



Explorando diferentes subproductos considerados como residuos por la industria pesquera en México

Exploring different by-products considered as residues by the fishery industry in México

Celia Olivia García-Sifuentes*, Susana María Scheuren-Acevedo and Julio Cesar Zamorano-Apodaca

Laboratorio de Bioquímica y Calidad de Productos Pesqueros. Coordinación de Alimentos de Origen Animal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46, Hermosillo, Sonora, México, CP 83304. Ph/Fax: +52(662)280-0421, +52(662)289-2400 ext 606

RESUMEN

La producción y poco aprovechamiento de subproductos de los grandes centros de distribución en México causa problemas ambientales. Se exploró la composición fisicoquímica de distintos subproductos evaluando el pH, humedad, lípidos, ceniza, proteínas, nitrógeno no proteico, bases volátiles totales, hidroxiprolina y prolina en tres sitios (zonas) de muestreo durante tres meses diferentes, cada zona o sitio representó muestras diferentes, así: MM (mezcla de subproductos de diferentes especies), AT (subproductos derivados del enlatado de atún), TL (subproductos derivados del fileteo de tilapia). Se registraron diferencias en la composición química entre los tres meses de muestreo y entre los tres sitios evaluados. Los resultados mostraron que los componentes más importantes que se pueden recuperar son: proteínas, para el sitio MM, incluyendo el colágeno; lípidos y proteínas, para el sitio AT; colágeno y lípidos para el sitio TL. Los valores promedio de pH (7.89), humedad (72.75 %) y BVT (188 mg N/100 g) para el sitio MM, demuestran la necesidad de mejorar el manejo de los subproductos en ese sitio. Los subproductos de los tres sitios de muestreo mostraron ser una fuente alternativa de componentes importantes como proteínas que no son colágeno, colágeno, lípidos y cenizas, dependiendo del sitio. Sin embargo, es importante resaltar la necesidad de mejorar el manejo de los subproductos para lograr un mayor aprovechamiento.

Palabras clave: subproductos, industria pesquera, composición, residuos

ABSTRACT

The production and under-utilization of by-products from the large distribution centers in México, promotes environmental problems. The physicochemical composition of different by-products produced by the large distribution centers throughout different months was explored evaluating pH, moisture, lipids, ash, proteins, non-protein nitrogen, total volatile bases, hydroxyproline and proline, in three places during three months, each place represented different sample, including: MM (by-products from different fish species), AT (by-products of tuna canning, and TL (tilapia by-products). There were differences in chemical composition among the three months and the evaluated places. Results showed that

the most important components that could be recovered are proteins for MM, collagen, lipids and proteins for AT and collagen and lipids for TL. Average values of pH (7.89), moisture (72.75 %) and total volatile bases (188 mg N/100 g) demonstrate the need of improving the by-products management in the MM place. By-products from the three evaluated places showed be an alternative source to obtain important components including non-collagen proteins, collagen, lipids, and ash depending on the sampling place. However, it is important to highlight the need of improving the handling of by-products to achieve greater exploitation.

Key words: by-products, fishery industry, composition, residues

INTRODUCCIÓN

El gran volumen de residuos generados en la pesca, acuacultura o procesamiento de la industria pesquera, incluyendo grandes mercados o centros de distribución, genera contaminación ambiental (Kosseva, 2013). La utilización y manejo adecuado de residuos de la industria pesquera es una tarea compleja, debido a la inestabilidad biológica de la materia prima *per se*, siendo más vulnerables a descomponerse en comparación con otras matrices alimenticias. El alto contenido de agua o humedad, la aceleración de la auto oxidación y el alto nivel de actividad enzimática, son factores que influencian su naturaleza patogénica (Jayathilakan *et al.*, 2012). Aún con la complejidad señalada, la utilización y manejo adecuado deben llevarse a cabo, comprobándose hasta ahora que puede existir potencial de utilización.

Los llamados co-productos (hígado, molleja, cabeza, gónadas, esqueletos y descartes de maquillado) pueden consumirse sin procesar, ya que son considerados alimentos y por consecuencia, deben cumplir las mismas regulaciones y manejo (Jayathilakan *et al.*, 2012). Los subproductos (vísceras, colas, pieles, exoesqueleto, escamas, etcétera), no son valorados como alimento directo para humanos; sin embargo, se están apreciando por sus biocomponentes de interés tecnológico, tales como: péptidos bioactivos (Rabiei *et al.*, 2017, Vázquez *et al.*, 2019), colágeno (Zhu *et al.*, 2019), gelatina (Vázquez *et al.*, 2019), hidroxipapatita (Komur *et al.*, 2017), sulfato de condroitina (He *et al.*, 2017), ensilados (Özyurt *et al.*, 2019) y otros con aplicaciones en la industria

*Autor para correspondencia: Celia Olivia García Sifuentes, PhD
Correo electrónico: sifuentes@ciad.mx

Recibido: 15 de agosto de 2019

Aceptado: 7 de noviembre de 2019

alimentaria, farmacéutica, médica, biomédica, ingeniería ambiental, cosmética, entre otras (Siewe *et al.*, 2019). Aunque los co-productos y subproductos son identificados de manera diferente, frecuentemente en los grandes centros de distribución o incluso en las mismas plantas de proceso, no hay una separación adecuada de los mismos, por lo que se generan y acopian en el mismo sitio mezclas de subproductos y co-productos.

Por ejemplo, una industria de tamaño mediano que procesa atún desecha aproximadamente 450,000 t/año (Sultantbawa y Asknes, 2006) de subproductos que podrían ser una alternativa para su utilización en la industria alimentaria (Maiz *et al.*, 2019). Otro ejemplo es la tilapia, especie acuícola con mayor producción en el mundo (Tacon & Metian, 2015) y que probablemente se mantenga con este patrón para 2025 (FAO, 2016). Sus subproductos (cabezas, esqueletos, recortes, vísceras, aletas, escamas y recortes de maquillado), derivados del fileteo pueden ser de 69 a 72 % de la materia prima inicial (Osorio-Contreras, 2014) y podrían ser utilizados como alternativa de ingredientes para la industria de alimentos con el concomitante beneficio de los productores. Asociado a lo anterior, en los grandes centros de distribución son varias las especies que se filetean, por lo que finalmente se acopia una mezcla de subproductos de diferentes especies. La mayoría de los estudios realizados con subproductos se han llevado a cabo separando partes como pieles, escamas, vísceras, colas, esqueletos y de una sola especie (Bechtel *et al.*, 2019; Maiz *et al.*, 2019); no obstante, son escasos los estudios relacionados con la composición y el posible aprovechamiento de estas mezclas, por lo que su estudio resulta relevante debido a la gran diversidad y variabilidad en sus componentes.

En el presente estudio se planteó explorar la composición fisicoquímica de los subproductos generados por los grandes centros de distribución, en tres zonas del país, su variabilidad composicional en diferentes meses del año y proyectar un acercamiento sobre sus posibles usos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y preparación de la muestra

Las muestras se recolectaron de tres sitios distintos (empresas), a la misma hora y en tres meses diferentes. El primer sitio de muestreo fue en el segundo centro de distribución de pescados y mariscos más grande en el país, la muestra (MM) consistió en una mezcla de subproductos (cabezas, colas, esqueletos, pieles, etcétera) de diferentes especies pesqueras que se filetean y comercializan (angelito, plateado, tripa, guitarra, curvina, camarón, pargo, huachinango, dorado, robalo, cazón, manta, marlín y calamar). El segundo sitio de muestreo fue en una industria que recibe subproductos derivados del enlatado de atún, la muestra (AT) contenía esqueletos, cabezas, colas y parte de músculo oscuro cocidos. Finalmente, el tercer sitio de muestreo fue una planta procesadora de tilapia, la muestra (TL) de subproductos contenía esqueletos, cabezas, vísceras y colas. Las muestras AT y TL se colocaron dentro de bolsas con cierre hermético y se trasladaron en hieleras con una capa de gel

congelado y una de subproductos; mientras que las muestras MM primero se congelaron a -20 °C por una noche, para luego ser trasladadas vía aérea al laboratorio. Se realizaron tres muestreos en cada sitio, en diferentes meses. En el laboratorio, las muestras fueron homogeneizadas en una cortadora mezcladora (AS-40 Bowl Cutter. Ultrasource. Kansas City, USA. No.64108) durante 5 minutos a 4 °C y máxima velocidad (3360 rpm), empacadas y congeladas a -20 °C hasta su utilización.

Con el objetivo de explorar los diferentes subproductos generados por la industria pesquera en México, a las muestras recolectadas de cada sitio de muestreo, se les evaluaron diferentes parámetros de su composición fisicoquímica.

Evaluación de la composición química proximal

La evaluación de la composición química consistió en la cuantificación de humedad, ceniza, proteína y lípidos, siguiendo las metodologías de la AOAC (2000). La cuantificación de humedad fue realizada en base al método de secado en estufa por aire (950.46), el nitrógeno total utilizando el método micro Kjeldahl (960.52), el cálculo del contenido proteico se realizó multiplicando el contenido de nitrógeno x 6.25. El contenido de lípidos se calculó por medio del método de extracción Goldfish (920.39) y la cuantificación de cenizas fue por calcinación a 550 °C (920.153). Los resultados se expresaron en porcentajes (%).

Cuantificación de nitrógeno no proteico (NNP)

La cuantificación se realizó poniendo en contacto el homogeneizado con ácido tricloroacético al 7.5 % (TCA) en relación 1:2 (p/v). La muestra se homogenizó a alta velocidad en una licuadora Osterizer Blender Classic 465 (Sunbeam Mexicana) por dos minutos, haciendo una pausa de 30 segundos entre cada minuto. La mezcla se centrifugó a 2000 x g, a 4 °C por 15 minutos. El sobrenadante se recuperó y cuantificó el nitrógeno por medio de la metodología micro-Kjeldhal. El resultado de NNP se expresó en porcentaje.

Cuantificación de pH

Se determinó mediante la técnica de inmersión en solución 1:2 (homogeneizado:agua destilada), la muestra se homogenizó a alta velocidad en una licuadora. Posteriormente la muestra se puso en contacto con el electrodo conectado a un potenciómetro Thermo Scientific Orion 4 Star (Singapore).

Cuantificación de Bases Volátiles Totales (BVT)

Se cuantificó BVT mediante el método de óxido de magnesio (Woyewoda *et al.*, 1986). Diez g de muestra fueron colocados en un matraz de destilación con 300 mL de agua MilliQ. A la muestra homogeneizada se adicionaron 2 g de óxido de magnesio, 20 perlas de vidrio y 10 mL de agente antiespumante (aceite vegetal). Posteriormente la solución se destiló por 25 minutos, las BVT se colectaron en un matraz con ácido bórico al 2 %. Finalmente, la solución de ácido

bórico fue titulada con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.05 N, las BVT se expresaron como miligramos de nitrógeno por 100 g de muestra.

Cuantificación de prolina e hidroxiprolina (P, H)

Se realizó con la metodología propuesta por Vázquez *et al.*, (1997) con ligeras modificaciones. La muestra liofilizada y desgrasada se sometió a hidrólisis exhaustiva con HCl 6 M por 6 h a 150 °C, utilizando tioglicolato de sodio como antioxidante (1:1, p/p). La muestra hidrolizada se disolvió en buffer de citratos 0.5 M y se almacenó en congelación para su cuantificación. La cuantificación se realizó por medio de cromatografía líquida de alta presión por sus siglas en inglés (HPLC), conectado a un detector de fluorescencia Agilent 1100 series (Agilent Technologies, Palo Alto, CA). La separación de aminoácidos se realizó con una columna de fase reversa Agilent 300 Extend-C18 (4.6 X 150mm 3.5 micras), se utilizó NBD-Cl (7-cloro-4-nitrobenzo-2-oxa-1,3-diazol, $C_6H_2C_1N_3O_3$) como derivatizante. Se utilizaron estándares de Pro e HyP (1 mg/mL) y el estándar interno (El) fue el ácido α -aminobutírico (1 mg/mL). Los cromatogramas fueron analizados con ayuda del software Agilent ChemStation (Agilent Technologies, Palo Alto, CA).

Análisis Estadístico

Se realizaron tres muestreos completamente al azar ($n = 3$) en cada sitio. Los resultados son presentados como media \pm desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía (NCSS, 2011). Cuando se encontraron diferencias entre medias por cada muestreo o por sitios, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey-Kramer con un nivel de significancia del 5 % (NCSS, 2011).

RESULTADOS

Primer sitio de muestreo (MM)

La composición química de las muestras tomadas en el sitio MM durante los meses de octubre (MM1), diciembre (MM2) y marzo (MM3), se muestran en la Tabla 1. Se presentaron diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo para todos los parámetros medidos (pH, humedad, grasa, ceniza proteína, NNP, BVT, hidroxiprolina y prolina). El pH en MM3 (8.76) fue mayor ($p < 0.05$) que MM1 (7.52) y MM2 (7.41). El contenido de humedad fue mayor ($p < 0.05$) para MM3 (73.51 %) que para MM1 (72.23 %) y MM2 (72.51 %); sin presentarse diferencia ($p > 0.05$) entre estos dos últimos. El contenido de lípidos disminuyó ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo; mostrando el valor más alto (2.88 %) durante el mes de octubre (MM1) y el valor más bajo (1.21 %) el mes de marzo (MM3). Sin embargo, se observó para este último (MM3), valores de cenizas (6.15 %) y proteínas (18.5 %) mayores ($p < 0.05$) que MM2 y MM1, siendo MM1 quien presentó el menor valor para ambos parámetros (5.87 y 16.6 %, respectivamente).

El NNP para el mes de octubre (MM1) fue mayor ($p < 0.05$) que MM2 y MM3, presentando un valor de 1.23 %, lo

Tabla 1. Caracterización composicional de biomasa residual del sitio MM

Table 1. Residual biomass compositional characterization of the MM site. NNP: Nitrógeno no proteico. BVT: Bases volátiles totales. Diferentes literales en la misma fila son significativos ($p < 0.05$).

Parámetros Evaluados	MM1	MM2	MM3
pH	7.52 \pm 0.11 ^a	7.41 \pm 0.04 ^a	8.76 \pm 0.02 ^b
Humedad (%)	72.23 \pm 0.67 ^a	72.50 \pm 0.21 ^a	73.51 \pm 0.16 ^b
Lípidos (%)	2.88 \pm 0.27 ^a	1.76 \pm 0.08 ^b	1.21 \pm 0.04 ^c
Ceniza (%)	5.87 \pm 0.50 ^a	5.38 \pm 0.07 ^b	6.15 \pm 0.07 ^c
Proteína (%)	16.59 \pm 1.47 ^a	17.41 \pm 0.07 ^{ab}	18.46 \pm 0.04 ^b
NNP (%)	1.23 \pm 0.03 ^a	0.57 \pm 0.006 ^b	0.51 \pm 0.001 ^c
BVT (mgN/100g)	272.79 \pm 5.26 ^a	79.59 \pm 0.22 ^b	211.47 \pm 0.25 ^c
Hidroxiprolina (mg/g)	6.98 \pm 2.76 ^a	23.18 \pm 10.76 ^b	12.35 \pm 2.61 ^{ab}
Prolina (mg/g)	11.35 \pm 3.46 ^a	56.78 \pm 16.13 ^b	47.91 \pm 15.13 ^b

que representa el 6.9 % del nitrógeno total cuantificado. El valor menor fue para MM3 de 0.51 %, lo cual representó el 2.7 % del nitrógeno total. El valor mayor ($p < 0.05$) para BVT también fue para el mes de octubre (MM1), observando un valor de 272.98 mg/100g; mientras que el valor menor fue para el mes de diciembre (79.59 mg/100g); por lo tanto, octubre (MM1) y marzo (MM3) fueron los meses donde se obtuvieron valores de BVT por encima de los 200 mg/100g.

En el presente estudio, se detectó la presencia de H y P, lo que indica la presencia de colágeno. El valor de H durante el mes de diciembre (MM2) fue mayor ($p < 0.05$) que MM3 y MM1; así, MM2 mostró 23.18 mg de H/g muestra, mientras que MM1 fue de 6.98 mg de H/g muestra, mostrando el menor valor. Con respecto a la presencia de P, al igual que para H, el menor valor se presentó en MM1 (11.35 mg/g muestra); mientras que MM2 y MM3 presentaron valores similares ($p > 0.05$).

Segundo sitio de muestreo (AT)

Las muestras del sitio AT fueron tomadas en noviembre (AT1), marzo (AT2) y mayo (AT3) respectivamente. La Tabla 2 muestra los resultados de la composición, El pH en AT2 correspondiente al mes de marzo (6.24) fue significativamente menor ($p < 0.05$) que AT1 (6.49) y AT3 (6.47), sin mostrar diferencia ($p > 0.05$) entre estos dos últimos. El valor de humedad fue diferente ($p < 0.05$) según el mes de muestreo, siendo más alto para AT1 (63.70 %) y más bajos para AT2 (63.40 %) y AT3 (62.74 %). El contenido de lípidos mostró diferencia ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo. Así, según el mes de muestreo, el contenido de lípidos aumentó, siendo 4.76, 6.45 y 9.20 % para AT1, AT2 y AT3, respectivamente; fueron los meses de marzo y mayo donde se observó mayor contenido de lípidos; coincidiendo también con los meses en los que se observó menor contenido de humedad. El contenido de ceniza también mostró diferencia ($p < 0.05$) con el respecto al mes de muestreo; sin embargo, contrario a la humedad, el contenido de ceniza se incrementó, siendo AT1 (7.43 %) el de menor contenido ($p < 0.05$), seguido de AT2 (8.01 %) y AT3 (8.07 %).

Tabla 2. Caracterización composicional de biomasa residual del sitio AT
Table 2. Residual biomass compositional characterization of the AT site.

Parámetros Evaluados	AT1	AT2	AT3
pH	6.49 ± 0.0 ^a	6.24 ± 0.02 ^b	6.47 ± 0.06 ^a
Humedad (%)	63.7 ± 0.09 ^a	63.4 ± 0.13 ^b	62.74 ± 0.13 ^c
Lípidos (%)	4.76 ± 0.10 ^a	6.45 ± 0.13 ^b	9.20 ± 0.04 ^c
Ceniza (%)	7.43 ± 0.13 ^a	8.01 ± 0.14 ^b	8.07 ± 0.1 ^b
Proteína (%)	20.60 ± 0.16 ^a	18.83 ± 0.09 ^b	16.11 ± 0.09 ^c
NNP (%)	0.62 ± 0.0 ^a	0.48 ± 0.002 ^b	0.43 ± 0.003 ^c
BVT (mgN/100g)	22.95 ± 0.42 ^a	32.47 ± 0.27 ^b	39.59 ± 0.03 ^c
Hidroxiprolina (mg/g)	8.49 ± 4.10 ^a	3.51 ± 1.24 ^b	5.29 ± 1.19 ^{ab}
Prolina (mg/g)	27.01 ± 10.79 ^a	21.42 ± 6.53 ^a	32.35 ± 4.25 ^a

NNP: Nitrógeno no proteico. BVT: Bases volátiles totales. Diferentes literales en la misma fila son significativos ($p < 0.05$).

Con respecto al contenido de proteínas, el sitio AT mostró diferencias ($p < 0.05$) entre el mes de muestreo. Contrario al contenido de lípidos y cenizas según el mes de muestreo, el contenido de proteínas disminuyó, siendo de 20.60, 18.83 y 16.11 % para AT1, AT2 y AT3, respectivamente. El contenido de NNP fue diferente ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo. El valor mayor fue para AT1 (0.62 %), mientras que el menor fue para AT3 (0.43 %). Sin embargo, aunque el NNP fue menor en mayo (AT3); lo contrario sucedió con BVT, donde se observó el mayor ($p < 0.05$) valor en el mismo mes (39.59 mgN/100g muestra) comparado con AT1 (22.95 mgN/100g) y AT2 (32.47 mgN/100g); por lo tanto, AT3 mostró estar por encima del valor permitido (35 mg/100g) por la NOM-242-SSA1-2009. El contenido de H en el sitio AT mostró diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo; observando el mayor valor en AT1 (8.49 mg/g muestra), seguido de AT3 y AT2. Con respecto al contenido de P, no se presentaron diferencias ($p > 0.05$) con respecto al mes de muestreo, encontrándose valores en un rango de 21 a 32 mg/g muestra, siendo el valor menor para AT2.

Tercer sitio de muestreo (TL)

Las muestras evaluadas en el sitio TL fueron tomadas en los meses de noviembre (TL1), diciembre (TL2) y marzo (TL3). Los resultados de la composición son mostrados en la Tabla 3. No se encontró diferencia ($p > 0.05$) en el valor de pH con respecto al mes de muestreo, presentándose rango de pH de 6.66 a 6.89. El contenido de humedad fue diferente ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo. El valor más alto fue para TL1 (64.67 %); mientras que el menor valor fue para TL2 (58.39 %). El contenido de lípidos resultó ser diferente ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo, el valor mayor se observó en TL2 (21.32 %) y el valor menor fue para TL1 (16.8 %). El contenido de cenizas mostró diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo. El valor mayor se observó en TL1 de noviembre (6.39 %), mientras que el menor valor lo presentó TL2 (4.67 %).

El contenido de proteína mostró diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo. El valor mayor se observó

Tabla 3. Caracterización composicional de biomasa residual del sitio TL
Table 3. Residual biomass compositional characterization of the TL site.

Parámetros Evaluados	TL1	TL2	TL3
pH	6.66 ± 0.13 ^a	6.66 ± 0.07 ^a	6.89 ± 0.007 ^a
Humedad (%)	64.67 ± 0.43 ^a	58.39 ± 0.15 ^b	63.12 ± 0.13 ^c
Lípidos (%)	16.18 ± 0.05 ^a	21.32 ± 0.05 ^b	17.83 ± 0.10 ^c
Ceniza (%)	6.39 ± 0.17 ^a	4.67 ± 0.08 ^b	5.30 ± 0.10 ^c
Proteína (%)	11.51 ± 0.12 ^a	11.74 ± 0.10 ^b	12.66 ± 0.12 ^c
NNP (%)	0.31 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.002 ^b	0.16 ± 0.003 ^c
BVT (mgN/100g)	10.65 ± 0.50 ^a	12.29 ± 0.23 ^b	15.40 ± 0.11 ^c
Hidroxiprolina (mg/g)	14.80 ± 6.20 ^a	12.48 ± 2.68 ^a	10.77 ± 1.46 ^a
Prolina (mg/g)	26.83 ± 11.31 ^a	28.55 ± 5.76 ^a	41.25 ± 13.12 ^a

NNP: Nitrógeno no proteico. BVT: Bases volátiles totales. Diferentes literales en la misma fila son significativos ($p < 0.05$).

en TL3 (12.66 %), mientras que el valor menor se presentó en TL1 (11.51 %). Con respecto al contenido de NNP, los resultados también mostraron diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo, encontrándose en un rango de 0.16 a 0.37 %; el mayor valor se observó en TL2. Los resultados de BVT mostraron diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo. Los valores obtenidos estuvieron dentro de los valores permisibles (35 mg N BVT/100 g), ya que el mayor valor fue de 15.40 mg N BVT/100 g para TL3, mientras que el menor valor fue de 10.65 mg N BVT/100 g para TL1. El contenido de H mostró diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo, observando el valor más alto en TL1 (14.80 mg/g muestra) y el más bajo en TL3 (10.77 mg/g muestra). El contenido de P estuvo en un rango de 26.83 a 41.25 mg/g, aunque no se observaron diferencias ($p < 0.05$) con respecto al mes de muestreo.

La Tabla 4 muestra la comparación de los parámetros de composición entre los tres sitios de muestreo (MM, AT y TL). Se observaron diferencias ($p < 0.05$) entre los tres sitios de muestreo para todos los parámetros evaluados. MM presentó el pH más alto ($p < 0.05$) con valor de 7.89, seguido de TL (6.74) y AT (6.40). La humedad también fue más alta en MM ($p < 0.05$), observando valor de 72.75 %; mientras que para AT (63.28 %) y TL (62.06 %) fueron similares ($p > 0.05$). Con respecto al contenido de lípidos para MM, éste fue de 1.95 %; mientras que AT y TL resultaron ser 4.7 y 9.4 veces mayores ($p < 0.05$), respectivamente. El contenido de cenizas mostró ser mayor ($p < 0.05$) para AT (7.84 %) en comparación con MM (5.80) y TL (5.46); estos dos últimos mostraron valores similares ($p > 0.05$). El contenido de proteína fue más alto en AT (18.51 %) y MM (17.49 %) ($p > 0.05$), los cuales resultaron ser estadísticamente distintos a TL (11.97 %). Sin embargo, el contenido de H fue más alto en MM (14.86 mg/g) y TL (13.23 mg/g) (MM vs TL = $p > 0.05$), los cuales resultaron ser estadísticamente distintos a AT (6.06 %). Por lo tanto, MM y TL podrían presentar mayor contenido de colágeno que AT.

El contenido de NNP fue diferente ($p < 0.05$) entre todos los sitios de muestreo, mostrando el valor más alto en MM (0.77 mgN/100g), seguido de AT (0.51 mgN/100g) y TL

Tabla 4. Comparativo composicional de biomasa residual procedente de los sitios MM, AT y TL.**Table 4.** Residual biomass compositional comparative of the MM, AT and TL sites.

Parámetros	MM	AT	TL
pH	7.89 ± 0.12 ^a	6.40 ± 0.63 ^b	6.74 ± 0.12 ^c
Humedad (%)	72.75 ± 0.69 ^a	63.28 ± 0.42 ^b	62.06 ± 2.75 ^b
Lípidos (%)	1.95 ± 0.73 ^a	6.80 ± 1.88 ^b	18.45 ± 2.20 ^c
Ceniza (%)	5.80 ± 0.43 ^a	7.84 ± 0.32 ^b	5.46 ± 0.73 ^a
Proteína (%)	17.49 ± 1.12 ^a	18.51 ± 1.90 ^a	11.97 ± 0.52 ^b
NNP (%)	0.77 ± 0.33 ^a	0.51 ± 0.08 ^b	0.28 ± 0.09 ^c
BVT (mgN/100g)	188.01 ± 83.0 ^a	31.67 ± 7.0 ^b	12.78 ± 2.04 ^c
Hidroxiprolina (mg/g)	14.86 ± 9.68 ^a	6.06 ± 3.27 ^b	13.23 ± 4.48 ^a
Prolina (mg/g)	40.07 ± 23.63 ^a	27.62 ± 8.53 ^b	31.08 ± 11.20 ^b

NNP: Nitrógeno no proteico. BVT: Bases volátiles totales. Diferentes literales en la misma fila son significativos.

(0.28 mgN/100g). El mismo comportamiento fue observado para el caso de BVT, donde el valor más alto también fue para MM (188 mgN/100g); seguido por AT (31.67 mgN/100g) y TL (12.78 mgN/100g), lo que evidencia que TL pudo tener mejor manejo en comparación con los otros dos sitios de muestreo.

DISCUSIÓN

Primer sitio de muestreo (MM)

De manera general, se ha reportado que el pH *post-mortem* de los productos pesqueros oscila entre 5.8 y 6.5 (Huss, 1995). No obstante, el pH de este sitio mostró estar por encima de este valor (Tabla 1) para los tres muestreos analizados. El alto valor de pH puede estar relacionado con la diversidad de especies y el tiempo prolongado de exposición de los subproductos al aire libre (4-10 h) y temperatura ambiente, período en el cual se están llevando a cabo los procesos deteriorativos por vía enzimática y microbiana, formándose compuestos básicos que neutralizan el ácido láctico e incrementan el pH, promovido por un manejo inadecuado (Massa *et al.*, 2006), tal como lo demuestra el contenido de BVT. Adicionalmente a lo anterior, el sitio de muestreo MM es el segundo abastecedor más grande de productos de origen pesquero en el país y genera aproximadamente 7 toneladas de subproductos (esqueletos, cabezas, colas, conchas, pieles, vísceras, entre otros) por día. Con esta cantidad de subproductos acopiada a temperatura ambiente en el mismo lugar; se promueve el aumento de temperatura en el interior de los contenedores, que, junto con el escurrimiento de sangre, causan la descomposición, generando un efecto en su composición y comportamiento químico, además de producir contaminación.

La muestra MM, está formada por diversas de especies, cuyos valores de humedad se ajustan a una posible combinación de peces magros y peces grasos. Así, el valor de humedad es muy cercano al valor general (75 %) descrito por Kosseva, *et al.*, (2013). Aunque se observaron diferencias en el contenido de lípidos con respecto al mes de muestreo, en ge-

neral puede considerarse que la biomasa MM presentó bajo contenido de lípidos, ya que el valor más alto es de 2.88 %. Esta composición muy probablemente está asociada con las especies manejadas y procesadas en cada estación; no obstante, desde el punto de vista de estabilidad y durabilidad de la biomasa, es positivo que el contenido de lípidos sea bajo, ya que sus procesos oxidativos se podrían retardar. Es de esperarse que por la naturaleza de la muestra se observe alta cantidad de ceniza; estudios previos han reportado niveles de ceniza de hasta 21.79 % en base seca en subproductos de la pesca; de este porcentaje, el 60-70 % está compuesto por minerales como calcio, fosforo, hidroxiapatita, hierro, cobre, selenio y probablemente altos niveles de yodo, componentes que poseen una potencial aplicación de valor nutricional (Ghaly *et al.*, 2013; Kosseva, 2013).

Uno de los principales beneficios de los subproductos o desechos obtenidos a partir del procesamiento de productos de la pesca, es la recuperación de proteínas (Ghaly *et al.*, 2013; Shaviklo, 2015). Aunque hubo diferencia entre los muestreos, la biomasa del sitio MM resultó ser interesante por su alto contenido proteico a través de los diferentes meses de muestreo. Esto reafirma que los subproductos de origen pesquero pueden ser una buena fuente de proteína y MM, no es la excepción, quien además presentó H; por lo que, en base a su contenido, podría ser una alternativa para la extracción de biomoléculas como el colágeno y gelatina (Zhu *et al.*, 2019; Vázquez *et al.*, 2019).

La presencia de hidroxiprolina (H) y prolina (P), es indicativo de la presencia de colágeno (Jie *et al.*, 2018). Por lo tanto, debido al alto contenido de proteínas, H y P, se puede considerar a los subproductos de MM como una fuente alternativa para la obtención de colágeno. Sin embargo, el contenido de NNP y BVT sugieren que se requiere de tener un mejor manejo para recuperar las proteínas y por ende el colágeno. Puesto que BVT es considerado como un indicador de deterioro y, en MM este valor estuvo muy por encima de los valores permisibles (35 mg de N-BVT/100g, NOM-SSA1-242-2009), además de presentar otros signos de deterioro como olor inaceptable.

Segundo sitio de muestreo (AT)

Los valores de pH obtenidos fueron mayores que el reportado por Márquez-Figueroa *et al.* (2006) para músculo de atún fresco (5.8). Esto puede ser debido al tipo de muestra que visualmente estaba compuesta en su mayoría por huesos del esqueleto, por lo que fue alto en cenizas y, muy probablemente también en minerales como calcio que hicieron que el pH tienda a incrementarse. Además, otros factores como el manejo inadecuado, tiempo de traslado, control de temperatura y exposición por un tiempo prolongado de los residuos por las empresas pudieron influir, aunque no tanto como para el sitio MM, que mostró evidencias de deterioro.

Generalmente la humedad para productos pesqueros frescos es de aproximadamente 75 % (Kasseva, 2013), por lo que se puede asumir que posiblemente las condiciones del proceso y la exposición al medio ambiente (aire y tem-

peratura) durante los meses más cálidos de marzo y mayo, promovieron la deshidratación de la biomasa, que además de la cantidad de hueso presente, hicieron que la humedad estuviera por debajo de ese valor.

Los valores encontrados para lípidos son muy similares a los reportados para harina (13.9 %) y ensilados (10 %) elaborados con subproductos derivados del enlatado de atún (Hernández *et al.*, 2014; Garrido, *et al.*, 2013). Por lo que, el alto contenido de lípidos este tipo de subproductos podría ser una fuente alternativa de recuperación de ácidos grasos, ya que se ha reportado que el atún es una fuente rica en ácidos grasos polinsaturados como EPA y DHA (Rani *et al.*, 2016); los subproductos del atún no son la excepción; de Oliveira *et al.* (2017), mostraron la presencia de hasta 32 % de EPA+DHA en aceite extraído de subproductos de atún por el método enzimático, confirmando también que el DHA es el ácido graso predominante (27 %). El comportamiento en el contenido de cenizas según el mes de muestreo es explicable, ya que, al disminuir el contenido de agua en la muestra, se concentran más los sólidos; además, la variabilidad de la muestra pudo haber influido de manera que hubiera más contenido de restos óseos o de esqueleto durante esos meses.

Al igual que la humedad, el contenido de proteínas disminuyó en el orden de noviembre, marzo, mayo, mientras que los lípidos aumentaron. Sin embargo, el contenido de proteínas es alto, tanto que podría también ser una fuente de este componente para su futura recuperación y utilización. El contenido de BVT para AT1 y AT2 estuvieron dentro del valor permisible para productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados (35 mg de N-BVT/100g, NOM-SSA1-242-2009), mientras que AT3, no; probablemente al ser mayo el mes más caliente, la temperatura y tiempo de traslado de los subproductos haya influido en la formación de compuestos aminados que fueron detectados en BVT.

Se observó que el sitio AT presentó el valor menor de H y P en comparación con los sitios MM y TL, por lo que, aunque se evidencia la presencia de colágeno y el contenido de proteína es alto, el pretender aprovechar esta materia prima para extraer colágeno, posiblemente traería poco rendimiento.

Tercer sitio de muestreo (TL)

El pH observado en TL fue cercano al reportado por Castillo *et al.* (2014) y Abelti (2013), quienes reportaron pH de 6.1 y 6.6, respectivamente en filete de tilapia durante el día cero de almacenamiento en hielo, reportando también pH cercano a 7 hasta el día 18. Ellos relacionaron el aumento de pH con la formación de productos básicos de descomposición como amonio y trimetilamina, indicando crecimiento bacteriano, pérdida de calidad y posible deterioro; el valor de pH en las muestras de TL está en un rango donde el deterioro aún no se hace evidente y se puede corroborar con el contenido de BVT observado, el cual se encontró muy por debajo del límite establecido por la regulación mexicana. Los valores de humedad obtenidos son similares a los observados para el sitio AT; no obstante, los subproductos TL no fueron expuestos al medio ambiente, por lo que se puede deducir

que el alto contenido de huesos provenientes de la cabeza, cola y esqueletos, además del contenido visceral, hacen que el contenido de humedad sea menor al del músculo (79 %) (Jim *et al.*, 2017). Bringas-Alvarado *et al* (2018), reportaron contenido de humedad de 61 % en homogeneizado de subproductos de tilapia, valor muy similar al de TL.

El contenido de lípidos fue hasta 1.8 veces mayor a lo reportado por Bringas-Alvarado *et al.* (2018) para subproductos de tilapia, lo que indica un comportamiento variable para esta especie de cultivo según la época del año. En este sitio se evidencia como, a excepción del agua, los lípidos son el componente mayoritario, mismos que están relacionados con la humedad, a menor humedad, mayor contenido de lípidos. Al ser los lípidos el componente mayoritario, colocan a este tipo de subproductos como una alternativa para su aprovechamiento hacia diferentes fines dependiendo de su composición en ácidos grasos. Así, para subproductos de tilapia, Bringas-Alvarado *et al.* (2018) observaron ~40, 10 y 50 % de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, respectivamente. No obstante, el 34 % de los ácidos grasos poliinsaturados, no fue DHA y EPA, si no ácido linoleico, mientras que, el 25 % de los ácidos grasos saturados fue palmítico, datos a considerar para futuras aplicaciones.

El alto contenido de cenizas es debido a la presencia de altas cantidades de huesos contenidos en la muestra, puesto que esta fue el esqueleto unido a la cabeza, aletas y víscera en una sola pieza. Por lo que, los subproductos evaluados pueden considerarse como una fuente de minerales o materiales que podrían recuperarse para futuras aplicaciones como la hidroxiapatita. Con respecto al contenido de proteína, aunque puede considerarse no alto, también se podría evaluar, recuperar y aprovechar. Los valores de NNP observados pueden ser considerados como normales para productos bien manejados; por otra parte, fueron los valores más bajos en comparación con los sitios MM y AT. Adicionalmente, los resultados de BVT sugieren una biomasa fresca durante los meses evaluados.

La muestra TL1 mostró el menor contenido de proteína de los tres muestreos, pero mayor contenido de H; indicativo que TL1 podría contener mayor porcentaje de colágeno; contrario a TL3 que, aunque mostró el mayor contenido de proteína, fue quien presentó menor cantidad de H, por lo que el porcentaje de colágeno sería menor. Por lo tanto, aunque el porcentaje de proteína de TL fue el menor en comparación con los sitios MM y AT, esta proteína podría ser altamente aprovechable para la obtención de colágeno.

En la Tabla 4 se puede observar que cada empresa podría ser una alternativa para el uso de sus subproductos en diferentes propósitos o aplicaciones. A excepción del contenido de lípidos, los valores de pH, BVT y NNP están muy relacionados con el manejo y sugieren cambios bioquímicos o microbiológicos están ocurriendo; sin embargo, por el pH *per se* no debe tomarse como referencia de calidad, pero al asociarlo con BVT, brinda herramientas suficientes para predecir la calidad de un producto pesquero (Ezati *et al.*, 2019). Por lo tanto, con el presente estudio se confirma

la necesidad e importancia de mejorar las buenas prácticas de manejo de subproductos y de esta manera, aumentar las posibilidades de su utilización en aplicaciones relacionadas con el consumo humano indirecto o directo, dependiendo de la legislación, sobre todo con el sitio MM. De esta forma, buenas prácticas de manejo post-proceso de materia prima fresca y subproductos, así como la congelación en la cadena de frío son recomendables para prevenir el deterioro *per se* y desnaturalización proteica (Shaviklo, 2015).

Complementando lo anterior, es conocido que los productos de origen pesquero en fresco poseen alta humedad, lo cual los hace más sensibles al deterioro, disminuyendo su vida de anaquel durante el almacenamiento y transporte; por lo que se requiere de técnicas de manejo adecuado para preservar su frescura. Como lo mostraron los resultados, fue también MM quien mostró más evidencias de deterioro. El sitio AT y TL serían una buena alternativa para la recuperación y aprovechamiento de sus lípidos, contrario al sitio MM, que no lo sería debido a su bajo contenido. Por otra parte, si los subproductos se quieren aprovechar para extraer colágeno MM y TL serían la opción. Sin embargo, si se quiere aprovechar el contenido de proteína, entonces se recomienda el uso de AT. La proteína pudiera ser utilizada en la producción de alimento para animales, polvos secos de proteína como ingrediente alimentario (Shaviklo, 2015), harina grado alimenticio, enzimas (Vidanarachchi *et al.*, 2014) y otros.

Otro aspecto importante, es que los subproductos mostraron ser ricos en cenizas, componente donde está presente materia inorgánica como sales y minerales; si estos subproductos se utilizaran directamente como alimento, pudieran afectar la digestibilidad de ciertas especies de camarón y pescado (Méndez-Aguilar *et al.*, 2014). Sin embargo, por el hecho de ser de origen pesquero, la presencia cabezas, colas y esqueletos, pueden ser fuente de calcio, fosforo, sodio, potasio y magnesio, componentes que podrían utilizarse para otros fines en la industria alimentaria, farmacéutica y biomédica. Bechtel *et al.* (2019), reportaron calcio (6.33 %) y fosforo (3.27 %) como componentes inorgánicos mayoritarios presentes en subproductos (cabezas, colas, aletas y esqueletos) de bagre, seguidos de potasio (0.51 %), sodio (0.27 %) y magnesio (0.13 %). Todos estos componentes inorgánicos podrían aumentar dependiendo del método de recuperación y aprovechamiento.

Los resultados observados representan evidencia contundente de que existe en el país potencial para desarrollar la industria del aprovechamiento y uso de los subproductos a nivel industrial, que como alternativa tiene grandes posibilidades de generar divisas y dar empleo, que además resultaría amigable con el ambiente al ya no descartar, confinar, enterrar o tirar este tipo de residuos orgánicos. Sin embargo, la calidad de la materia prima del MM con este propósito probablemente no es la idónea, tomando en cuenta la combinación de elevado pH (7.89), humedad (72.75 %) y BVT (188.0 mg N/100 g). Co-productos derivados de la utilización de subproductos pesqueros como alternativas para

la potencial generación de productos de valor agregado que sean usados como posibles aditivos para consumo que no sea animal, requerirá de esfuerzos legales de acuerdo a las normativas de cada país, así como considerar la calidad, seguridad e inocuidad respectiva, por todas las empresas involucradas.

CONCLUSIÓN

La mayoría de los parámetros evaluados para todos los sitios mostraron ser diferentes dependiendo del mes de muestreo. La diferencia entre los tres sitios evaluados con respecto al pH, BVT, lípidos y NNP, evidenciaron la necesidad de mejorar el manejo de los subproductos. En general los tres sitios evaluados mostraron ser importante fuente de materia inorgánica (cenizas). Los subproductos del sitio MM, previa mejora de su manejo y calidad podrían dirigirse a la obtención de proteínas como el colágeno ya que es rica en hidroxiprolina. Por otra parte, el sitio AT podría considerarse para recuperar lípidos y proteínas en general; mientras que de los subproductos del sitio TL se podrían recuperar colágeno y lípidos. La biomasa de AT y TL presentó mejor frescura que MM durante todo el ciclo de estudio, siendo esta última la mejor de todas. Por lo tanto, los tres sitios de muestreo podrían considerarse como una fuente alternativa para recuperar componentes como proteínas, colágeno, lípidos y cenizas dependiendo del sitio.

AGRADECIMIENTO

El presente estudio fue parte del proyecto, "Evaluación de la factibilidad técnico-económica para la generación de biocombustibles y co-productos a partir de biomasa residual de la pesca y acuacultura" aprobado por FONSEC-SEP-CONACyT, clave 24384.

REFERENCIAS

- Abelti, A.L. 2013. Microbiological and chemical changes of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus L.*) fillet during ice storage: effect of age and sex. Advance Journal of Food Science and Technology. 5 (10): 1260-1265. DOI: 10.19026/ajfst.5.3093.
- Bechtel, P.J., Watson, M.A., Lea, J.M., Bett, G.K.L. y Bland, J.M. 2019. Properties of bone from *Catfish* heads and frames. Food Science y Nutrition. 7 (4): 1396-1405. DOI: 10.1002/fsn.3.974.
- Bringas, A.L., Zamorano, O.A., Rojo, R.J.B., González, F.M.L., Pérez, V.M., Cárdenas, L.J.L. y Navarro, G.G. 2018. Evaluación del ensilado fermentado de subproductos de tilapia y su utilización como ingrediente en dietas para bagre de canal. Biotecnia. 20 (2): 85-94.
- Castillo, Y.F.J., Jiménez, R.E.I., Cenizales, R.D.F., Márquez, R.E., Montoya, C.N., Ruiz, C.S. y Ocaño, H.V.M. 2014. Postmortem biochemical changes and evaluation of the freshness in the muscle of tilapia (*Oreochromis niloticus*) during the storage in ice. Journal of Fisheries and Aquatic Science. 9 (6): 435-445. DOI: 10.3923/jfas.2014.435.445.
- De Oliveira, D.A.S.B., Licodiedoff, S., Furigo, A.J.R., Ninow, J.L., Bork, A.J., Podestá, R., Block, J.M. y Waszczyński, N. 2017. Enzymatic extraction of oil from yellowfin tuna (*Thunnus*

- albacares*) by-products: A comparison with other extraction methods. International Journal of Food Science and Technology. 52: 699-705. DOI: 10.1111/ijfs.13324.
- Ezati, P., Tajik, H., Moradi, M. y Molaei, R. 2019. Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet. International Journal of Biological Macromolecules. 132: 157-165.
- Garrido, G.E., Orawattanamateekul, W., Sentina J. y Srinivasa G.T.K. 2013. By-products of tuna processing. Food and Agriculture Organization of the United Nations, GLOBEFISH, Products, Trade and Marketing Branch, Fisheries and Aquaculture Policy and Economics Division. Rome, Italy. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/a-bb215e.pdf>.
- Ghaly, A.E., Ramakrishnan, V.V., Brooks, M.S., Budge, S.M. y Dave, D. 2013. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. Journal Microbial and Biochemical Technology. 5 (4): 107-129. DOI: 10.4172/1948-5948.1000110.
- He, G., Yin, Y., Yan, X. y Wang, Y. 2017. Semi-bionic extraction of effective ingredient from fishbone by high intensity pulsed electric fields. Journal of Food Process Engineering. 40 (2): 1-9. DOI: 10.1111/jfpe.12392.
- Hernández, C., Hardy, R.W., Contreras, R.D., López, M.B., González, R.B. y Domínguez, J.P. 2014. Evaluation of tuna by-product meals a protein source in feeds for juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*). Aquaculture Nutrition. 20 (6): 574-582. DOI: 10.1111/ANU.12110.
- Huss, H.H. 1995. Quality and quality changes in fresh fish. FAO Fisheries technical paper 348. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/V7180E/V7180E00.HTM> (Website accessed: Nov, 2019).
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. y Bawa, A.S. 2012. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. Journal of Food Science and Technology. 49 (3): 278-293. DOI 10.1007/s13197-011-0290-7.
- Jie, L., Wang, M., Qiao, Y., Tian, Y., Liu, J., Qin S. y Wu, W. 2018. Extraction and characterization of type I collagen from skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its potential application in biomedical scaffold material for tissue engineering. Process Biochemistry. (74): 156-163. DOI: 10.1016/j.procbio.2018.07.009
- Jim, F., Garamumhango, P. y Mussara, C. 2017. Comparative analysis of nutritional value of *Oreochromis niloticus* (*Linnaeus*), Nile Tilapia, meat from three different ecosystems. Journal of Food Quality. 2017: 1-8 DOI: 10.1155/2017/6714347.
- Komur, B., Altun, E., Aydogdu, M.O., Bilgiç, D., Gokce, H., Ekren, N., Salman, S., Inan, A. T., Oktar, F.N. y Gunduz, O. 2017. Hydroxyapatite synthesis from fish bones: Atlantic Salmon (*Salmon Salar*). Acta Physica Polonica. 131 (3): 400-402. DOI: 10.12693/APhysPolA.131.400.
- Kosseva, M.R. 2013. Sources, Characterization, and Composition of Food Industry. En: Wastes Food Industry Wastes. Kosseva, R. M. y C. Webb (eds.). pp. 37-60. Elsevier Inc. USA. DOI: 10.1016/B978-0-12-391921-2.00003-2.
- Maiz, B.H.D., Guadix, E.M., Gargouri, M. y Carpio, C.F.J. 2019. Valorization of tuna viscera by endogenous enzymatic treatment. International Journal of Food Science and Technology. 54:1100-1108. DOI: 10.1111/ifs.14009.
- Márquez-Figueroa, Y., Cabello, A.M., Villalobos, L.B., Gracia, G. y García, B.E. 2006. Cambios físicos-químicos y microbiológicos observados durante el proceso tecnológico de la conserva de atún. Zootecnia Tropical 24 (1): 17-29.
- Massa, A.E. 2006. Cambios bioquímicos post-mortem en músculo de diferentes especies pesqueras. Determinación de la vida útil de las mismas en frío. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional Mar de Plata. Mar de Plata, Argentina. 219p.
- Méndez-Aguilar, F.D., Olvera, N.M.A., Rodríguez, R.S. y Rosas, V.C. 2014. Nutritive value of four by-product meals as potential protein sources in diets for *Octopus maya*. Hidrobiológica. 24 (1): 69-77.
- Osorio-Contreras, M.A. 2014. Producción de harinas obtenidas a partir de coproductos de la industria del fileteado del pescado en Colombia. Tesis de Maestría (producción animal), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 101 p. También disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/48468/1/1018422052.2015.pdf>.
- Özyurt, G., Özütük, S.A., Uçar, Y., Durmuş, M. y Ozogul, Y. 2019. Evaluation of the potential use of discard species for fish silage and assessment of its oils for human consumption. International Journal of Food Science and Technology. 54 (4): 1081-1088. DOI: 10.1111/ijfs.13954.
- Rabiei, S., Nikoo, M., Rezaei, M. y Rafleian, K.M. 2017. Marine-derived bioactive peptides with pharmacological activities A review. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 11 (10): KE01-KE06. DOI: 10.7860/JCDR/2017/28672.10753.
- Rani, P., Kumar, V.P., Rao, R.K. y Shameem, U. 2016. Seasonal variation of proximate composition of tuna fishes from Visakhapatnam fishing harbor, east coast of India. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 4 (6): 308-313.
- Shaviklo, R.A. 2015. Development of fish protein powder as an ingredient for food applications: a review. Journal of Food Science Technology. 52 (2): 648-661. DOI: 10.1007/s13197-013-1042-7.
- Siewe, F.B., Akouan, F.J.A., Sandesh, S.K., Cathrine, M.S.B. y Kudre, T. G. 2019. Green and innovative techniques for recovery of valuable compounds from seafood by-products and discards: A review. Trends in Food Science & Technology. 85: 10-22. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.12.004.
- Sultانبawa, Y. y Asknes, A. 2006. Tuna process waste: an unexploited resource. Info Fish International 3: 37-40.
- Tacon, A. y Metian, M. 2015. Feed Matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 23 (1): 1-10.
- Vázquez, J.A., Fernández, C.A., Blanco, M., Rodríguez, A.I., Moreno, H., Bordarías, J. y Pérez, M.R.I. 2019. Development of bioprocesses for the integral valorization of fish discards. Biochemical Engineering Journal. 144: 198-208. DOI: 10.1016/j.bej.2019.02.004.
- Vázquez, O.F.A., Caire, C.G., Higuera-Ciapara, I. y Hernández, G. 1997. High performance liquid chromatographic determination of free aminoacids in Shrimp. Journal Liquid Chromatography. 18 (10): 2059-2068.
- Vidanarachchi, J.K., Ranadheera, C.S., Wijerathne, T.D., Udayangani, R.M., Samaraweera H. y Pickova J. 2014.

- Applications of Seafood By-products in the Food Industry and Human Nutrition. En: Seafood processing by-products: Trends and application. Kim, S. K. (Ed.). Springer, New York, NY. pp. 463-528. DOI: 10.1007/978-1-4614-9590-1_23.
- Woyewoda, A.D., Shaw, S.J., Ke, P.J. y Burns, B.G. 1986. Recommended laboratory methods for assessment of fish quality. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. (1448): 35-40.
- Zhu, S., Yuan, Q., Yang, M., You, J., Yin, T., Gu, Z., Hu, Y. y Xiong, S. 2019. A quantitative comparable study on multi-hierarchy conformation of acid and pepsin-solubilized collagens from the skin of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Materials Science & Engineering. 96: 446-457. DOI: 10.1016/j.msec.2018.11.043.