



## REVIEW



### Biofertilizers and biostimulants for agricultural and aquaculture use: Bioprocesses applied to organic by-products of the fishing industry

Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera

M. Florez-Jalixto<sup>1</sup> ; D. Roldán-Acero<sup>1</sup> ; J. R. Omote-Sibina<sup>1,\*</sup> ; A. Molleda-Ordoñez<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Peru.

\* Corresponding author: [romote@lamolina.edu.pe](mailto:romote@lamolina.edu.pe) (J. R. Omote-Sibina).

Received: 16 October 2020. Accepted: 28 November 2021. Published: 15 December 2021.

#### Abstract

The development of products for human consumption with added value from hydrobiological resources generates remnants of the raw material that are classified as co-products, by-products and solid and liquid organic waste that, if not treated, cause a negative environmental impact. The use of these remnants for agricultural purposes is a reason for research because they have bioactive compounds and minerals of interest; Thus, the by-products have been used in bioprocesses that use eco-friendly methods such as aerobic biodegradation, fermentation, hydrolysis and extraction in the case of macroalgae. The products obtained from bioprocesses, depending on their composition of macronutrients, micronutrients, amino acids, microorganisms and bioactive compounds, can be considered as organic fertilizer and/or biostimulant, whose effect ranges from the improvement of growth and development in plants to the control of the biotic and abiotic stress in crops, so that they can grow without difficulties. Organic fertilizers derived from by-products and residual effluents from the fishing industry have adequate macronutrient (N, P and K) and micronutrient (Ca, Mg, S, B, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, and Cl) contents. for plants, as well as peptides and amino acids that are considered as biostimulants. On the other hand, the application of organic fertilizers and biostimulants covers various areas such as horticulture, hydroponics and live food production, the studies found indicated its potential use as a tool to implement organic agriculture and circular economy.

**Keywords:** Fishing residues; effluent; organic fertilizer; hydrolyzate; live food; biofertilizer; biostimulant; circular economy.

#### Resumen

El desarrollo de productos para consumo humano con valor agregado a partir de recursos hidrobiológicos genera remanentes de la materia prima que son clasificados como coproductos, subproductos y residuos orgánicos sólidos y líquidos que, si no son tratados, ocasionan un impacto ambiental negativo. El aprovechamiento de estos remanentes con fines agrícolas es motivo de investigación debido a que poseen compuestos bioactivos y minerales de interés; es así que los subproductos se vienen utilizando en bioprocesos que emplean métodos ecoamigables como la biodegradación aerobia, fermentación, hidrólisis y extracción en caso de las macroalgas. Los productos obtenidos de los bioprocesos, dependiendo de su composición de macronutrientes, micronutrientes, aminoácidos, microorganismos y compuestos bioactivos, puede ser considerado como fertilizante orgánico y/o bioestimulante, cuyo efecto abarca desde la mejora del crecimiento y desarrollo en plantas hasta el control del estrés biótico y abiótico en cultivos, de manera que puedan crecer sin dificultades. Los fertilizantes orgánicos derivados de los subproductos y efluentes residuales de la industria pesquera presentan adecuados contenidos de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (Ca, Mg, S, B, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, y Cl) para las plantas, así como de péptidos y aminoácidos que son considerados como bioestimulantes. Por otro lado, la aplicación de fertilizantes orgánicos y bioestimulantes cubre diversas áreas como la horticultura, hidroponía y producción de alimento vivo, los estudios encontrados indicaron su potencial uso como herramienta para implementar la agricultura orgánica y economía circular.

**Palabras clave:** Residuos pesqueros; efluente; fertilizante orgánico; hidrolizado; alimento vivo; biofertilizante; bioestimulante; economía circular.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>

#### Cite this article:

Florez-Jalixto, M., Roldán-Acero, D., Omote-Sibina, J. R., & Molleda-Ordoñez, A. (2021). Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 635-651.

## 1. Introducción

Los desechos generados por la industria pesquera han venido ganando atención a nivel mundial debido a la creciente demanda de productos del mar, sus impactos negativos en el medio ambiente y sus implicaciones para la conservación y las políticas marinas (Erasmus et al., 2021). Esta industria genera grandes volúmenes de desechos, los que incluyen los desechos de procesamiento que consisten en concha, cabeza, huesos, intestino, aleta, piel, cantidades voluminosas de aguas residuales vertidas como efluentes y pescado infrautilizado de bajo valor, que se captura como captura secundaria de las operaciones de pesca comercial (Venugopal, 2021), esta incluye tanto la captura como acuicultura y procesamiento, así como la inevitable generación de subproductos y residuos orgánicos en toda la cadena productiva (Irianto et al., 2014). Durante el procesamiento de pescado, crustáceos y macroalgas, la generación promedio de residuos es alrededor de 30% (residuos sólidos), 45% (exoesqueleto y cefalotórax) y 10%, respectivamente; específicamente, los residuos de pescado contienen 58% de proteínas, 19% de grasas, además de minerales como hierro, zinc y calcio (Kim et al., 2017), además, agregaron que, cada tonelada de pescado consumido genera de 30 a 70% de residuos.

Los residuos generados en el procesamiento de crustáceos poseen un contenido de 39,6% de proteínas, 35% de minerales y 28,1% de cenizas (Sahu et al., 2017b). Adicionalmente, los residuos de las macroalgas contienen alrededor de 20% de proteína cruda, 50% de fibra cruda y 3% de cenizas, así como también micronutrientes como yodo, minerales y vitaminas (Kim et al., 2017), la formación de biomasa de macroalgas es consecuencia de la eutrofización de los océanos y terminan varadas en las zonas costeras, donde su posterior descomposición conlleva a la emisión de malos olores (Michalak et al., 2017).

La reutilización de los residuos pesqueros como principal materia prima en la formulación de fertilizantes orgánicos (FOs) es objeto de muchos estudios por su contenido de nutrientes y compuestos bioactivos que estimulan el crecimiento de las plantas y, sobre todo, sin la necesidad de competir con las necesidades alimentarias de la población (Sastro et al., 2015). Ahuja et al. (2020) mencionan que las industrias pesqueras generan una cantidad de residuos que dependen del nivel de procesamiento o tipo del pescado utilizado, del 30 al 70% del pescado original es residuo. Así mismo reportan que para evaluar el potencial de producción de fertilizantes a partir de residuos de pescado se utilizan conceptos de economía circular y agricultura ecológica (Figura 1). Bajo este contexto, el objetivo de esta revisión fue describir los distintos tipos de residuos sólidos y líquidos generados en la industria pesquera, cuya biomasa puede ser reutilizada mediante diversos bioprocesos, la mayoría microbiológicos y ecoamigables, en la producción de FOs, además de reportar sus aplicaciones en distintos sistemas agrícolas y acuícolas.

## 2. Subproductos orgánicos de la industria pesquera

Aspevik et al. (2017) señalaron que los procesos primarios llevados a cabo en la pesca y acuicultura generan materia

prima residual, que es dividida en: (a) coproductos, que poseen calidad de grado alimentario y (b) subproductos, aquellos que no son adecuados para el consumo humano por sus características. Comúnmente, los términos residuos, despojos y subproductos son usados indistintamente y con frecuencia para describir los mismos materiales (Ahuja et al., 2020). Cabe señalar que, cuando los subproductos de recursos hidrobiológicos (RHs) no son utilizados como materia prima para su transformación en productos con valor agregado se denominan residuos (Irianto et al., 2014). Según Irianto et al. (2014) los subproductos orgánicos derivados del aprovechamiento de los RHs son: (1) especies de tallas menores y especies provenientes de la pesca incidental, (2) remanentes de la industria pesquera, (3) productos secundarios que se generan durante el procesamiento del producto final, (4) subproductos generados principalmente por las limitaciones de la capacidad de planta (cuando la materia prima descargada excede la capacidad de planta) y (5) mermas, es decir, cuando un producto se encuentra en anaquel por un largo periodo e implica la pérdida de su calidad. Dichos subproductos orgánicos son derivados de los siguientes procesos industriales. (1) pesca para consumo humano directo e indirecto y (2) acuicultura y procesos de congelado, conservas, salado, deshidratado y madurado de RHs.

### 2.1 Subproductos sólidos

En la industria de conservas de RHs, los subproductos de pescado generados dependen del tipo de especie, así, por ejemplo, en el procesamiento de sardina, caballa y atún, los subproductos corresponden a las cabezas, vísceras, aletas, huesos y carne roja (Irianto et al., 2014). Arvanitoyannis & Kassaveti (2008) mencionan que de 1000 kg de pescado fresco o congelado como materia prima inicial se genera 15 m<sup>3</sup> de residuos líquidos, 100 a 150 kg de huesos y 250 kg de cabezas y vísceras; mientras que, el fileteado de 1000 kg de pescado de carne blanca genera de 40 a 50 kg de piel, 210 a 250 kg de cabezas y 240 a 340 kg de huesos, adicionalmente, el fileteado de 1000 kg de pescado de carne oscura genera entre 400 a 450 kg de residuos.

La Figura 2 muestra los subproductos sólidos generados en el procesamiento de congelado de filetes de merluza y los porcentajes que representan según el compendio de biológico tecnológico de las principales especies comerciales del Perú (ITP-IMARPE, 1995).

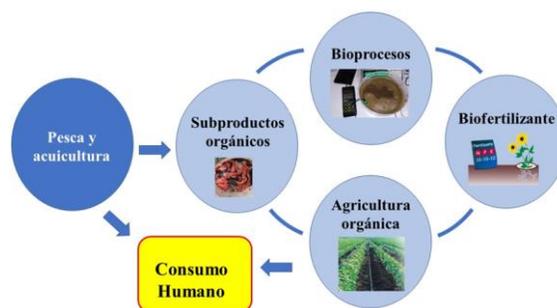


Figura 1. Procesamiento de subproductos de la pesca y acuicultura en economía circular.

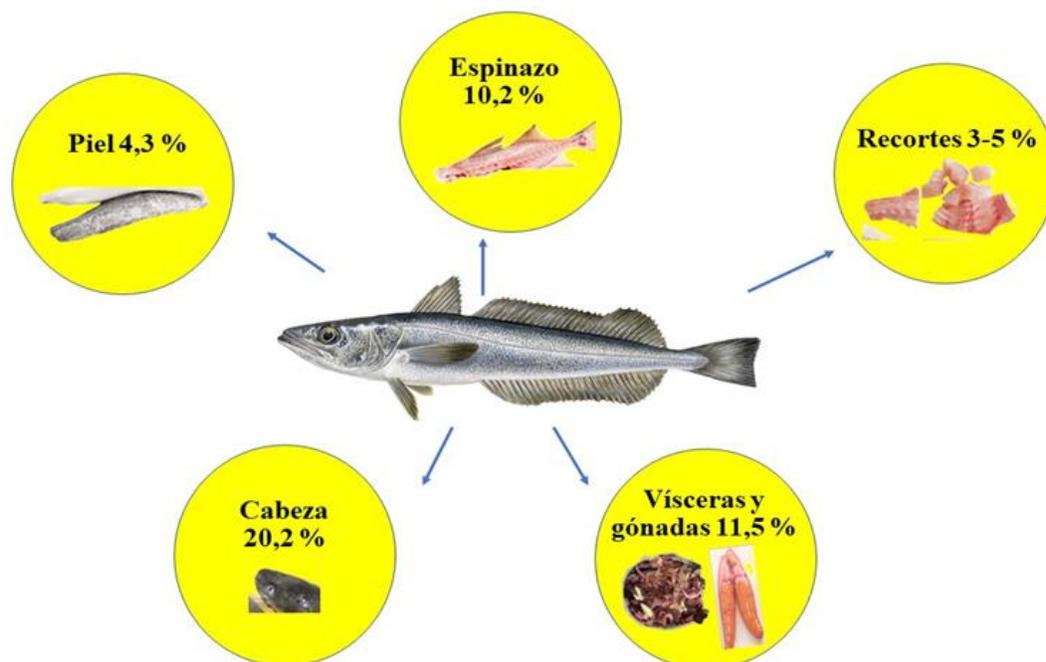


Figura 2. Subproductos derivados del procesamiento de merluza.

En la industria de congelado de crustáceos, el ingreso de 1000 g de langostino *Penaeus* spp. la generación residuos sólidos estuvieron conformados por 350 - 450 g de cabezas más apéndices y 50 - 100 g de caparazones, asimismo, el ingreso de 1000 g de camarón *Macrobrachium* spp. generaron de 450 - 550 g de cabeza más apéndices y 60 a 70 g de caparazones (Islam & Peñarubia, 2021). En tanto que, la biomasa residual de macroalgas generada en la industria de aditivos alimentarios como la carragenina osciló de 60% a 70% (Uju et al., 2015), mientras que los residuos sólidos generados en la extracción de alginatos fueron alrededor de 50% (Moino et al., 2019).

## 2.2 Efluentes residuales

El uso de hielo como medio de preservación de los RHs y en las operaciones de lavado y molido en las plantas pesqueras generan efluentes líquidos con alta carga de nutrientes conformados por proteínas, péptidos y aminoácidos (AA) volátiles, sólidos disueltos y una elevada salinidad por efectos del sodio, cloruros y sulfatos atribuidos a la materia prima y el agua de mar utilizada en numerosos procesos, debido a esta composición, los efluentes sufren una descomposición microbiana rápida que conlleva a la eutrofización y daño del ecosistema acuático (Ching & Redzwan, 2017). Uno de estos efluentes es la sanguaza, cuya composición depende del procesamiento de RHs y del tipo de residuo generado, por ejemplo, la sanguaza producida en un terminal pesquero puede contener 6% de proteína, 4% grasa, 90% agua y 13,2% de sólidos (Silva et al., 2011).

Por otro lado, el crecimiento de la acuicultura también implica la generación de efluentes (excreción de organismos acuáticos y alimento no consumido) en los distintos sistemas de cultivo intensivo, que contaminan los

cuerpos de agua receptores (Khiari et al., 2019). Entre los sistemas de cultivo intensivo destacan los sistemas de recirculación de acuicultura (RAS), sistemas de estanques y sistemas de flujo continuo (alimentado con agua del río); en este último sistema, los sedimentos formados en estanques de trucha reportaron un alto contenido de agua y un pH alcalino, adicionalmente, el contenido de óxido fosfórico ( $P_2O_5$ ) fue de 13,88 mg/g, aunque, los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico fueron bajos (Drózd et al., 2020), en cambio, los efluentes del cultivo de tilapia en RAS reportaron un pH de 6,6; una conductividad eléctrica (CE) de 0,8 dS/m y las concentraciones (mmol/l) de ion dihidrogenofosfato ( $H_2PO_4^-$ ), ion calcio ( $Ca^{2+}$ ), ion magnesio ( $Mg^{2+}$ ), ion potasio ( $K^+$ ), ion sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), ion nitrato ( $NO_3^-$ ), ion amonio ( $NH_4^+$ ) y  $NO_3^- + NH_4^+$  fueron de 0,46, 2,08, 0,34, 0,8, 0,9, 6,56, 0,01 y 6,57 mmol/l, respectivamente (Álvarez-García et al., 2019).

## 3. Elaboración de fertilizantes orgánicos mediante bioprocesos

La bioconversión de los residuos pesqueros en FOs mediante bioprocesos emplea tecnologías que involucran el uso de distintos inóculos o consorcios microbianos, equipos y niveles de escalamiento (Dao & Kim, 2011), generalmente, los residuos de pescado son reutilizados como insumos para la producción de fertilizantes líquidos y secos, compost y digestatos (Ahuja et al., 2020). La naturaleza líquida de los fertilizantes orgánicos líquidos (FOL) como el hidrolizado de pescado hace posible la liberación lenta de nutrientes, los cuales pueden ser aplicados como aerosoles foliares o dosificados en el suelo cerca de las raíces de la planta, complementado los nutrientes en las hojas y evitando la lixiviación del suelo (Madende & Hayes, 2020).

Tabla 1

Bioprocesos en subproductos y efluentes pesqueros para producir fertilizantes orgánicos

Materia prima y actividad pesquera	Bioproceso	Descripción del método	Compuestos y sustancias de interés en el FO	Referencia
Residuos de pescado generados en restaurantes	Biodegradación	Se usó una mezcla de microorganismos ( $5,84 \times 10^5$ ufc/ml). El proceso se llevó a cabo en biorreactor de 5 l durante 96 h.	El contenido de aminoácidos fue de 6,91 g/100g y el número de células fue de $7,28 \times 10^5$ ufc/ml.	Dao & Kim (2011)
Efluentes del procesamiento de harina de pescado	Biodegradación	El proceso duró 80 h, el volumen de trabajo fue de 600 ml, el consorcio microbiano contiene 8 cepas de <i>Bacillus</i> y 3 cepas de <i>Brevibacillus</i> .	El contenido de aminoácidos totales fue de 8,04 g/100g (tirosina > leucina > alanina > triptófano).	Figueroa et al. (2015)
Efluentes del procesamiento de caballa	Biodegradación	Se trabajó en biorreactor de 3 l durante 74 h, el pH se ajustó entre 6 - 8 y se suministró oxígeno cuando los niveles de OD cayeron a menos de 1 mg/l.	Aminoácidos y péptidos de menor tamaño como bioestimulantes.	Jung & Kim (2016)
Efluentes del procesamiento de harina de pescado	Biodegradación	El biorreactor fue de 1 m <sup>3</sup> y se bombearon 600 l de efluentes. Se inocularon 110 g (peso húmedo) del consorcio microbiano (mezcla de 11 microorganismos).	14,66 g/100g de aminoácidos totales, 2,26% N, 0,87% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 0,65% K <sub>2</sub> O en el FOL.	Kang et al. (2018)
Efluentes del procesamiento de caballa y <i>U. Pinnatifida</i>	Biodegradación	La proporción efluente de caballa y macroalga fue de 10/1. Se usó <i>Bacillus</i> sp. para producir biofertilizante, el proceso duró 72 h.	El biofertilizante reportó $16,2 \times 10^7$ ufc/ml de células viables y 7715,7 µg/ml de aminoácidos totales.	Jung & Kim (2020)
Subproductos del procesamiento primario de pescado en mercados	Fermentación	Los residuos de pescado se mezclaron con melaza y agua. La fermentación duró 10 días y el FOL se estabilizó luego de 15 días adicionales.	1% de N, 0,39% de P, 0,37% de K, 56,31% de C orgánico, 5,66 mg/kg de Zn, 2,81 mg/kg de Mn, 50,51 mg/kg de Fe y 0,61 mg/kg de Cu.	Aranganathan & Radhika Rajasree (2016)
Subproductos del procesamiento primario de pescado en mercados	Fermentación	La fermentación duró 15 días a 25°C. Se mezclaron 1 kg de residuos de pescado, 1,5 kg de <i>Jagger</i> en polvo y 5 l de agua destilada.	4,34 g/100g de aminoácidos totales, $1,38 \times 10^4$ ufc/ml de <i>Lactobacillus</i> sp., 1,49% de N, 0,52% de P, 0,48% de K, 0,4% de Ca y 0,28% de Mg y 5,83% de ceniza.	Thendral & Geetha et al (2019)
<i>Sargassum</i> sp.	Fermentación	Los iniciadores: <i>bread</i> y <i>tempe</i> contienen un bioactivador de moho y levadura ( <i>S. cereviceae</i> ), que aceleran la fermentación (14 días). La mezcla de macroalga y agua se calentó a 90°C por 15 min y se mezcló con hojas de lamtoto.	El FOL que usó iniciador <i>bread</i> reportó 2,7% de N, 0,045% de P, 0,5% de K, 2,65% de C; el FOL que usó iniciador <i>tempe</i> reportó 38,77 ppm de Fe, 4,74 ppm de Mn, 4,2 ppm de Zn y 0,57 ppm de Cu.	Dewi et al. (2019)
Residuos de tilapia	Fermentación	El FOL se elaboró con la fermentación <i>Bakasang</i> (14 días). Para producir el fertilizante sólido se mezcló FOL y arcilla en una proporción 1/1 en una maquina peletizadora.	El FOL reportó 0,052% de N, 0,063% de P, 0,505 mg/l de K, 4,38 mg/l de Mg, 13,54 mg/L de Ca, 0,064 mg/L de Fe, 0,01 mg/L de Cu, 0,015 mg/L de Mn y 0,01 mg/L de Zn.	Tiwow et al. (2020)
Residuos del procesamiento de sardina	Fermentación	La mezcla de 50% de residuos de pescado, 12,5% de melaza, 37,5% de orujo de uva y 1% <i>S. cerevisiae</i> se fermentó por 15 días.	1,5% de N, 65,55 mg/100 g de P y 1,64% de K.	Lakhal et al. (2020)
Mezcla de macroalgas <i>Gracilaria</i> sp. y <i>Sargassum</i> sp.	Fermentación	La mezcla se remojó en una solución de ácido fosfórico al 1%, se homogenizó y se añadió 3% de melaza. Se añadieron iniciadores de <i>Trichoderma</i> sp. (1 ufc/ml) y <i>Azospirillum</i> sp. (1 ufc/ml).	1,15% de C orgánico, 0,67% de N, 0,45% de P, 0,48% de K.	Tsaniya et al. (2021)
Residuos sólidos (estiércol) de un RAS de tilapia	Digestión aeróbica	Se utilizaron bacterias heterótrofas y nitrificantes. El mejor bioproceso (en biorreactor) maximizó la mineralización de N durante 15 días a 35 °C y a un pH de 6 - 6,5.	En el biorreactor que operó a pH 6, la concentración máxima de amonio fue de 145,1 mg/L y la tasa de producción de amonio fue de 51,8 mL/L/día.	Khiari et al. (2019)
Sedimentos orgánicos de estanques de cultivo de trucha	Compostaje	Los sedimentos orgánicos junto con pasto fresco y paja de trigo se compostaron por 28 días en un biorreactor de 60 L.	1,43% de N, 17,42% de carbón orgánico total, 32,56% de materia orgánica, 1,47 mg/g de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Drózdź et al. (2020)
Carcasas infectadas con virus	Compostaje	El sistema portátil flotante trabajó a temperatura y presión altas de 140 - 150 °C y 4 atmósferas, respectivamente.	2,17% de N, 26,98% de P y 92,44% de materia orgánica y ausencia de patógenos.	Kim et al. (2020)

Los extractos de macroalgas (EM) se encuentran disponibles en forma líquida o como polvo soluble (Battacharyya et al., 2015). Hoy en día, los métodos de extracción son más ecoamigables, consumen menor tiempo, son reproducibles y poseen mayor rendimiento; particularmente, los métodos de producción incluyen la hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina, rotura celular bajo presión, fermentación, extracción asistida por enzimas y la extracción asistida por ultrasonido (Arioli et al., 2015; Górká et al., 2018). Los EM se caracterizan por carecer de toxicidad y ser biodegradables e inocuos para otros organismos vivos (Michalak et al., 2015). Nurhayati et al. (2020) extrajeron la savia de *Gracilaria* sp., el proceso consistió de etapas de lavado, extracción (con KOH al 0,3% a una relación 1/10 a 80 °C y filtrado, posteriormente, el residuo se secó y reportó un mayor rendimiento (52,16%) para un tiempo de extracción de 5 minutos, asimismo, reportó 10,41% de humedad, 12,39% de ceniza y 0,3% de grasa.

La **Tabla 1** muestra los subproductos orgánicos y efluentes de la industria pesquera que son utilizados en bioprocesos para elaborar fertilizantes orgánicos y los compuestos y sustancias de interés que presentan. Se observa que los subproductos sólidos provienen de los procesos para elaborar productos de consumo humano y los efluentes provienen de la acuicultura y la industria de harina y aceite de pescado. Se destacan la presencia de los macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (C, Zn, Mg, Fe, Ca y Cu); así como de los aminoácidos y péptidos de pequeño tamaño que son considerados bioestimulantes.

### 3.1 Biodegradación

La biodegradación de los residuos de la industria pesquera, como sustrato y fuente de energía, permite el crecimiento y desarrollo de consorcios microbianos en biorreactores, tanto a pequeña escala (5 l) como a escala piloto (1 m<sup>3</sup>) (Gwon & Kim, 2012). Además, la transferencia continua de oxígeno de una fase gaseosa a una fase líquida mantiene el metabolismo oxidativo del consorcio microbiano (Jung & Kim, 2016). Una tasa de carbono/nitrógeno (C/N) alta estimula las células para producir metabolitos, en cambio, una tasa C/N baja conduce a la formación e incremento de biomasa, no obstante, mientras existan fluctuaciones de C/N durante el bioproceso, no será posible alcanzar una biodegradación óptima (Figuroa et al., 2015; Jung & Kim, 2016).

El producto de la biodegradación (bajo suministro continuo de oxígeno disuelto) de residuos pesqueros, luego de 80 h, es un caldo de cultivo final que contiene AA y distintos microorganismos, este caldo demostró poseer una mejor capacidad de fertilización en comparación a otros fertilizantes comerciales (Kang et al., 2018). Particularmente, finalizada la biodegradación, se realiza una ultrafiltración (separando los sólidos y microorganismos), luego, por medio de una extracción al caldo de cultivo ultrafiltrado, se obtiene materiales biofuncionales y, finalmente, se mezcla el caldo remanente de la extracción con la parte sólida (separada por ultrafiltración), de esta manera, se manufactura un

biofertilizante (Kim et al., 2017), posteriormente, la adición de 1% de lactato prolonga la vida en anaquel del FOL por 6 meses (Dao & Kim, 2011).

En efluentes del procesamiento de harina de pescado, el consorcio microbiano se adaptó luego de 6 h de iniciada la reacción, y conforme aumentó la biomasa, la cantidad de proteasas responsables de la biodegradación del sustrato también aumentaron debido a la secreción por parte de los microorganismos, luego de 30 h, el olor indeseable del pescado desapareció (Kang et al., 2018). Mientras que, Figuroa et al. (2015) indicaron que, durante las primeras 41 h, el pH, oxígeno disuelto, el potencial oxidación-reducción y peso seco del lodo disminuyeron a medida que el número de células del consorcio microbiano incrementó, además de ello, el olor del pescado desapareció; en ese lapso, el contenido inicial de células ( $6,72 \times 10^7$  ufc/ml) incrementó a  $4,39 \times 10^8$  ufc/ml y, finalmente, luego de 80 h, alcanzó  $1,73 \times 10^8$  ufc/ml.

El incremento en la concentración de aniones como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ortofosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) implicó que la biodegradación de efluentes de harina de pescado se realizó en condiciones aeróbicas, asimismo, algunos AA producidos llegaron a ser utilizados por microorganismos y convertidos en CO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de manera que, la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> incrementó conforme avanzó la biodegradación (Kang et al., 2018). En residuos líquidos de caballa, la biodegradación aeróbica produjo diversos metabolitos, los AA en el caldo de cultivo final reportaron actividades antioxidante y antimicrobiana elevadas, pero una actividad antifúngica débil (Jung & Kim, 2016).

Recientemente, Jung & Kim (2020) lograron la biodegradación, utilizando *Bacillus* spp., de una mezcla de aguas residuales de la pesquería de caballa y de la macroalga parda *Undaria Pinnatifida*, de manera que, la actividad de proteasas, alginato liasas y laminarinas permitieron la producción de un biofertilizante de alta calidad, cuyo grado de hidrólisis, luego de 72 h, fue de 36,4%; el FO reportó una elevada actividad antioxidante, una alta actividad de eliminación de radicales hidroxilos y la presencia de sustancias de bajo peso molecular. Igualmente, Kang et al. (2020) evaluaron la biodegradación, a escala de 150 l, de 17,5% de residuos altamente salinos de anchoa y macroalgas verdes por acción de *Bacillus licheniformis* para producir un FOL, el inóculo mostró actividades proteolíticas de 1,016 U/ml, lipolíticas de 5,92 U/ml y celulolíticas de 0,45 U/ml. Finalmente, también se comenzó a estudiar la biodegradación de efluentes del cultivo de tilapia para producir proteínas, péptidos y AA menores a 2 kDa, cuya actividad antimicrobiana (contra *Vibrio vulnificus*) y antioxidante demostraron ser un potencial ingrediente antimicrobiano y antioxidante natural (Mhina et al., 2020).

### 3.2 Hidrólisis

La hidrólisis consiste en la división de proteínas hasta cadenas peptídicas de menor tamaño que contienen de 2 a 20 AA, el producto recibe el nombre de hidrolizado (Halim et al., 2016). Los métodos de hidrólisis de RHs pueden realizarse por vía enzimática, química, térmica, ácida, alcalina, microbiana y autólisis. El método conven-

cional, rápido y de bajo costo es la adición de una solución de ácido fórmico o sulfúrico, sin embargo, algunos AA esenciales son destruidos durante la hidrólisis, en cambio, el método enzimático emplea enzimas proteolíticas que fraccionan la proteína, produciendo una fracción soluble y otra insoluble (Halim et al., 2016; Villamil et al., 2017).

En residuos de crustáceos, los quitosacáridos son productos de la degradación de quitina y quitosano, que pueden ser preparados vía hidrólisis enzimática o química; el hidrolizado obtenido posee actividad antiviral, antimicrobiana y antifúngica en plantas (Sahu et al., 2017b), no obstante, aún no se han desarrollado estudios más detallados en la producción de FOL a partir de la hidrólisis de residuos de crustáceos.

La principal diferencia entre el método enzimático y químico radica en que el primero controla los parámetros temperatura y pH ajustado (depende del tipo de proteasa); la inactivación de la proteasa se realiza incrementando la temperatura (pasteurización) o ajustando el pH. En cambio, la hidrólisis química controla los parámetros temperatura y presión; el proceso culmina suspendiendo el tratamiento térmico y la presión, posteriormente, el hidrolizado es centrifugado, filtrado y secado (Villamil et al., 2017).

La extracción de proteasas provenientes de residuos de *Ananas comosus* y *Carica papaya* permite aprovechar la actividad proteolítica de la bromelina y papaína, respectivamente, asimismo, los residuos de *A. comosus* y la mezcla de ambos residuos mostraron actividades enzimáticas de 0,33 y 0,36 U/ml de enzima, respectivamente; también, el valor óptimo de pH en la extracción fue de 7,5 a 37 °C, de esta forma, la incorporación de residuos de estas frutas garantizaron la hidrólisis enzimática de residuos de pescado, la mejora del contenido de N y el enriquecimiento del FOL (Ranasinghe et al., 2021). En cambio, Norouzi (2013), empleó una hidrólisis ácida en residuos del procesamiento de harina de pescado, logrando recuperar el 85,97% de proteína para producir un FOL, posteriormente, el uso de procesos de separación basados en membranas lograron purificar y separar la parte líquida, la utilización de hierro y carbón activado de bambú lograron el desodorizado del FO. En Australia, los EM son particularmente producidos por la hidrólisis alcalina de biomasa de *D. potatorum* y *A. nodosum*; específicamente, un producto comercial elaborado a partir de *D. potatorum* reportó un nivel de sólidos solubles de 16% (p/p) (Arioli et al., 2015).

Por otro lado, la acuicultura intensiva también genera gran cantidad de peces muertos por estrés y enfermedades infecciosas (Kim et al., 2020). Bajo este contexto, la hidrólisis alcalina (que implica el uso de un alcali, temperatura y presión altas) es una tecnología nueva empleada en la eliminación de cadáveres de animales, que, llevada a condiciones óptimas consigue la hidrólisis completa de diferentes tejidos de animales infectados, además de la inactivación de *Bacillus stearothermophilus* (Wang et al., 2016). Este tipo de hidrólisis ya ha sido empleado en el desarrollo de FOL, reciclando carcasas de animales infectados, y siendo aplicado en el cultivo de pimiento picante, cuyo uso en conjunto a fertilizantes inorgánicos reportó una longitud

y peso de la planta mayor que el solo uso de fertilizante inorgánico (Kang et al., 2019), no obstante, aún no se reporta su uso en carcasas de peces muertos por infecciones virales en sistemas de cultivo intensivo.

### 3.3 Fermentación

La fermentación de RHs se realiza adaptando diferentes procesos, que varían dependiendo de la composición del sustrato, el cultivo iniciador, la fuente de carbohidratos, la temperatura y el tiempo (Ahuja et al., 2020). Los microorganismos usados para la fermentación pueden ser aeróbicos, anaeróbicos o facultativos, incluidos hongos y protozoos (Venugopal, 2021); de manera particular, las bacterias ácido lácticas y levaduras se usan como inóculos en los procesos fermentación de residuos de RRHH, ambos pueden desarrollarse en contenido bajo de oxígeno disuelto, logrando inhibir el crecimiento de bacterias aeróbicas y patógenas sin que ocurra la degradación de los componentes nutricionales del FOL; otra función es la eliminación del olor a pescado, en su lugar, el FOL adquiere un olor característico a malta y melaza (Florez-Jalixto et al., 2020; Lakhali et al., 2017).

Sahu et al. (2017a) propusieron la integración de los residuos de la industria azucarera (melaza, bagazo, lodo prensado) y la industria pesquera (pescados rechazados en venta, residuos sólidos, conchas de moluscos) para la elaboración de FOL y compost, con el fin de mejorar las propiedades químicas, físicas y microbiológicas de los suelos agrícolas, y también, la productividad de los cultivos agrícolas y estanques acuícolas. De igual forma, Lakhali et al. (2017) biotransformaron una mezcla ternaria de residuos industriales del procesamiento de sardina y azúcar (68% de residuos de pescado, 13% de melaza, 19% de espuma producida en el proceso de refinado) en FOL, es así que, el uso de 1% *Saccharomyces cerevisiae* ayudó a la conservación del fósforo (P). En un estudio posterior, Lakhali et al. (2020) optimizaron una mezcla ternaria compuesta por residuos de pescado, orujo de uva y melaza para elaborar un producto rico con los nutrientes esenciales para un óptimo crecimiento para las plantas.

Aranganathan & Radhika Rajasree (2016) biotransformaron residuos de pescado en FOL, agregando 10% de melaza y *Bacillus subtilis*. Mientras que An et al. (2016) utilizaron 20% harina de pescado como sustrato, no obstante, el incremento del sustrato implicó un aumento de la CE; mientras que el uso de levadura seca consiguió promover la mineralización del N y obtuvo una mayor concentración de amonio (NH<sub>4</sub>-N), cuya concentración en el FOL fue más alta al culminar la fermentación, sin embargo, la inclusión de melaza tuvo un efecto inhibitorio en la mineralización de N. Cabe señalar que, una CE de 1 dS/m (valor inferior al límite de concentración de sal) permite el aumento de la diversidad de bacterias y hongos en el suelo agrícola (Jung et al., 2019), en cambio, una CE alta puede amenazar la supervivencia de microorganismos y reducir la calidad del FOL (Lakhali et al., 2017).

Dewi et al. (2019) evaluaron el efecto de añadir tres iniciadores: *bread*, *tempe* y *tape*, con el fin de mejorar la fermentación de *Sargassum* sp. para producir un FOL. Mientras que Tsaniya et al. (2021) aceleraron el proceso

de fermentación aeróbica, añadiendo *Trichoderma* sp. y *Azospirillum* sp., a una mezcla *Gracilaria* sp y *Sargassum* sp. También, la fermentación puede llevarse a cabo con la adición de melaza y sin inóculo, es decir, por fermentación natural (Thendral Hepsibha & Geetha, 2019). La incubación en condiciones aeróbicas necesita de agitación diaria para acelerar la fermentación, además, puede ser realizado a temperatura ambiente en lugares con clima tropical y subtropical (Sahu et al., 2017a).

Tiwow et al. (2019) utilizaron la fermentación tradicional *bakasang*, en la cual, residuos de tilapia fueron fermentados con 25 ml de sal 2M (efecto conservante) y 25 ml de jugo de lima (efecto desodorizante) durante 14 días, posteriormente, se adicionó harina de aletas y escamas (secadas al sol) al producto fermentado; la extracción de los nutrientes se realizó agregando 20 ml de ácido nítrico, calentando la muestra a 60 °C por 10 min y finalmente se diluyó 10 ml de muestra en 100 ml. En un siguiente estudio, Tiwow et al. (2020), mezclaron el FOL, obtenido por fermentación *bakasang*, con arcilla para producir un fertilizante sólido.

En el caso de residuos de crustáceos, debido al elevado costo de enzimas quitosananas y quitinasas, sobre todo a escala industrial, se prefiere emplear la fermentación usando como inóculo enzimas endógenas, levaduras y melaza; su aplicación foliar mejora la fotosíntesis de los cultivos (Sahu et al., 2017b). Peña-García et al. (2020) fermentaron una mezcla compuesta por 75% de cabezas de langostinos, 25% de melaza y 5% de leche con bacterias ácido lácticas, el FOL se estabilizó luego de 15 días y se usó una tasa de 700 l/ha del lixiviado en el cultivo de pasto, obteniendo buenos resultados.

### 3.4 Digestión y compostaje

La digestión aeróbica o compostaje líquido es un bioproceso asistido por bacterias endógenas heterótrofas y nitrificantes, que hacen posible la transformación de residuos sólidos de la acuicultura en FOL; en condiciones alcalinas se observaron pérdidas de N y nutrientes debido a la volatilización del amoníaco y precipitación de iones, respectivamente, pero a pH bajo o temperatura alta ocurrió la inhibición de la nitrificación, además, el nitrato se observó a temperaturas <40 °C (Khiari et al., 2019). Para una digestión anaeróbica, Sastro et al. (2015) produjeron FOL (en un fermentador de 150 l) con la formulación de 50 kg de residuos de pescado (60% de contenidos estomacales, 20% de cabezas, 10% de pescados dañados y 10% de aletas), 30 l de agua, 20 kg de melaza y 1 l de *Lactobacillus* spp con 2x10<sup>8</sup> células/ml.

La co-digestión es la digestión anaeróbica de dos o más sustratos, así, se complementan los nutrientes (de bajo contenido) de los residuos de pescado, para ello, es necesario evaluar la relación de la mezcla de los residuos que optimizan el proceso y aprovechan la sinergia de la mezcla de sustratos, por ejemplo, en la co-digestión de residuos industriales del procesamiento de pescado y fresa (a escala de laboratorio y bajo condiciones mesofílicas), los residuos de fresa incrementaron la concentración de materia orgánica de la mezcla, además permitieron la dilución de compuestos inhibidores como cloruros, nitrógeno y fósforo (residuos de pescado); por

otra parte, el proceso de biometanización también produjo una parte líquida rica en nutrientes denominada digestato, que es recomendado como enmienda orgánica en la agricultura (Serrano et al., 2013). En un estudio posterior, Serrano et al. (2014) optimizaron la co-digestión de residuos de fresa y pescado, destacando que, la producción de metano más alta se logró con una relación residuos de fresa/residuos de pescado de 94/6, mientras que la tasa de carga orgánica fue más alta empleando una relación de 88/12.

El compostaje de residuos pesqueros es un bioproceso aeróbico o anaeróbico lento, en el cual se puede recuperar entre el 49% a 64% del N residual de carcasas de pescados y mariscos; en este proceso, la liberación de N en el suelo es lenta y continua durante 210 días, garantizando la disponibilidad de N para los cultivos y evita su lixiviación (Lopes et al., 2021). Mientras que, Kim et al. (2020) diseñaron un equipo móvil que recicló carcasas de pescado infectados con agentes patógenos, así, a partir de 53,824 kg de carcasas se produjo 29,216 kg de compost. Por otro lado, al añadir pasto triturado a los residuos de pescado, el orden de abundancia de elementos en el FO fue: P> Ca> N> Mg> K> Fe> Zn> Mn> Mo> Cu (Busato et al., 2017).

El compostaje representa un método económico para biotransformar las macroalgas que se acumulan en la costa (Gibilisco et al., 2020). Las bacterias mesofílicas y termofílicas se encuentran presentes al inicio y final del compostaje, respectivamente; con el incremento de la temperatura, las bacterias termófilas reemplazan a las mesófilas. Además, el compostaje de residuos pesqueros también puede realizarse incluyendo lombrices de tierra (vermicompost), de esta forma, las bacterias efectúan la digestión hasta cierto grado y las lombrices finalizan el proceso de digestión, por lo que ambos se complementan (Özyurt & Özkütük, 2019).

La eficacia del compostaje considera como parámetros: temperatura, pH, humedad, materia orgánica total, N orgánico total, C orgánico total, relación C/N, cenizas e índice de mineralización (Nascimento et al., 2018), usualmente, se recomienda una relación C/N de 25/1 a 35/1 para facilitar la generación de energía (efecto del C) y la construcción de células microbianas (efecto del N) (Marsh & Bechtel, 2012). Así, el compostaje en hileras de residuos de pescado y mariscos, mezclados con sustratos vegetales como virutas de madera y cáscara de maní, lograron la recuperación del N residual (49 a 64%), además el compost producido obtuvo concentraciones de 33g/kg de N, 13,5g/kg de P, 8,4g/kg de K y 22,5g/kg de Ca, que lo hace ideal para ser aplicado como enmienda (Lopes et al., 2021). Se está estudiando el compostaje como método para reutilizar los sedimentos de los estanques acuícolas (alto contenido mineral por la arena) y RAS, junto con residuos de paja de trigo y pasto húmedo, adicionalmente, al añadir biocarbón derivado de residuos de cartón y astillas de madera al compost de da un aumento del contenido de C y N (Drózd et al., 2020).

### 4. Obtención de bioestimulantes

Los bioestimulantes (BEs) son productos que contienen mezclas de sustancias y/o microorganismos, pudiendo ser

aplicados en plantas o en la rizosfera con el fin de estimular los procesos naturales, la absorción de nutrientes, la eficiencia del uso de nutrientes, la tolerancia al estrés (biótico y abiótico) y, por lo tanto, la calidad de los cultivos (Madende & Hayes, 2020; Frioni et al., 2021). Se considera como BEs a los hidrolizados proteicos, formulaciones con AA, ácidos húmicos, EM, fitohormonas y determinados microorganismos y hongos (García-Gaytán et al., 2018).

#### 4.1 Péptidos y aminoácidos

Los AA representan una parte esencial de la fracción activa de materia orgánica de un FO (Gwon & Kim, 2012). La abundancia de AA del sobrenadante de un caldo de cultivo biodegradado siguió el orden: lisina, ácido glutámico, metionina y tirosina (al inicio de la biodegradación); luego de 42 h: lisina, ácido glutámico, metionina, leucina, triptófano, fenilalanina y tirosina; y finalmente, luego de 72 h: lisina, ácido glutámico, glutamina y metionina (Jung & Kim, 2016). Mientras que, Figueroa et al. (2015) reportaron niveles bajos de ácido aspártico, treonina, serina, prolina y arginina, en cambio, los niveles de valina, isoleucina, leucina, tirosina, glutamina, cistina y triptófano fueron más altos que en fertilizantes comerciales, además, el sobrenadante del caldo de cultivo tuvo un nivel de AA totales comparable al nivel promedio de fertilizante comercial y un nivel alto de AA azufrados como cisteína y metionina.

En general, los AA promueven la quelación de metales como Fe, Cu, Zn, Mn (solubilidad de micronutrientes) (Saju et al., 2019). La actividad quelante y complejante, tanto de AA como de péptidos específicos, permite que los nutrientes se encuentren disponibles para que las raíces puedan adquirirlos, específicamente, la prolina (de efecto quelante) posee un mecanismo de defensa contra el estrés oxidativo y osmótico (resultado de varios niveles de sal) (Hashem et al., 2019), de hecho, la concentración de prolina es más alta en plantas tolerantes al estrés por sequía que en plantas sensibles a este tipo de estrés (Gofi et al., 2018), también, protege a la planta contra los metales pesados, contribuyendo a la adquisición de macronutrientes y su movilidad, además de influir en el crecimiento reproductivo; mientras que, compuestos nitrogenados como la glicina-betaína contribuyen a la eliminación de radicales libres, gracias a su actividad antioxidante (du Jardin, 2015); la arginina controla el desarrollo y crecimiento de patógenos; la glicina, alanina, cisteína pueden incrementar el rendimiento total, por otro lado, la glutamina, asparagina y arginina son fuentes de N para el crecimiento; la cisteína y metionina permiten la superación del daño causado por el frío o insuficiente luz solar (Jung & Kim, 2020); el triptófano (precursor de auxinas) estimula el crecimiento de la raíz, adicionalmente, el triptófano y metionina mejoran la absorción de N (Saju et al., 2019).

La absorción de nutrientes, por efecto de los AA, se basa en mecanismos como el incremento de las comunidades microbianas que promueven la degradación de la materia orgánica y mineralización de nutrientes en el suelo; su absorción ocurre a través de las raíces y hojas por medio de transportadores como el transportador de lisidina

histidina 1 (Saju et al., 2019). De esta forma, los AA reponen los niveles de nutrientes del suelo, alimentando organismos como lombrices de tierra, nemátodos y microorganismos, los cuales son esenciales para reestablecer la salud del suelo y plantas (Norouzi, 2013).

Bettiol et al. (2014) indicaron que el uso de hidrolizado de pescado indujo la supresión de *F. oxysporum* f. sp. *Lactucae* transmitido por el suelo, de hecho, concentraciones de 10 a 20% de hidrolizado inhibieron la germinación de microconidios entre el 83 – 88%. Además, Visconti et al. (2010), en un experimento in vitro, determinaron que el uso de una mezcla con hidrolizado de pescado mostró un efecto supresor mayor sobre el patógeno *Cylindrocladium spathiphylli*, dicho efecto se produjo al emplear concentraciones >20% de hidrolizado. Gerber et al. (2017) mencionan que incluso después de un bioproceso, los residuos pueden contener una alta concentración de sales, metales pesados y microorganismos patógenos que pueden ocasionar efectos no deseados tanto en plantas como en el suelo, por lo tanto, las pruebas de germinación son bioensayos aplicados en semillas debido a su simplicidad y sensibilidad frente a distintas concentraciones de los diferentes compuestos contaminantes. El principal bioindicador es el índice de germinación (IG), que combina la germinación de las semillas y el crecimiento radicular, como resultado, se obtiene una estimación más completa de la toxicidad (Venegas et al., 2018).

#### 4.2 Extracto de macroalgas

Entre los compuestos químicos de un extracto de macroalgas (EM) destacan polisacáridos, polifenoles, florotaninos, pigmentos vegetales, ácidos grasos insaturados, esteroides, AA, osmoprotectores, compuestos antimicrobianos y hormonas vegetales (Battacharyya et al., 2015; Górká et al., 2018; Nabti et al., 2017). La cantidad de compuestos activos dependen de factores como la especie, lugar de la cosecha, temporada, condiciones ambientales y el método de extracción, adicionalmente, las especies de macroalgas más utilizadas en la fabricación de BEs son: *Laminaria* spp, *Sargassum* spp, *Turbinaria* spp. y *Fucus* spp. (Górká et al., 2018).

Hashem et al. (2019) reportaron que el contenido fitoquímico de la macroalga *Ulva Lactuca* Linnaeus (peso fresco) constó de 292,05 µg/g de carbohidratos totales, 9,07 µg/g de fenoles totales, 127,53 µmol/g de glicerol, 5,01 µg/g de prolina; mientras que el contenido de fitohormonas (en base seca) constó de 14,16 µg/g de ácido indolacético, 3,52 µg/g de ácido indolbutírico, 66,37 µg/g de ácido giberélico. Mientras que, los compuestos presentes en el EM de *Kappaphycus alvarezii* estuvo conformado por 3% de NPK, 0,9% de Ca + Mg + Zn, 1,88% de AA + ácido fúlvico + ácido húmico y 0,5% de citoquininas + ácido alginico + manitol + giberelinas (Rani Juneius et al., 2018).

En general, los EM promueven la división del cloroplasto y aumentan las concentraciones de Mg, Na, Mn y Cu en las plantas, además de la translocación (de la raíz al brote) del Fe y Zn (Billard et al., 2014). El suministro de EM al suelo proporciona materia orgánica, AA, oligoelementos, minerales, reguladores de crecimiento, vitaminas y

metabolitos; funcionando como acondicionador de suelo (Silva et al., 2019). Los fenoles desempeñan una función vital en el crecimiento y desarrollo de plantas como mecanismos de defensa, además de contrarrestar el estrés oxidativo (Hashem et al., 2019). Otras propiedades de EM a destacar son: el efecto estimulante en la germinación de semillas, la mejora de la salud de las plantas, el alargamiento de los brotes y raíces, la resistencia a los organismos fitopatógenos y la mejora en la absorción de nutrientes y agua (Nabti et al., 2017), mientras que, como propiedades indirectas destacan la mejora de la hidratación y estructura del suelo, además de aumentar el número de microorganismos en el suelo (Battacharyya et al., 2015).

Las formulaciones agrícolas que incluyen EM, a bajas concentraciones, pueden ser enriquecidos con urea, ácidos húmicos, sulfato de potasio y fosfato de amonio, estos compuestos influyen en los procesos de crecimiento y desarrollo de plantas, también influyen indirectamente en la fertilidad del suelo y la presencia de microorganismos (Górka et al., 2018). Incluso, a partir del compostaje de macroalgas se puede obtener un extracto líquido (por filtración) que puede ser aplicado como BEs, este extracto, libre de fitotoxicidad, presenta un color marrón intenso (Michalak et al., 2017).

### 4.3 Microorganismos de compañía

Los biofertilizantes son fertilizantes que contienen microorganismos vivos, cuyo rol es incrementar la actividad microbiológica del suelo, esto los convierte en un componente crucial para la fijación biológica del N (Bhattacharjee & Dey, 2014). Cabe destacar que, du Jardin (2015) propuso a los biofertilizantes como una subcategoría de BEs. Entre los microorganismos que componen un biofertilizante se encuentran: las bacterias fijadoras de N, las bacterias solubilizadoras de K y P, rizobacterias, cianobacterias, hongos endo y ecto micorrízicos (Ju et al., 2018).

Los inóculos comunes en biofertilizantes son hongos micorrízicos, *Rhizobium* sp., *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Glomus* sp., *Yarrowia lipolytica*, etc (Kumar & Dubey, 2020). De hecho, el *Azospirillum* sp. es uno de los microorganismos aeróbicos que pueden aumentar el nivel de N y asociarse con las plantas, también puede descomponer el N en macroalgas, mientras que la *Trichoderma* sp. permite la descomposición de la materia orgánica y el control de enfermedades en plantas (Tsaniya et al., 2021). En estudios in vitro de *Azotobacter* spp., se cuantificó 2,25 a 60,75 ppm de ácido indolacético, 10,37 a 36,03 ppm de N fijado como amonio y 1,72 a 6,06 ppm de fósforo solubilizado (León & Rojas, 2015).

La inclusión de *Pseudomonas fluorescens* estimuló el crecimiento de las plantas e inhibió el crecimiento de microorganismos patógenos, por ejemplo, su inoculación en un medio compuesto por un extracto de *Sargassum* mezclado con ensilado de pescado y melaza permitió obtener, luego de 10 días de inoculación, un FO con un recuento de 10,6 log ufc/ml, pH de 3,76, viscosidad de 2,95 cPs, 0,62% de N total y CE de 9,18  $\mu$ S/cm (Basmal et al., 2019). De igual forma, al añadir *Trichoderma* sp. en

formulaciones de FO a base de *Sargassum* sp. se alcanzó la mayor densidad de *Trichoderma* sp. ( $46,5 \times 10^6$  ufc/ml) luego de 7 días (Kusumawati et al., 2021).

El uso de hidrolizado de residuos de Laminaria japónica permitió el cultivo de las cepas de *Bacillus subtilis* y *Burkholderia pyrrocinia*, las cuales alcanzaron valores  $>10^7$  ufc/ml, mientras que, en la cepa de *Bacillus amyloliquefaciens* fue  $<10^7$  ufc/ml, además, las tres cepas fueron capaces de sintetizar la fitohormona ácido indol-3-acético (Yuan et al., 2021). Según los estándares establecidos para biofertilizantes, el número de células presentes en este tipo de FO debe ser mayor a  $1 \times 10^6$  ufc/ml; adicionalmente, los *Bacillus* sp, presentes en los biofertilizantes de residuos pesqueros, pudieron sintetizar enzimas hidrolizantes, reflejado en altos valores de grado de hidrólisis (Jung & Kim, 2020).

Respecto a la disponibilidad de rizobacterias como control biológico, el *B. subtilis* ha demostrado poseer un efecto inhibitorio en el desarrollo micelial de conidios en *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Guato-Molina et al., 2019). Por otro lado, Ward et al. (2018) evaluaron la producción de amonio y amoniaco por parte de microorganismos como *Clostridium aminophilum* (más eficaz), *Peptostreptococcus anaerobius* y *Clostridium sticklandii*, los cuales se encargaron de fermentar AA en sustratos ricos en N orgánico como hidrolizado de pescado en polvo (solo y/o con adición de levadura).

## 5. Aplicaciones

La aplicación de una determinada dosis de fertilizante orgánico dependerá de la ausencia de compuestos fitotóxicos (Lakhal et al., 2017). Los valores de IG reportados en estudios de Figueroa et al. (2015), Jung & Kim (2016), Lakhal et al. (2017) en semillas de cebada y frijol fueron mayores que los valores promedio observados en fertilizantes comerciales. En el caso del compost de residuos de pescado y corteza de pino tampoco se reportó presencia de compuestos fitotóxicos (Radziemska et al., 2019).

Entre los desafíos que deben afrontar los agrónomos, horticultores, fisiólogos en vegetales, edafólogos, fitomejoradores y microbiólogos destaca el incremento de la producción de alimentos y su rendimiento en la misma área cultivable, además de garantizar la seguridad alimentaria (García-Gaytán et al., 2018). En la Tabla 2 se presenta un resumen de algunas aplicaciones de FO de residuos de la industria pesquera, cuya aplicación fue sugerida en sistemas de riego tecnificado, en sistemas hidropónicos, en la fertilización de estanques acuícolas de tierra (con el fin de promover la productividad primaria) y como alternativa al uso de medios de cultivos convencionales usados en la producción de alimento vivo como microalgas y rotíferos (Florez-Jalixto et al., 2020).

### 5.1 Fertiirrigación

El incremento del uso de la tecnología de riego por goteo (RPG) ha ido acompañado de la demanda e interés de FOL, los cuales son inyectados en la fertiirrigación. Este sistema utiliza un inyector de fertilizante con una bomba que es impulsada con agua (Hartz et al., 2010). Por lo tanto, los programas de fertiirrigación deben ser comple-

mentados con el uso de BEs con el fin de minimizar y contrarrestar el estrés al que los cultivos se encuentran expuestos, como los cambios de temperatura, sequía, heladas, plagas y enfermedades (García-Gaytán et al., 2018).

Las ventajas de la fertirrigación de RPG, frente a otros métodos como el riego de canal abierto o con aspersores, son: (1) reducción significativa de la lixiviación de N orgánico e inorgánico disuelto en la zona radicular, (2) incremento de la eficiencia del uso de fertilizantes, (3) retraso en la incidencia de plagas y enfermedades y (4) evitar la escorrentía (Kafafi & Kant, 2005). Fernandez-

Salvador et al. (2015) utilizaron hidrolizado de pescado en programas de fertirrigación a través de un sistema de RPG; cuya dosificación fue a una tasa de 56 kg/ha de N por año (en los 2 primeros años) y 90 kg/ha en el tercer año. En el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), luego de la preparación original del campo y del transcurso de los meses, la inyección de un FOL de residuos de pescado y guano obtuvieron resultados efectivos, cubriendo la alta demanda de N de la fresa, sin embargo, se debe controlar y minimizar su uso debido a complicaciones en el mantenimiento de sistema de RPG (filtración de partículas grandes) (Hartz et al., 2010).

**Tabla 2**

Aplicaciones de fertilizantes orgánicos a partir de residuos pesqueros

Producto	Aplicación	Cultivo	Resultado	Referencia
Hidrolizado de pescado + melaza	Fertirrigación	Zarzamora	Cumplió los requerimientos de la zarzamora a excepción de Ca y B.	Fernandez-Salvador et al. (2015)
Efluentes del sistema de recirculación de cultivo de tilapia	Fertirrigación	<i>Pelargonium zonale</i>	La mezcla de 25% del efluente y 75% de una solución nutritiva mejoró los brotes, hojas y número de flores.	Álvarez-García et al. (2019)
Residuos de pescado fermentados	Vía foliar	Tomate	Luego de 30 d, la mayor altura de la planta se logró con dosis de 5% (50,8 cm) y 10% (54,2 cm). Los diámetros de las hojas fueron de 3,3 - 3,8 cm con dosis de 5%, 10%, 15% de FOL.	Aranganathan & Radhika Rajasree (2016)
Compost de residuos de pescado	Fertilización del suelo	Lechuga ( <i>L. sativa</i> L.)	Incremento del rendimiento de las hojas y acumulación de microelementos en la lechuga cultivada en el orden Fe > Cu > Ni > Zn > Mn.	Radziemska et al. (2019)
Hidrolizado de pescado	Por inmersión	Lechuga ( <i>L. sativa</i> L.)	La concentración de 3ml/l mejoró el contenido de clorofila a (10,3 mg/g), clorofila b (1,9 mg/g), diámetro de hoja (1,68 cm), peso seco de raíz (0,8 g/planta) y número de hojas (28/planta), luego de 30 d.	Xu & Mou (2017)
Extracto de macroalga <i>Ascophyllum nodosum</i>	Vía foliar	Vid ( <i>Vitis vinifera</i> L.)	La aplicación de una tasa de 1,5 kg/ha (cinco veces durante la temporada) mejoró la maduración y calidad de las vides.	Froni et al. (2018)
Residuo de pescado biodegradado	Sistema de cultivo hidropónico	Frijol rojo y cebada	El crecimiento de las plantas con la dilución 1/1000 del FOL obtuvo una longitud de hoja, luego de 10 días, de 4,7 cm en frejol rojo y 9,8 cm en cebada.	Dao & Kim (2011)
Efluente del procesamiento de caballa biodegradado	Sistema de cultivo hidropónico	Frijol rojo y cebada	La solución diluida 1/1000 del FOL mostró, luego de 10 días, una longitud de hoja de 3,5 cm en frijol rojo y 6,2 cm en cebada.	Jung & Kim (2016)
Biofertilizante de efluentes del procesamiento de caballa y macroalga parda	Sistema de cultivo hidropónico con flujo abierto	Lechuga	La circulación continua de biofertilizante a 1,2 l/min, luego de 30 días, logró contenidos de clorofila a, clorofila b y carotenoides en las hojas de 6,34, 1,95 y 1,89 mg/g, respectivamente.	Jung & Kim (2020)
Biofertilizante a partir de macroalgas marinas	Enmienda de suelo	Canola ( <i>Brassica napus</i> L.)	El tratamiento con U. lactuca, obtuvo la máxima estimulación en el crecimiento de canola. Además, alivió el efecto inhibitor de NaCl (hasta 150 mM) sobre el rendimiento de canola.	Hashem et al. (2019)
Extracto de macroalga compostada	Medio de cultivo	Microalga <i>Chaetoceros muelleri</i>	El extracto a una concentración de 20 ml/l logró una densidad celular máxima de 3,09x10 <sup>6</sup> células/ml.	Alvarado et al. (2008)
Ensilado de residuos de pescado	Medio de cultivo	Microalga <i>Nannochloropsis oculata</i>	La dosis de 1 ml/l de ensilado logró una producción mensual de 41,5 g/l de la microalga.	Sánchez-Torres et al. (2008)
Ensilado de pescado	Medio de cultivo	Microalga <i>Scenedesmus</i> sp.	El contenido de proteínas, carbohidratos y lípidos de las microalgas fueron de 123,87, 44,904 y 84,21 mg/g de alga seca, respectivamente, a una dosis de 9% de ensilado.	Abdulsamad & Varghese (2017)
Compost de residuo de pescado	Alimento vivo	Rotífero <i>Brachionus</i> spp	El uso de compost logró producir hasta 1200 rotíferos/ml cada 2 semanas.	(Ogello et al., 2018)

La aplicación de 7 ml/l de extracto de *A. nodosum* por aspersión (en intervalos de 6 días) en *Paspalum vaginatum*, durante 6 semanas en condiciones de invernadero, mostró un mayor rendimiento en plantas tratadas durante intervalos de riego prolongados así como en condiciones salinas (1 y 49,7 dS/m), logrando mitigar los efectos de salinidad y de sequía, además de mejorar el rendimiento del césped al aumentar la tasa de fotosíntesis, la longitud de las raíces y el peso seco e inhibición de la peroxidación lipídica (sistema de defensa antioxidante) (Elansary et al., 2017). Mientras que, la irrigación por inmersión de un tratamiento de hidrolizado de pescado en el cultivo de tomate uva reportó valores mayores respecto a un tratamiento convencional en el peso seco de hojas, biomasa total de la planta, número de frutos y rendimiento total en un 35%, 9%, 21% y 4%, respectivamente (García-Santiago et al., 2021).

Castro et al. (2006) evaluaron y compararon el uso de efluentes de un estanque acuícola (como agua de riego) con agua de pozo (control) en un sistema de RPG en plantas de tomate variedad Cherry, concluyendo que el efluente acuícola aumentó la productividad del cultivo en comparación al control, el incremento de la productividad fue atribuido al aumento del número de frutos, por lo que este efluente no solo puede complementar, sino también sustituir fertilizantes orgánicos. Álvarez-García et al. (2019) recolectaron y limpiaron (mediante un filtro mecánico) los efluentes del sistema de recirculación cerrado de un cultivo intensivo de tilapia para ser utilizado en la fertirrigación de *Pelargonium zonale*. Por su parte, Kaab Omeir et al. (2019) demostraron que el riego con efluentes de piscifactorías aumentó de manera significativa el peso de los brotes y de la raíz, la altura del tallo y el número de hojas de las especies albahaca y verdolaga, destacando que el riego con este efluente (comparándolo con agua de río como control) incrementó el peso fresco de los brotes de albahaca y verdolaga en 203% y 250%, respectivamente.

## 5.2 Horticultura

Las investigaciones en horticultura, específicamente frutas y verduras orgánicas, están enfocadas a estudios de suministro de nutrientes, protección de plantas y sistemas de cultivo, tanto la horticultura orgánica como la convencional ponen énfasis a la tolerancia a las enfermedades y plagas (Dorais & Alsanus, 2015). En el caso de cultivos a largo plazo en invernaderos, como tomates por ejemplo, se debe considerar el requerimiento de nutrientes orgánicos líquidos para complementar los nutrientes incorporados a la planta, del mismo modo, los cultivos ornamentales también requieren de FOL, sin importar la duración del ciclo de producción (Burnett et al., 2016).

An et al. (2017) determinaron que no existieron diferencias significativas entre el uso de 100 mg/l de FOL (a partir de harina de pescado) y un fertilizante comercial en el cultivo de pepino orgánico, no obstante, el peso fresco y seco en hojas, tallos y frutos fueron mayores luego del uso del FOL de harina de pescado frente al fertilizante comercial. Mientras que, Yuan et al. (2021) señalaron que el uso de un hidrolizado de residuos de *Enteromorpha prolifera* + *B.*

*amyloliquefaciens* tuvo un efecto sinérgico y demostró un mejor efecto promotor en el crecimiento en pimiento (cultivado en macetas), de hecho, la altura del tallo, número de hojas, longitud máxima de hojas, ancho máximo de las hojas y peso seco fueron 136%, 131%, 131%, 128% y 219%, respectivamente, en comparación con el control (agua).

El tratamiento de AA, suministrando hidrolizado de pescado, aumentó el contenido de pigmentos fotosintéticos en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) en condiciones normales y con niveles de salinidad (0, 40 y 80 mM de NaCl), de hecho, la interacción del hidrolizado a 0 mM de NaCl reportó valores mayores de clorofila a con 2,258 mg/g, clorofila b con 1,962 mg/g y clorofila a+b con 4,272 mg/g, frente a otras fuentes orgánicas de AA (Bahari et al., 2013). Vijayakumar et al. (2019) confirmaron que la aplicación de 20% de FOL de *Codium decorticatum* (114,93 mg/g de AA totales) aumentaron los parámetros de crecimiento y estimularon la absorción de nutrientes; luego de 30 días, las plantas de *Capsicum annum* L alcanzaron valores de 2,2 mg/g de clorofila a, 0,54 mg/g (peso fresco) de clorofila b y 2,72 mg/g de clorofila total. Frioni et al. (2018) reportaron efectos positivos de extractos de *A. nodosum* sobre la maduración y calidad de uvas de vino, cuya aplicación incrementó significativamente el contenido de antocianinas en condiciones de clima cálido y frío.

La incorporación de harina de pescado (g/maceta) (variable independiente) y la volatilización de amoníaco (ppm) luego del segundo día de su incorporación (variable dependiente) obtuvieron una correlación exponencial positiva, representada por  $y=1,3505e^{0,3879x}$ ; la incorporación de 32,1 g/maceta redujo el pH del suelo a un valor alrededor de 5,1, no obstante, los valores de CE, el ácido fosfórico y N inorgánico fueron directamente proporcionales a la cantidad de harina de pescado incorporado (Kim et al., 2019). La adición del iniciador bread al FOL de *Sargassum* sp. mostró un efecto significativo, luego de 21 días de aplicación, en la longitud de la raíz (28,33 cm) de la col china (*Brassica rapa*), también, el uso de 50% de urea y 50% de FOL (con iniciador *tempe*) mostró un mayor recuento con 19 hojas (Dewi et al., 2019).

La aplicación de un compost compuesto por la mezcla de residuos de macroalgas, pescado y corteza de pino, a una tasa de 65 t/ha, mostró un incremento en la producción de papa orgánica en un 30%, respecto al uso de un fertilizante mineral, también, a esta misma tasa hubo un incremento en el contenido de azúcares reductores (Illera-Vives et al., 2017). La concentración de 20 mg/l de ácidos húmicos presentes en el compost de pescado promovió el crecimiento de lechuga, reflejado en el incremento de la materia radical seca y húmeda, asimismo, el efecto de los ácidos húmicos tuvo un efecto en el aumento de 64% de la eficiencia del uso del agua, lo cual se relacionó con el aumento de 1,6 veces la longitud promedio de la raíz y la acidificación de la rizosfera (Busato et al., 2017).

Por otro lado, la adición de compost de sedimentos de estanques + 1% de biocarbón al suelo tuvo un efecto significativo en el crecimiento de frijol (Drózdź et al.,

2020). Mientras que la aplicación de EM tuvo un efecto positivo en la microbiología del suelo, aumentando los hongos activos en  $8,58 \times 10^6$  ufc/g, las levaduras activas en  $1,02 \times 10^5$  ufc/g y las bacterias promotoras del crecimiento en  $1,98 \times 10^6$  ufc/g, asimismo, el perfil taxonómico del suelo de las macetas tratadas con EM indicó que la familia Nakamurellaceae fue la más abundante con 38% (Hussain et al., 2021). Por último, existe un vacío en investigaciones orientadas en el uso de compost de macroalgas en especies halófilas, por lo que el estudio de Gibilisco et al. (2020) obtuvieron buenos resultados en el crecimiento *S. perennis*, luego del uso de 50% compost de *Undaria* + 50% de perlita, seguido del uso del mismo compost al 75% y otro compost conformado por una mezcla de otras macroalgas.

### 5.3 Hidroponía

En el cultivo hidropónico, los *Bacillus* spp., presentes en el caldo de cultivo de residuos pesqueros biodegradado, formaron una relación con las raíces de las plantas y como resultado obtuvieron un mejor crecimiento que las plantas tratadas con el control (fertilizante comercial), de hecho, el caldo de cultivo se caracterizó por contener microorganismos, en cambio el sobrenadante no (Jung & Kim, 2016).

Figuroa et al. (2015) señalaron que el cultivo hidropónico de frijol rojo mostró cierta sensibilidad al ser tratado con el sobrenadante del cultivo biodegradado (fracción activa de materia orgánica en un fertilizante), reflejado en los resultados luego de la aplicación de la solución diluida en 1/1000, esta dilución condujo a un crecimiento de tallos y hojas menores en comparación al fertilizante comercial, en cambio, la dilución 1/1000 del sobrenadante, tuvo un efecto fertilizante mejor en el crecimiento de cebada, en comparación al uso de fertilizante comercial.

El estudio realizado por Jung & Kim (2016) en el crecimiento de frijol rojo y cebada indicaron que ambas especies crecieron de forma lenta durante los primeros 6 días, y posteriormente su crecimiento se aceleró, transcurrido 10 días, la longitud de las hojas del frijol rojo y cebada reportaron valores de 3,5 cm y 6,2 cm, respectivamente; finalmente, luego de 14 días las hojas de frijol y cebada alcanzaron una longitud de 4,9 cm y 9,7 cm, respectivamente. Por otra parte, Gwon & Kim (2012) evaluaron luego de 10 días la aplicación de FOL de residuos pesqueros, reportando valores en la longitud de hojas de frijol rojo y cebada de 4,5 cm y 9,4 cm, respectivamente. Mientras que, Kang et al. (2020) cultivaron cebada usando el sobrenadante del caldo de cultivo (producto de la biodegradación de residuos salinos), la dilución de 1/1000 del sobrenadante mostró, luego de 15 días, excelentes resultados en la longitud del tallo, el grosor del tallo, número de hojas y longitud de hojas, cuyos valores fueron aproximadamente de 12 cm, 0,2 cm, 2 hojas y 10 cm, respectivamente.

Por otro lado, Goddek et al. (2016) suministraron el sobrenadante de la digestión aeróbica y anaeróbica de efluentes piscícolas en el cultivo hidropónico de lechuga, obteniendo un rendimiento significativamente mejor, respecto al control; lo cual puede ser atribuido a la presencia predominante de amonio, materia orgánica

disuelta, rizobacterias, hongos promotores del crecimiento y ácidos húmicos. Asimismo, Jung & Kim (2020) bombearon un biofertilizante, el cual recirculó continuamente a 1,2 l/min, las lechugas tratadas con el biofertilizante exhibieron un crecimiento mayor en comparación a los tratamientos control. Últimamente, (Kim et al., 2021) lograron purificar, a partir de un hidrolizado de subproductos de caballa, péptidos (< 1 kDa) promotores del crecimiento en plantas, específicamente, el heptapéptido (a 1 mg/ml) mostró una actividad antioxidante significativa, que se bioacumuló dentro de las hojas de trigo luego de 7 días de crecimiento en un sistema hidropónico.

### 5.4 Cultivo de alimento vivo

La producción de biomasa de microalgas como alimento vivo es importante para la nutrición marina, crecimiento y desarrollo de la fase larval de peces, moluscos y crustáceos, sin embargo, los medios de cultivo Yashima, F/2 de Guillard y CHO12, usados convencionalmente en el cultivo de microalgas a nivel comercial, implica costos elevados de producción (Sánchez-Torres et al., 2008; Sipaúba-Tavares et al., 2017). Así, el desarrollo y evaluación de medios de cultivo alternativos (MCA) ricos en nutrientes y económicos tienen como fin la producción elevada de biomasa de microalgas a un menor costo de producción (Sipaúba-Tavares et al., 2017).

La concentración de 1 ml/l de ensilado de residuos de pescado como MCA logró, a nivel de laboratorio, una producción mensual de 41,5 g/l de *Nannochloropsis oculata*, asimismo, la productividad máxima obtenida no presentó diferencias significativas respecto al uso de medio Yashima (Sánchez-Torres et al., 2008). Mientras que, Abdulsamad & Varghese (2017) reportaron que la concentración de 12% de ensilado de pescado fue efectiva para el crecimiento y producción de biomasa de *Scenedesmus* sp., la cual, inicialmente fue cultivada a nivel de 100 ml y posteriormente se escaló a 10 l mediante el uso de 10% de inóculo ( $301,9 \times 10^4$  células/ml), sin embargo, a este nivel se usó una concentración de 9% de ensilado; luego de 15 días, el contenido de proteínas, carbohidratos y lípidos fueron de 123,87; 44,904 y 84,21 mg/g de alga seca, respectivamente; adicionalmente, el contenido de clorofila a fue de 2,766 µg/ml.

Shanthi et al. (2021) indicaron que el uso de 0,5% (v/v) de hidrolizado de residuos de pescado logró la mejora del peso celular seco, productividad de biomasa, contenido de proteína y síntesis de ficocianina en 34%, 39%, 15% y 98%, respectivamente, frente al medio de cultivo convencional Zarrouk. Asimismo, (Vidya et al., 2021) reemplazaron de 50% de un medio inorgánico por residuos de pescado en polvo mejoró significativamente el crecimiento de *Chroococcus* sp. ( $693,6 \times 10^4$  células/ml), *C. saipanensis* ( $426,03 \times 10^4$  células/ml) y *Chlorella* sp. ( $551,8 \times 10^4$  células/ml), en cambio, un reemplazo de 25% mostró un menor crecimiento de *Dunaliella* sp. ( $40,53 \times 10^4$  células/ml)

Por otro lado, Silva et al. (2011) demostraron el potencial uso de sanguaza como MCA a nivel piloto para la producción de *Tetraselmis suecica*, debido al bajo costo que representó en comparación al uso de medio Yashima;

el crecimiento máximo de la microalga se logró a una concentración de sanguaza y agua de mar de 3,5% (v/v) y a pH de 8. En el caso de la actividad acuícola, **Guo et al. (2013)** evaluaron los efluentes generados en el cultivo de lenguado (filtrados a 0,45  $\mu\text{m}$  y esterilizados) como MCA de *Platymonas subcordiformis*; el crecimiento de la microalga marina fue rápido al inicio y se mantuvo constante luego de 4 días; la biomasa de *P. subcordiformis*, luego de 14 días, fue 8,9 veces mayor que el nivel inicial, asimismo, la microalga removió entre el 87% a 95% de N y 98% de P en los efluentes del cultivo de lenguado. Mientras que, **Hidayati et al. (2020)** usaron un fertilizante elaborado a partir de residuos orgánicos generados en el cultivo de camarón (por fermentación), el cual fue enriquecido con urea, así, la relación N/P de 10/1 mostró una mayor población con  $1030 \times 10^4$  células/ml y una tasa media de crecimiento de  $203 \times 10^4$  células/ml/días durante la fase exponencial.

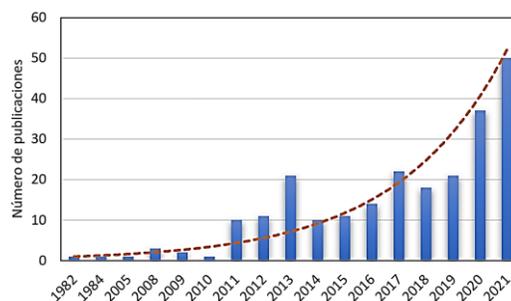
Por otro lado, el uso de FOL y BEs a base de macroalgas han sido evaluados como suplemento de los medios de cultivo convencionales y también como MCA, así, el suministro de hidrolizado ácido de la macroalga *Valoniopsis pachynema* demostró la mejora del crecimiento de *Chlorella vulgaris*, además, el máximo crecimiento del cultivo de la microalga se obtuvo a una concentración del 30% (**Lakshmikandan & Murugesan, 2016**). Mientras que, el uso de EM, como MCA de *Isochrysis galbana*, demostró ser mejor que el medio F/2 de Guillard; los contenidos de proteínas, lípidos y cenizas, luego de la aplicación del EM, fueron similares al control, en cambio, el contenido de carbohidratos resultó mayor que el control (**Rohani-Ghadikolaei et al., 2012**). Asimismo, **Alvarado et al. (2008)** cultivaron exitosamente *Chaetoceros muelleri* utilizando el EM compostadas a una concentración de 20 ml en 1 l de agua de mar; logrando obtener una máxima densidad celular de  $3,09 \times 10^6$  células/ml.

Por otro lado, la demanda de rotíferos *Brachionus* spp. (indispensable para la larvicultura) tiene como fin una acuicultura más rentable, por ende, el uso de compost de residuos de pescado logró incrementar la densidad poblacional de rotíferos debido a su contenido de nutrientes (**Ogello et al., 2018**). Finalmente, una dosis de 0,25 ml/l de hidrolizado de pescado en estanques acuícolas mantuvieron los parámetros de calidad de agua dentro de niveles óptimos, de esta forma, el hidrolizado de pescado permitió el crecimiento y desarrollo de organismos planctónicos como algas verdes (*Chlorophyta*), cuya producción de plancton llegó a ser mayor que en el control, adicionalmente, esta dosis logró la producción de zooplancton de géneros Cyplops (100%), Copepoda (93,3%) y Cypridopsis (80%); obteniendo resultados similares al uso de vermi-compost como fertilizante (**Sahu et al., 2016**).

## 6. Retos actuales y futuros

Los artículos revisados muestran información sobre los productos y aplicaciones para agregar valor a los residuos orgánicos derivados de la industria pesquera mediante la utilización de bioprocesos, y permiten deducir que existe un constante interés por utilizar dichos subproductos

(**Figura 3**); con esta información se espera promover estrategias sostenibles de eliminación más eficiente y rentable de los residuos de la industria pesquera, en beneficio de la agricultura orgánica, acuicultura y el medio ambiente, enmarcado en un modelo de economía circular.



**Figura 3.** Tendencia de publicaciones en bioprocesos utilizando residuos provenientes de la industria pesquera.

## 7. Conclusiones

Los subproductos orgánicos de la industria pesquera provienen de la captura, acuicultura, procesamiento y producción de recursos hidrobiológicos con valor agregado. El auge de esta industria implica el inevitable incremento de residuos y efluentes, por ello la utilización de dichos subproductos en bioprocesos como biodegradación, fermentación, hidrólisis y compostaje puede ser una alternativa para la elaboración de fertilizantes orgánicos y Bioestimulantes. Los trabajos revisados muestran bioprocesos que pueden ser implementados en el marco de economía circular, así mismo los fertilizantes y bioestimulantes obtenidos proponen su uso en la fertilización orgánica junto al régimen de fertilización química para complementar la fertilización tradicional. La producción de fertilizante orgánico y Bioestimulantes para el desarrollo de fórmulas comerciales debe ser desarrollado primero a escala de laboratorio, optimizando los parámetros de trabajo, para posteriormente ser escalado, además de demostrar la ausencia de sustancias fitotóxicas y microorganismos patógenos. Finalmente, se espera a través de este estudio promover estrategias sostenibles de eliminación más eficiente y rentable de los residuos de la industria pesquera, en beneficio de la agricultura orgánica, acuicultura y el medio ambiente, todo esto enmarcado en un modelo de economía circular.

## ORCID

M. A. Florez Jalixto  <https://orcid.org/0000-0002-7874-788X>  
 J. R. Omote Sibina  <https://orcid.org/0000-0003-1395-4973>  
 D. J. Roldán Acero  <https://orcid.org/0000-0002-2829-6873>  
 A. A. Mollada Ordoñez  <https://orcid.org/0000-0003-2732-0752>

## Referencias bibliográficas

Abdulsamad, J. K., & Varghese, S. A. (2017). Effects of fish silage on growth and biochemical characteristics of fresh water microalga *Scenedesmus* sp. MB 23. *Agriculture and Natural Resources*, 51(4), 235–242.

- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste Management*, *115*, 95–112.
- Alvarado, D., Buitrago, E., Solé, M., & Frontado, K. (2008). Experimental evaluation of a composted seaweed extract as microalgal culture media. *Aquaculture International*, *16*(1), 85–90.
- Álvarez-García, M., Urrestarazu, M., Guil-Guerrero, J. L., & Jiménez-Becker, S. (2019). Effect of fertigation using fish production wastewater on Pelargonium x zonale growth and nutrient content. *Agricultural Water Management*, *223*, 105726.
- An, N.-H., Cho, J.-R., Gu, J.-S., & Kim, S.-C. (2016). Comparison of Physico-Chemical Properties of Organic Liquid Fertilizer Containing Fish Meal According to Manufacture Method. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, *24*(3), 91–99.
- An, N.-H., Cho, J.-R., Gu, J.-S., Kim, Y., & Han, E.-J. (2017). Effect of Fish Meal Liquid Fertilizer Application on Soil Characteristics and Growth of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) for Organic Culture. *Journal of Korea Organic Resource Recycling Association*, *25*(3), 13–21.
- Aranganathan, L., & Radhika Rajasree, S. R. (2016). Bioconversion of marine trash fish (MTF) to organic liquid fertilizer for effective solid waste management and its efficacy on Tomato growth. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *27*(1), 93–103.
- Arioli, T., Mattner, S. W., & Winberg, P. C. (2015). Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *Journal of Applied Phycology* *27*:5, *27*(5), 2007–2015.
- Arvanitoyannis, I. S., & Kassaveti, A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science & Technology*, *43*(4), 726–745.
- Aspevik, T., Oterhals, Å., Rønning, S. B., Altintzoglou, T., Wubshet, S. G., et al. (2017). Valorization of Proteins from Co- and By-Products from the Fish and Meat Industry. In C. S. ki Lin (Ed.), *Chemistry and Chemical Technologies in Waste Valorization* (pp. 123–150). Springer, Cham.
- Bahari, A., Pirdashti, H., & Yaghoubi, M. (2013). The effects of amino acid fertilizers spraying on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, *4*(4), 787–793.
- Basmal, J., Aribowo, M. E., Nurhayati, & Kusumawati, R. (2019). Growth rate of *Pseudomonas fluorescens* in liquid fertilizer from brown seaweed (*Sargassum* sp.) extracts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *383*(1), 012027.
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *196*, 39–48.
- Bettli, W., Forner, C., & Mattos, L. P. V. (2014). Development of suppressiveness to *Fusarium oxysporum* in container media and soil amended with fish emulsion and fish hydrolyzed. *Acta Horticulturae*, *1044*, 133–138.
- Bhattacharjee, R., & Dey, U. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, *8*(24), 2332–2342.
- Billard, V., Etienne, P., Jannin, L., Garnica, M., Cruz, F., et al. (2014). Two Biostimulants Derived from Algae or Humic Acid Induce Similar Responses in the Mineral Content and Gene Expression of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, *33*(2), 305–316.
- Burnett, S. E., Mattson, N. S., & Williams, K. A. (2016). Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables, and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States. *Scientia Horticulturae*, *208*, 111–119.
- Busato, J. G., de Carvalho, C. M., Zandonadi, D. B., Sodré, F. F., Mol, A. R., de Oliveira, A. L., & Navarro, R. D. (2017). Recycling of wastes from fish beneficiation by composting: chemical characteristics of the compost and efficiency of their humic acids in stimulating the growth of lettuce. *Environmental Science and Pollution Research* *25*:36, *25*(36), 35811–35820.
- Castro, R. S., Borges Azevedo, C. M. S., & Bezerra-Neto, F. (2006). Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil. *Scientia Horticulturae*, *110*(1), 44–50.
- Ching, Y. C., & Redzwan, G. (2017). Biological Treatment of Fish Processing Saline Wastewater for Reuse as Liquid Fertilizer. *Sustainability*, *9*(7), 1062.
- Dao, V. T., & Kim, J. K. (2011). Scaled-up bioconversion of fish waste to liquid fertilizer using a 5 L ribbon-type reactor. *Journal of Environmental Management*, *92*(10), 2441–2446.
- Dewi, E. N., Rianingsih, L., & Anggo, A. D. (2019). The addition of different starters on characteristics *Sargassum* sp. liquid fertilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *246*(1), 012045.
- Drózd, D., Malińska, K., Kacprzak, M., Mrowiec, M., Szczypiór, A., Postawa, P., & Stachowiak, T. (2020). Potential of Fish Pond Sediments Composts as Organic Fertilizers. *Waste and Biomass Valorization* *2020* *11*:10, *11*(10), 5151–5163.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, *196*, 3–14.
- Elansary, H. O., Yessoufou, K., Abdel-Hamid, A. M. E., El-Esawi, M. A., Ali, H. M., & Elshikh, M. S. (2017). Seaweed Extracts Enhance Salam Turfgrass Performance during Prolonged Irrigation Intervals and Saline Shock. *Frontiers in Plant Science*, *0*, 830.
- Erasmus, V. N., Kadhila, T., Gabriel, N. N., Thyberg, K. L., Ilngu, S., & Machado, T. (2021). Assessment and quantification of Namibian seafood waste production. *Ocean and Coastal Management*, *199*, 105402.
- Fernandez-Salvador, J., Strik, B., & Bryla, D. (2015). Liquid corn and fish fertilizers are good options for fertigation in blackberry cultivars grown in an organic production system. *HortScience*, *50*(2), 225–233.
- Figueroa, J. G. S., Jung, H. Y., Jeong, G. T., & Kim, J. K. (2015). The high reutilization value potential of high-salinity anchovy fishmeal wastewater through microbial degradation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *31*(10), 1575–1586.
- Florez-Jalixto, M. A., Roldán Acero, D. J., & Juscamaita Morales, J. G. (2020). Evaluación de fitotoxicidad y caracterización de un fertilizante líquido elaborado mediante fermentación láctica utilizando subproductos del procesamiento de trucha (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecología Aplicada*, *19*(2), 121.
- Frioni, T., Sabbatini, P., Tombesi, S., Norrie, J., Poni, S., Gatti, M., & Palliotti, A. (2018). Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* on ripening dynamics and fruit quality of grapevines. *Scientia Horticulturae*, *232*, 97–106.
- García-Gaytán, V., Hernández-Mendoza, F., Coria-Téllez, A., García-Morales, S., Sánchez-Rodríguez, E., Rojas-Abarca, L., & Daneshvar, H. (2018). Fertigation: Nutrition, Stimulation and Bioprotection of the Root in High Performance. *Plants*, *7*(4), 88.
- García-Santiago, J. C., Cavazos, C. J. L., González-Fuentes, J. A., Zermeño-González, A., Alvarado, E. R., et al. (2021). Effects of fish-derived protein hydrolysate, animal-based organic fertilisers and irrigation method on the growth and quality of grape tomatoes. *Biological Agriculture & Horticulture*, *37*(2), 107–124.
- Gerber, M. D., Lucia, T., Correa, L., Neto, J. E. P., & Correa, É. K. (2017). Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. *Science of the Total Environment*, *592*, 86–90.

- Gibilisco, P. E., Lancelotti, J. L., Negrin, V. L., & Idaszkin, Y. L. (2020). Composting of seaweed waste: Evaluation on the growth of *Sarcocornia perennis*. *Journal of Environmental Management*, 274, 111193.
- Goddek, S., Schmutz, Z., Scott, B., Delaide, B., Keesman, K., Wuertz, S., & Junge, R. (2016). The Effect of Anaerobic and Aerobic Fish Sludge Supernatant on Hydroponic Lettuce. *Agronomy*, 6(2), 37.
- Goñi, O., Quille, P., & O'Connell, S. (2018). Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63–73.
- Górka, B., Korzeniowska, K., Lipok, J., & Wieczorek, P. P. (2018). The Biomass of Algae and Algal Extracts in Agricultural Production. In K. Chojnacka, P. Wieczorek, G. Schroeder, & I. Michalak (Eds.), *Algae Biomass: Characteristics and Applications* (pp. 103–114). Springer, Cham.
- Guato-Molina, J. J., Auhing-Arcos, J. A., Crespo-Ávila, J. A., Esmeraldas-García, G. A., Mendoza-León, A. F., & Canchignia-Martínez, H. F. (2019). Plant growth promoting bacteria with potential biocontrol agent of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, and *Monilophthora roleri*. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 393–402.
- Guo, Z., Liu, Y., Guo, H., Yan, S., & Mu, J. (2013). Microalgae cultivation using an aquaculture wastewater as growth medium for biomass and biofuel production. *Journal of Environmental Sciences*, 25(S1), S85–S88.
- Gwon, B. G., & Kim, J. K. (2012). Feasibility study on production of liquid fertilizer in a 1 m<sup>3</sup> reactor using fishmeal wastewater for commercialization. *Environmental Engineering Research*, 17(1), 3–8.
- Halim, N. R. A., Yusof, H. M., & Sarbon, N. M. (2016). Functional and bioactive properties of fish protein hydrolysates and peptides: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 51, 24–33.
- Hartz, T., Smith, R., & Gaskell, M. (2010). Nitrogen Availability from Liquid Organic Fertilizers. *HortTechnology*, 20(1), 169–172.
- Hashem, H. A., Mansour, H. A., El-Khawas, S. A., & Hassanein, R. A. (2019). The Potentiality of Marine Macro-Algae as Bio-Fertilizers to Improve the Productivity and Salt Stress Tolerance of Canola (*Brassica napus* L.) Plants. *Agronomy*, 9(3), 146.
- Hidayati, P. A., Mubarak, A. S., & Sudarno. (2020). The optimal n/p ratio of shrimp culture waste liquid fertilizer on growth of *Chlorella vulgaris*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 441(1), 012090.
- Hussain, H. I., Kasinadhuni, N., & Arioli, T. (2021). The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology* 2021 33:2, 33(2), 1305–1314.
- Illera-Vives, M., Seoane Labandeira, S., Iglesias Loureiro, L., & López-Mosquera, M. E. (2017). Agronomic assessment of a compost consisting of seaweed and fish waste as an organic fertilizer for organic potato crops. *Journal of Applied Phycology*, 29(3), 1663–1671.
- ITP-IMARPE (1995) Compendio biológico tecnológico de las principales especies hidrobiológicas del Perú. Lima-Perú. 146p
- Irianto, H. E., Dewi, A. S., & Giyatmi. (2014). Prospective Utilization of Fishery By-products in Indonesia. In S. Kim (Ed.), *Seafood Processing By-Products*. Springer.
- Islam, M. J., & Peñarubia, O. R. (2021). Seafood Waste Management Status in Bangladesh and Potential for Silage Production. *Sustainability*, 13(4), 2372.
- Ju, I., Wj, B., MD, S., La, O., & Oj, E. (2018). A review: Biofertilizer - A key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *Microbiol Biotechnol Rep*, 2(1), 22–28.
- Jung, H. Y., & Kim, J. K. (2016). Eco-friendly waste management of mackerel wastewater and enhancement of its reutilization value. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 111, 1–13.
- Jung, H. Y., & Kim, J. K. (2020). Complete reutilisation of mixed mackerel and brown seaweed wastewater as a high-quality biofertiliser in open-flow lettuce hydroponics. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119081.
- Jung, J., Jung, S., & Choi, H. (2019). Effect of Homemade Liquid Fertilizers on Chemical Property and Microbial Activity of Soil and Cucumber Growth. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, 27(3), 15–25.
- Kaab Omeir, M., Jafari, A., Shirmardi, M., & Roosta, H. (2019). Effects of Irrigation with Fish Farm Effluent on Nutrient Content of Basil and Purslane. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.*, 1–7.
- Kakafi, U., & Kant, S. (2005). FERTIGATION. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 4, 1–9.
- Kang, J. H., Jung, H. Y., & Kim, J. K. (2018). Complete reuse of raw fishmeal wastewater: Evidence from a field cultivation study and economic analysis. *Environmental Engineering Research*, 23(3), 271–281.
- Kang, K. H., Lee, H., Park, T., Sim, J. H., & Kim, S.-Y. (2020). Biodegradation of High Salinity Fishery Wastes in a 150-L Reactor by *Bacillus licheniformis* TK3-Y for Reutilization as Liquid Fertilizer. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*, 35(4), 288–293.
- Kang, S. W., Jeong, C., Seo, D. C., Kim, S. Y., & Cho, J. S. (2019). Liquid fertilizer production by alkaline hydrolysis of carcasses and the evaluation of developed fertilizer in hot pepper cultivation. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 307–312.
- Khari, Z., Kaluthota, S., & Savidov, N. (2019). Aerobic bioconversion of aquaculture solid waste into liquid fertilizer: Effects of bioprocess parameters on kinetics of nitrogen mineralization. *Aquaculture*, 500, 492–499.
- Kim, J.-O., Kim, S.-M., Seo, J.-S., Jee, B.-Y., Kim, Y.-J., & Kwon, M.-G. (2020). Development of an environment-friendly moving aquatic animal rendering equipment and evaluation of fertilizer value for recycling of fish waste. *Journal of Fish Pathology*, 33(1), 97–101.
- Kim, J., Kang, H., Kwon, G., Park, N., Kim, D., & Choi, I. (2019). Effects of Fish-Meal Application on the Growth of Chinese Cabbages (*Brassica campestris* L.) and Soil Chemical Properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 52(3), 206–216.
- Kim, JK, Jung, H., & Cho, J. (2017). Zero-emission management of organic fisheries' waste and its favorable impact on the environment. In M. Collins (Ed.), *Organic Waste* (pp. 39–69). Nova Science Publishers, Inc.
- Kim, N. Y., Jung, H. Y., & Kim, J. K. (2021). Identification and characterisation of a novel heptapeptide mackerel by-product hydrolysate, and its potential as a functional fertilizer component. *Journal of Chromatography B*, 1180, 122881.
- Kumar, P., & Dubey, K. K. (2020). Biotechnological Interventions for Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) Based Biofertilizer: Technological Perspectives. In P. Shukla (Ed.), *Microbial Enzymes and Biotechniques* (pp. 161–191). Springer, Singapore.
- Kusumawati, R., Nurhayati, Pangestu, H. E., & Basmal, J. (2021). Effect of Trichoderma Addition on Sargassum Organic Fertilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 715(1), 012059.
- Lakhal, D., Bahlouan, B., Boutaleb, N., Bennani, M., & El Antri, S. (2020). Agricultural valorization by biotransformation of fish wastes combined with grape marc and molasses. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 2020(7), 723–733.
- Lakhal, D., Boutaleb, N., Bahlouan, B., Taiek, T., Fathi, A., et al. (2017). Mixture Experimental Design in the Development of a Bio Fertilizer from Fish Waste, Molasses and Scum. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(6), 588–594.
- Lakshmikandan, M., & Murugesan, A. G. (2016). *Chlorella vulgaris* MSU-AGM 14, a fresh water microalgal strain - growth and photobiological hydrogen production in acid hydrolysate of

- seaweed *Valoniopsis pachynema*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(32), 13986–13992.
- León, L. H., & Rojas, L. M. (2015). Determinación del potencial promotor del crecimiento vegetal de *Azotobacter* spp. aislados de la rizósfera de malezas en cultivos de maíz (*Zea mays* L.). *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 247–257.
- Lopes, I. G., Braos, L. B., Cruz, M. C. P., & Vidotti, R. M. (2021). Valorization of animal waste from aquaculture through composting: Nutrient recovery and nitrogen mineralization. *Aquaculture*, 531, 735859.
- Madende, M., & Hayes, M. (2020). Fish by-product use as biostimulants: An overview of the current state of the art, including relevant legislation and regulations within the EU and USA. *Molecules*, 25(5), 1122.
- Marsh, L., & Bechtel, P. J. (2012). Waste (By-Product) Utilization. In L. A. Granata, G. J. Flick, & R. E. Martin (Eds.), *The Seafood Industry: Species, Products, Processing, and Safety* (pp. 128–135). Wiley-Blackwell.
- Mhina, C. F., Jung, H. Y., & Kim, J. K. (2020). Recovery of antioxidant and antimicrobial peptides through the reutilization of Nile perch wastewater by biodegradation using two *Bacillus* species. *Chemosphere*, 253, 126728.
- Michalak, I., Tuhy, Ł., & Chojnacka, K. (2015). Seaweed extract by microwave assisted extraction as plant growth biostimulant. *Open Chemistry*, 13(1), 1183–1195.
- Michalak, Izabela, Wilk, R., & Chojnacka, K. (2017). Bioconversion of Baltic Seaweeds into Organic Compost. *Waste and Biomass Valorization*, 8, 1885–1895.
- Moino, B. P., Costa, C. S. D., Silva, M. G. C. da, & Vieira, M. G. A. (2019). Reuse of the alginate extraction waste from *Sargassum filipendula* for Ni(II) biosorption. *Chemical Engineering Communications*, 207(1), 17–30.
- Nabti, E., Jha, B., & Hartmann, A. (2017). Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 14, Issue 5, pp. 1119–1134). Center for Environmental and Energy Research and Studies.
- Nascimento, M. dos S., Pereira, S. J. B., dos Santos, R. F., & Vieira, A. M. (2018). Avaliação e caracterização do processo de compostagem de resíduos de peixes. *Medicina Veterinária e Zootecnia*, 12(11), 1–7.
- Norouzi, A. (2013). *A novel approach to produce organic fertilizer from fish scarp* (Master's thesis) [University of Maryland, USA].
- Nurhayati, Basmal, J., Kusumawati, R., & Melanie, S. (2020). Characteristics of *Gracilaria* sp. residue of seaweed sap extraction with extraction time treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 404(1), 012025.
- Ogello, E. O., Wullur, S., Sakakura, Y., & Hagiwara, A. (2018). Composting fishwastes as low-cost and stable diet for culturing *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff (Rotifera): Influence on water quality and microbiota. *Aquaculture*, 486, 232–239.
- Özyurt, G., & Özkütük, A. S. (2019). Advances in Discard and By-product Processing. In Y. Özoğul (Ed.), *Innovative Technologies in Seafood Processing* (pp. 323–350). CRC Press.
- Peña-García, P., Querevalú-Ortiz, J., Ochoa-Mogollón, G., & Sánchez-Suárez, H. (2020). Ensilado biológico de residuos de langostino fermentado con bacterias ácido-lácticas: Uso como biofertilizante en cultivo de pasto y como alimento para cerdos de traspaso. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 459–471.
- Radziemska, M., Vaverková, M. D., Adamcová, D., Brtnický, M., & Mazur, Z. (2019). Valorization of Fish Waste Compost as a Fertilizer for Agricultural Use. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2537–2545.
- Ranasinghe, R., Kannagara, B., & Ratnayake, R. (2021). Hydrolysis of fish waste using fruit wastes of *Ananas comosus* and *Carica papaya* for the formulation of liquid fertilizers. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 10(2), 129–143.
- Rani Juneius, C. E., Sundari, M., Eswaralakshmi, R., & Elumalai, S. (2018). Seaweed Liquid Fertilizers: A Novel Strategy for the Biofortification of VegeTables and Crops. In J. Patra, G. Das, & H. Shin (Eds.), *Microbial Biotechnology* (pp. 109–117). Springer, Singapore.
- Rohani-Ghadikolaei, K., Ng, W. K., Abdullalan, E., Naser, A., & Yusuf, A. (2012). The effect of seaweed extracts, as a supplement or alternative culture medium, on the growth rate and biochemical composition of the microalga, *Isochrysis galbana* (Park 1949). *Aquaculture Research*, 43(10), 1487–1498.
- Sahu, B. B., Sahu, U., Tripathy, U., Barik, N. K., Agnibesh, A., Paikaray, A., Mohapatra, S., Senapati, S., & Sundaray, J. (2017). Fusion of sugar industry and fish processing industry waste products in developing high value organic fertilizer and feed supplement. *International Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2(4), 6–18.
- Sahu, B., Mohapatra, B., Barik, N., Sahu, H., Sahoo, P., et al. (2016). In-vitro assessment of plankton production using fish hydrolysate. *International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries*, 2(1), 14–24.
- Sahu, B., Sahu, U., Barik, N., Agnibesh, A., Paikaray, A., Mohapatra, S., & Sahu, J. (2017a). Bio-refinery products from shell fish processing waste: Application of Chitin, Chitosan, Chitoooligo saccharides and Derivatives in Organic Agriculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2(4), 27–31.
- Saju, S., Thavaprakash, N., & Amutham, G. (2019). Use of Biostimulants in Enhancing Crop Growth. In A. Rawat & U. Tripathi (Eds.), *Advances in Agronomy* (pp. 71–96). AkiNik Publications.
- Sánchez-Torres, H., Juscamaíta-Morales, J., Vargas-Cárdenas, J., & Oliveros-Ramos, R. (2008). Producción de la microalga *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd en medios enriquecidos con ensilado biológico de pescado. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), 149–158.
- Sastro, Y., Astuti, E. P., Ikrarwati, I., & Sutardi, S. (2015). Efektivitas Pupuk Organik Cair Hasil Fermentasi Limbah Ikan Pada Caisim dan Selada Skala Lapangan. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian*, 232–238.
- Serrano, A., Siles, J. A., Chica, A. F., & Martín, M. Á. (2013). Agrifood waste valorization through anaerobic co-digestion: Fish and strawberry residues. *Journal of Cleaner Production*, 54, 125–132.
- Serrano, A., Siles, J. A., Gutiérrez, M. C., & Martín, M. Á. (2014). Optimization of anaerobic co-digestion of strawberry and fish waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 173(6), 1391–1404.
- Shanthi, G., Premalatha, M., & Anantharaman, N. (2021). Potential utilization of fish waste for the sustainable production of microalgae rich in renewable protein and phycocyanin-*Arthrospira platensis*/Spirulina. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126106.
- Silva, B., J., Vásquez V., V., & Merino M., F. (2011). Producción de biomasa de *Tetraselmis suecica* empleando agua de mar con sanguaza. *Scientia Agropecuaria*, 2(1), 13–23.
- Silva, L. D., Bahcevandziev, K., & Pereira, L. (2019). Production of bio-fertilizer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(3), 918–927.
- Sipaúba-Tavares, L. H., Lusser Segali, A. M. D., Berchielli-Morais, F. A., & Scardoeli-Truzzi, B. (2017). Development of low-cost culture media for *Ankistrodesmus gracilis* based on inorganic fertilizer and macrophyte. *Original Article Acta Limnologica Brasiliensis*, 29, e5.
- Thendral, B., & Geetha, A. (2019). Physicochemical characterization of traditionally fermented liquid manure from fish waste (Gunapaselam). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 18(4), 830–836.

- Tiwow, V. M. A., Adrianton, Abram, P. H., & Arafah, S. (2019). Bakasang fermentation of Tilapia fish (*Oreochromis mossambicus*) waste for production of liquid organic fertilizer (LOF). *Journal of Physics: Conference Series*, 1242(1), 012018.
- Tiwow, V. M. A., Adrianton, Abram, P. H., & Simatupang, E. A. (2020). The application of liquid and solid organic fertilizer from Tilapia fish waste for conservation of Central Sulawesi superior Jackfruit plant from Tulo and Beka. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2), 022027.
- Tsaniya, A. R., Dewi, E. N., & Anggo, A. D. (2021). Characteristics of liquid organic fertilizer from different composition types of seaweed between *Gracilaria* sp. and *Sargassum* sp. *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1), 012071.
- Uju, Wijayanta, A. T., Goto, M., & Kamiya, N. (2015). Great potency of seaweed waste biomass from the carrageenan industry for bioethanol production by peracetic acid-ionic liquid pretreatment. *Biomass and Bioenergy*, 81, 63–69.
- Venegas, M., Leiva, A. M., & Vidal, G. (2018). Influence of Anaerobic Digestion with Pretreatment on the Phytotoxicity of Sewage Sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(381), 1–11.
- Venugopal, V. (2021). Valorization of Seafood Processing Discards: Bioconversion and Bio-Refinery Approaches. *Frontiers in Sustainable Food*, 5, 611835.
- Vidya, D., Nayana, K., Sreelakshmi, M., Keerthi, K. V., Mohan, K. S., Sudhakar, M. P., & Arunkumar, K. (2021). A sustainable cultivation of microalgae using dairy and fish wastes for enhanced biomass and bio-product production. *Biomass Conversion and Biorefinery 2021*, 1–15.
- Vijayakumar, S., Durgadevi, S., Arulmozhi, P., Rajalakshmi, S., Gopalakrishnan, T., & Parameswari, N. (2019). Effect of seaweed liquid fertilizer on yield and quality of *Capsicum annum* L. *Acta Ecologica Sinica*, 39(5), 406–410.
- Villamil, O., Váquiro, H., & Solanilla, J. F. (2017). Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 224, 160–171.
- Visconti, A., Bettioli, W., & Morandi, M. A. B. (2010). Efeito de hidrolisado de peixe sobre o crescimento micelial e controle de *Cylindrocladium spathiphylli* em espatifilo. *Summa Phytopathologica*, 36(4), 298–308.
- Wang, T., Wu, J., Yi, Y., & Qi, J. (2016). Optimization of Process Conditions for Infected Animal Tissues by Alkaline Hydrolysis Technology. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 366–374.
- Ward, B. K., Dufault, R. J., Hassell, R., & Cutulle, M. A. (2018). Affinity of Hyperammonia-Producing Bacteria to Produce Bioammonium/Ammonia Utilizing Five Organic Nitrogen Substrates for Potential Use as an Organic Liquid Fertilizer. *ACS Omega*, 3(9), 11817–11822.
- Xu, C., & Mou, B. (2017). Drench Application of Fish-derived Protein Hydrolysates Affects Lettuce Growth, Chlorophyll Content, and Gas Exchange. *HortTechnology*, 27(4), 539–543.
- Yuan, Y., Chu, D., Fan, J., Zou, P., Qin, Y., et al. (2021). Ecofriendly conversion of algal waste into valuable plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) biomass. *Waste Management*, 120, 576–584.