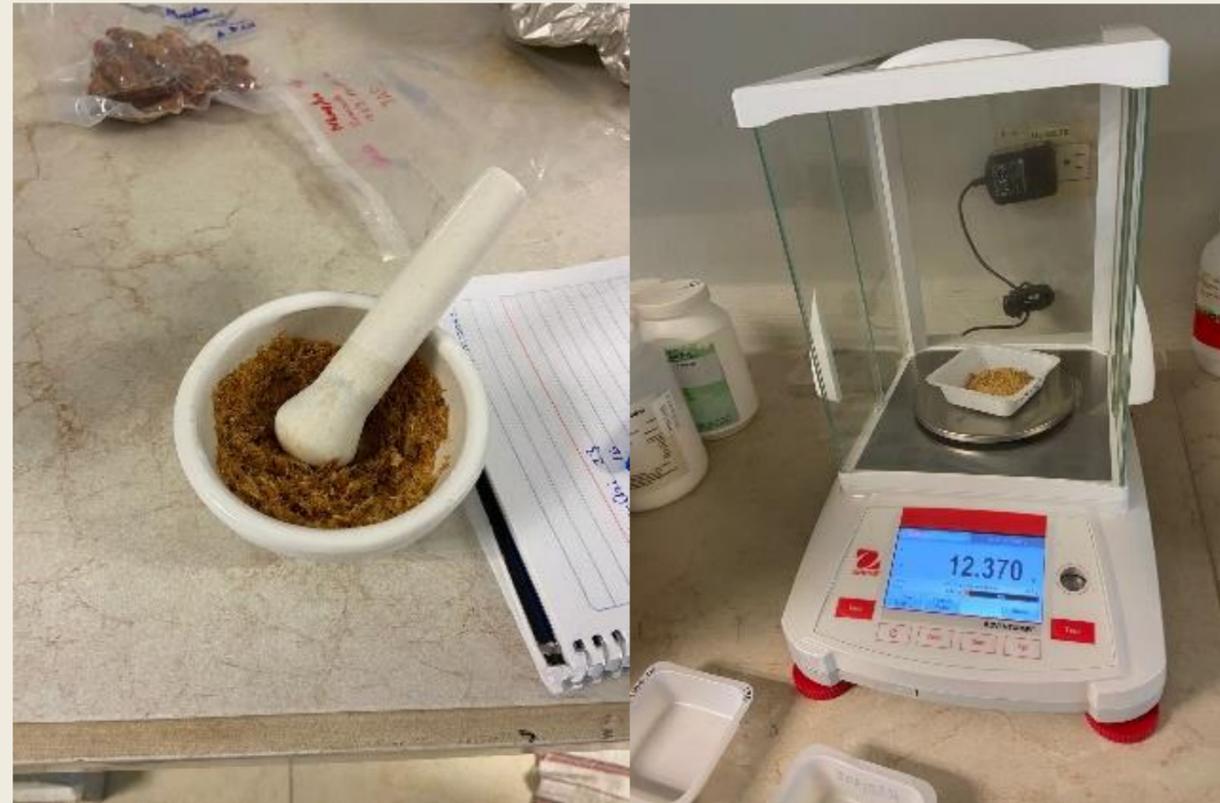


Ilustración 16: Preparación de muestras

Materiales

- N-hexano, grado reactivo (CTR Scientific)
- Metanol, grado reactivo (J. T. Baker)
- Cloroformo, grado reactivo (J. T. Baker)
- Agua destilada
- Papel filtro poro grueso

Equipo experimental

- Mortero
- Parilla de calentamiento
- Equipo Soxhlet, 50 mL
- Embudo de separación
- Mezclador vortex
- Baño sonicador
- Evaporador Rotatorio
- Desecador al vacío

Extracción y Análisis de Lípidos Totales

Extracción por Soxhlet

La extracción por Soxhlet se realizó con 2 g de muestra y 250 mL de n-hexano grado reactivo. El solvente se calentó hasta ebullición y se dejó el proceso durante 6 horas. Pasado el tiempo, el extracto hexánico se recuperó y se evaporó el solvente hasta sequedad para determinar el rendimiento.

Extracción por el método Bligh & Dyer

Se utilizó la metodología propuesta por Bligh y Dyer (1959) con algunas modificaciones. 2 g de muestra se añadieron a 18 ml de Metanol:cloroformo (2:1 v/v). La muestra se separó del extracto por medio de papel filtro poro grueso y se recuperó el cloroformo por medio de un embudo de separación. Este proceso se repite de 2 a 3 veces para la recuperación de los lípidos residuales. El cloroformo recuperado es evaporado, finalizando con el pesado del extracto seco para determinar el rendimiento.



Ilustración 17: Preparación de muestras

Extracción Bligh & Dyer modificado

La metodología utilizada es una variante del método implementado por Bligh y Dyer (1959) y Schlechtriem y colaboradores (2003). 2 g de la muestra se extrajo con 18 mL de metanol:cloroformo (2:1 v/v) y se sonicó durante 5 min. La muestra se separó del extracto por medio de papel filtro poro grueso y se recuperó el cloroformo por medio de un embudo de separación. El cloroformo recuperado es evaporado, finalizando con el pesado del extracto seco para determinar el rendimiento.



Ilustración 18: Extracción con Bligh & Dyer modificado

Resultados

Al realizar una media entre los diferentes métodos, se puede apreciar que los lípidos de Boox (*Ariopsis felis*) representan el 3.78% del peso seco, en Armado (*Orthopristis chrysoptera*) el 10.8 % y Chac-Chí (*Haemulon plumierii*) alcanza el 8.6 %. Si comparamos la cantidad de lípidos extraídos entre los diferentes métodos de extracción, como resultado preliminar se puede concluir que el método Soxhlet tiene un menor desempeño en la extracción, y Bligh & Dyer y su modificación presentan valores similares.

Tabla 6: Rendimientos obtenidos en la extracción de lípidos totales en muestras de Boox (*Ariopsis felis*), Armado (*Orthopristis chrysoptera*) y Chac-Chí (*Haemulon plumierii*) mediante tres diferentes métodos de extracción.

Muestra	Soxhlet (mg/g peso seco)	Bligh & Dyer (mg/g peso seco)	Bligh & Dyer modificado (mg/g peso seco)
Boox (<i>Ariopsis felis</i>)	29.55	39.85	43.85
Armado (<i>Orthopristis chrysoptera</i>)	95.25	101.15	109
Chac-Chí (<i>Haemulon plumierii</i>)	77.5	93.65	86.7

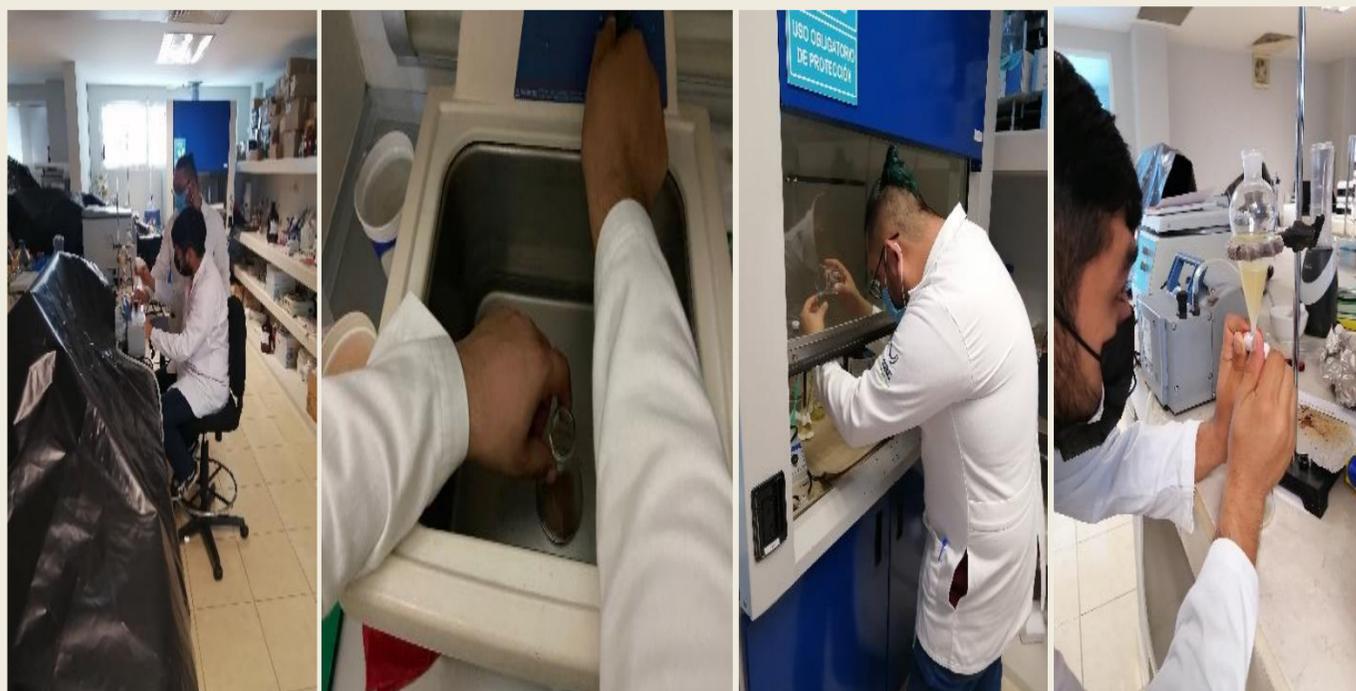


Ilustración 19: Análisis de resultados.



Ilustración 20: Evaporación y análisis de lípidos totales.

Referencias

Catálogo De Especies: Campaña Sonda De Campeche. Leticia Huidobro Campos, Christian Lambarri Martínez, Daniel Hernández Cruz, Juan Roberto Vallarta-Zárate y Ramón Isaac Rojas González. Primera edición, 2021. Instituto Nacional De Pesca Y Acuacultura/Secretaría De Agricultura Y Desarrollo Rural. ISBN: 978-607-8274-21-5.

Boletín De Vigilancia Tecnológica: PESCA, No01-2018 “Residuos . de la Pesca: aprovechamiento y valor agregado”. Dirección de Investigación, Desarrollo, Innovación y Transferencia Tecnológica - DIDITT. Coordinador de VTiC: Dandy García Pezo.

PROYECTO: Cuantificación y aprovechamiento de los subproductos pesqueros en el trapecio amazónico colombiano. Informe Final. Preparado Por: Edwin Agudelo Cordoba, Julian Mauricio Alzate Cataño, Olga Lucia Chaparro Africano, Jorge Humberto Arguelles Cárdenas, Clara Patricia Peña Venegas.

Castillo-Téllez, M., Pilatowsky-Figueroa, I., López-Vidaña, E. C., Sarracino-Martínez, O., & Hernández-Galvez, G. (2017). Dehydration of the red chilli (*Capsicum annum* L., costeño) using an indirect-type forced convection solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 114, 1137–1144. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.114>