

# Modelo matemático para la estimación de la capacidad de producción de Artemia basado en la demanda en sistemas acuícolas bajo condiciones de incertidumbre

## *Mathematical model for estimating Artemia production capacity based on demand in aquaculture systems under uncertainty conditions*

 Hilda Oquendo-Ferrer<sup>1</sup>

 Luis B. Ramos-Sánchez<sup>1</sup>

 Madelaine Vasallo-Conde<sup>1</sup>

 Gualberto León-Revelo<sup>2</sup>

[hilda.oquendo@reduc.edu.cu](mailto:hilda.oquendo@reduc.edu.cu) 

1.- Universidad de Camagüey. Camagüey, Cuba

2.- Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Carchi, Ecuador

Recibido: 01/07/2025

Revisado: 02/09/2025

Aceptado: 23/11/2025

Publicado: 06/01/2026

### RESUMEN

La *Artemia spp.* constituye el alimento vivo más utilizado en la acuicultura, especialmente en las fases larvales de peces y camarones, donde influye directamente en su supervivencia y crecimiento. El presente estudio propone un modelo matemático para estimar la capacidad de producción de Artemia en función de la demanda proyectada en sistemas acuícolas. El modelo integra la estimación de la demanda a partir de la producción de peces y camarones, el rendimiento productivo del sistema y un enfoque clásico de planificación de capacidades bajo condiciones de incertidumbre en la demanda y financiera, estimando la capacidad de la planta, el tiempo al que debe realizarse la primera expansión y la capacidad de esta, para diferentes escenarios financieros. Se presenta un estudio de caso basado en sistemas productivos de la provincia de Camagüey, considerando escenarios para camarones y para peces, específicamente para la tilapia. Los resultados evidencian que la capacidad productiva disponible es insuficiente para satisfacer la demanda proyectada por lo que se deben aplicar vías de explotación intensiva de los cultivos. El enfoque propuesto constituye una herramienta útil para la planificación estratégica y la toma de decisiones en sistemas acuícolas.

**Palabras clave:** Artemia, acuicultura, capacidad de producción, modelación matemática, demanda

### ABSTRACT

*Artemia spp.* is the most widely used live feed in aquaculture, especially in the larval stages of fish and shrimp, where it directly influences their survival and growth. This



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Rev. Investigaciones ULCB. Ene - Jul.13(1), 2026; ISSN: 2409 - 1537;75-84

study proposes a mathematical model to estimate Artemia production capacity based on projected demand in aquaculture systems. The model integrates demand estimation from fish and shrimp production, system productivity, and a classic capacity planning approach under conditions of demand and financial uncertainty. It calculates the plant's capacity, the timeframe for expansion, and the capacity of this expansion. A case study based on production systems in the province of Camagüey is presented, considering scenarios for shrimp and fish, specifically tilapia. The results show that the available production capacity is insufficient to meet projected demand, thus necessitating the implementation of intensive farming methods. The proposed approach is a useful tool for strategic planning and decision-making in aquaculture systems.

**Keywords:** Artemia, aquaculture, production capacity, mathematical modeling, demand

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura global depende en gran medida de la disponibilidad de Artemia como alimento vivo. Su uso es indispensable en criaderos debido a su contenido proteico, perfil lipídico y facilidad de digestión. Sin embargo, la disponibilidad de Artemia es limitada y su producción presenta variabilidad, lo que genera un reto para la planificación productiva.

La Artemia es utilizada ampliamente en la industria acuícola en desarrollo creciente y sostenido. Constituye un factor limitante en la expansión acuícola, siendo el alimento vivo más importante en los criaderos. Su demanda global es sostenida y creciente. Existen limitaciones en la producción que afectan la cadena de suministro (Madkour *et al.*, 2022).

Dentro de las estrategias para aumentar la biomasa y producción de quistes es necesario considerar la influencia de la alimentación y las condiciones ambientales, la optimización de densidad de cultivo y la mejora de productividad bajo condiciones controladas. El rendimiento es altamente variable y optimizable (Rahman *et al.*, 2025).

En documento técnico de la FAO, ampliamente citado se establecen las bases biológicas de la Artemia, los factores ambientales críticos y las limitaciones naturales del sistema, concluyendo también que la producción depende fuertemente de variables ambientales (FAO, 1996).

Un estudio realizado durante cuatro años sobre la producción industrial de la Artemia: los métodos intensivos y semi-intensivos, la eficiencia productiva y la escalabilidad, mostró que la producción se puede escalar, pero con límites técnicos (Zmora *et al.*, 2002).

Un análisis de las tendencias actuales en investigaciones, destacan las nuevas técnicas de cultivo, estudios sobre el enriquecimiento nutricional y las innovaciones tecnológicas, destacándose que existen oportunidades para mejorar eficiencia y calidad tanto en la producción de la Artemia como su uso como alimento en los criaderos de otras especies acuícolas (Azra *et al.*, 2022).

El objetivo de este estudio es proponer un modelo que permita estimar la capacidad de producción de Artemia con-

siderando la incertidumbre en la demanda derivada de la producción de peces y camarones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Demanda de Artemia

La demanda total de Artemia se define como:

$$D = P \cdot FCR \cdot \alpha$$

Donde:

D: demanda de Artemia

P: producción acuícola

FCR: índice de conversión alimenticia

$\alpha$ : proporción de Artemia en la dieta

### 2.2 Modelo de capacidad bajo incertidumbre

Para determinar la capacidad de producción de la planta se propone aplicar el siguiente método de cálculo de las capacidades óptimas de las plantas considerando la incertidumbre en la demanda.

Se emplea el procedimiento metodológico para la determinación de capacidades óptimas de inversiones y ampliaciones en condiciones de incertidumbre desarrollado por los clásicos (Rudd y Watson, 1968).

Se parte de que la proyección de la demanda en el tiempo tiene un comportamiento lineal y de que existe una demanda para ese producto:

$$D = D_0 + a\theta$$

Donde  $a$  es la pendiente,  $\theta$  es el tiempo y  $D_0$  es la demanda inicial.

Determinación de la capacidad inicial recomendada:

$$Q_i = D_0 + Fsd \cdot a / i$$

Donde:  $i$  es la tasa de interés financiero,  $Fsd$  es el factor de sobre diseño,  $Q_i$  la ca-

pacidad,  $a$  es la pendiente y  $D_0$  demanda inicial.

En la elección del factor de sobre-diseño, hay que considerar la fiabilidad de los equipos y datos históricos del tipo de proceso.

Determinación del tiempo al que debe realizarse la primera expansión:

$$\theta = ((Q_i - D_0) / a)$$

Donde:  $Q_i$  es la capacidad inicial,  $D_0$  la demanda inicial,  $a$  es la pendiente y  $\theta$  es el tiempo de expansión.

Determinación de la capacidad de la expansión:

$$Q^* = a / i$$

Donde:  $Q^*$  es la capacidad,  $a$  es la pendiente e  $i$  es la tasa de interés financiero.

Los clásicos describieron este procedimiento (Rudd y Watson, 1968), aplicado a la demanda, es decir, consideraron la incertidumbre por las variaciones en la demanda y puede ser aplicado, como plantean los autores, a otros casos como las predicciones en los precios, costos, la energía, capacidad del mercado y otros, siempre que se pueda tratar el crecimiento como un modelo lineal.

Ha sido empleado para considerar la incertidumbre en la disponibilidad de materia prima de la industria de la caña de azúcar en las producciones de etanol, si se demuestra que las proyecciones de los crecimientos de caña en el tiempo tienen un comportamiento lineal y, por tanto, las cantidades de miel, bagazo, cachaza, que son las materias primas fundamentales (Oquendo-Ferrer *et al.*, 2016) y para determinar las capacidades de las plantas de producción de alimento animal a partir de la disponibilidad de las materias primas, fundamentalmente miel y las necesidades de alimento

del ganado en la provincia de Camagüey (Oquendo-Ferrer *et al.*, 2020).

### Estimación de la producción anual de biomasa y de quistes

El método desarrollado por los clásicos (Rudd y Watson, 1968) para la estimación de la capacidad considerando la incertidumbre en la demanda puede aplicarse también a la incertidumbre en la disponibilidad de materia prima siempre y cuando se pruebe que el modelo tiene un comportamiento lineal, lo cual es válido para la disponibilidad de Artemia, pero en este caso se consideró más conveniente utilizar la ecuación desarrollada por Ramos y colaboradores (Ramos-Sánchez *et al.*, 2025) que involucra no sólo la producción anual de quistes y biomasa, sino la infraestructura existente y datos de productividad y tiempos específicos para la producción de estos, lo cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$P_a \text{Asd} = I_{ps} \text{Tpa}$$

Donde:

$P_a$  - producción anual de quistes secos o de biomasa (t/a).

$I_{ps}$ - índice de productividad superficial de quistes secos o de biomasa húmeda (t ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>).

$\text{Asd}$ - Superficie de estanques disponibles (ha) para la producción de biomasa y quistes.

$\text{Tpa}$ - tiempo de producción anual disponible para la producción de los quistes y de la biomasa (meses/ año).

Las consideraciones, resultados y análisis están expuestas por Ramos *et al.* en el artículo de Estimación real de la biomasa en la Salina “El Real” de la provincia de Camagüey (Ramos-Sánchez *et al.*, 2025).

Este es un modelo logístico que permite capturar la dinámica de crecimiento y las limitaciones del sistema productivo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trabajó con información de la empresa de camarones CULTISUR y la empresa PESCACAM, de la provincia de Camagüey.

### 3.1 Cálculo de la capacidad de producción de Artemia, atendiendo a la demanda en camarones.

Según el análisis de determinación de la capacidad óptima de la planta a partir de la proyección en la demanda y los intereses financieros, desarrollada por los clásicos (Rudd y Watson, 1968) y aplicada por otros autores (Oquendo-Ferrer *et al.*, 2016) y (Oquendo-Ferrer *et al.*, 2020) se aplicó a la capacidad de producción de Artemia.

El índice de conversión alimenticia (FCR) es un indicador que se utiliza habitualmente, que mide la eficacia del pienso suministrado y que puede ser aplicado también en la acuicultura:

$$\text{FCR} = (\text{Pienso suministrado}) / (\text{Ganancia de peso del animal})$$

Se recomienda en la literatura especializada sobre Acuicultura un factor para camarones entre 1,6 y 1,8, para peces entre 1,4 y 1,8 (TECHNA, 2026).

Por otra parte, la Unidad Empresarial de Base para el Cultivo del Camarón (UEB CULTISUR), dedicada al cultivo de camarón, actualmente la especie denominada *Litopenaeus Vannamei*, se dedica fundamentalmente a la exportación y ha logrado un aporte económico importante al país, Después del 2020 la producción de camarones se ha limitada disminuido considerablemente debido a la reducción de

recursos y los efectos producidos por la pandemia de la covid-19 sobre la economía mundial.

La causa principal de la baja producción está muy relacionada con la falta de recursos y la situación económica del país para contratar el pienso que se

necesita y es conveniente realizar un estudio de tendencias en la organización para buscar vías intensivas de producción (Puentes-Vasconcellos *et al.*, 2021).

Para alcanzar la producción de camarones prevista se calcula la demanda de Artemia en el pienso.

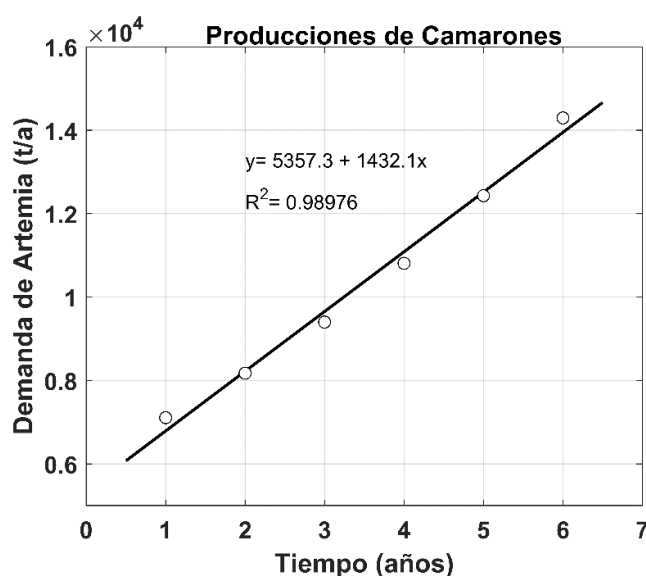
**Tabla 1.**

*Proyección de la demanda de Artemia para la producción de camarones en el periodo 2025-2030.*

| Años | Producción de<br>camarón<br>t/a | FCR | Demanda de<br>Artemia<br>t/a |
|------|---------------------------------|-----|------------------------------|
| 2025 | 4 442,23                        | 1,6 | 7 107,57                     |
| 2026 | 5 108,57                        | 1,6 | 8 173,71                     |
| 2027 | 5 874,85                        | 1,6 | 9 399,76                     |
| 2028 | 6 756,08                        | 1,6 | 10 809,73                    |
| 2029 | 7 769,48                        | 1,6 | 12 431,17                    |
| 2030 | 8 934,91                        | 1,6 | 14 295,86                    |

Se realizó el ajuste del modelo para la estimación de la demanda en función de la producción real, que se muestra en la fi-

gura y se estima la capacidad óptima de la planta:



**Figura 1:** Modelo para la estimación de la capacidad de producción de Artemia considerando la incertidumbre en la producción de camarones.

Fuente: Los datos fueron aportados por la Empresa CULTISUR de la provincia de Camagüey.

Para el modelo obtenido y validado estadísticamente, a partir de la proyección de la demanda, se consideraron tres escenarios para el interés y se calcularon los parámetros de capacidad inicial óp-

tima de la planta, el tiempo al que debe ocurrir la expansión y la capacidad de la expansión, así como la capacidad final que debe tener la planta de producción de Artemia.

**Tabla 2.**

*Determinación de la capacidad de producción de Artemia según la demanda de este alimento en camarones.*

| Caso de estudio                  | Demanda inicial no nula sin sobrediseño |          |          |
|----------------------------------|-----------------------------------------|----------|----------|
| Tasa de interés                  | 0,12                                    | 0,15     | 0,18     |
| Pendiente                        | 1 321,2                                 | 1 321,2  | 1 321,2  |
| Intercepto                       | 5 072,4                                 | 5 072,4  | 5 072,4  |
| Capacidad Inicial (t/a)          | 16 082,4                                | 13 880,4 | 12 412,4 |
| Primera ampliación (años)        | 8,3                                     | 6,7      | 5,6      |
| Capacidad de la ampliación (t/a) | 11 010,0                                | 8 808,0  | 7 340,0  |

Por ejemplo, para un 12 % de interés financiero la planta proyectada debe tener una capacidad inicial de 16 082,40 t/a y ampliarse a los 8 años con una capacidad de la ampliación de 11 010,00 t/a.

Estos resultados se deben comparar con el realizado para la disponibilidad de la materia prima según la capacidad de la Salina en que se estimó que podrían llegar a cubrir las necesidades de quistes de la camaricultura nacional hasta el año 2030 con una producción de biomasa de 333 t/año y de 7,2 t/año de quistes, proponiéndose producir biomasa durante todo el año y quistes durante nueve meses en que las condiciones lo permiten (Ramos-Sánchez et al., 2025).

Como se aprecia la capacidad necesaria por la demanda existente en camaro-

nes es superior a la capacidad de producción de Artemia en al Salina “El Real” y actualmente no es posible construir una planta de mayor capacidad.

### 3.2 Cálculo de la capacidad de producción de Artemia, atendiendo a la demanda en peces.

La empresa PESACAM de la provincia de Camagüey tiene producciones de 5000 t anuales y pretende aumentar sus producciones a 10 000 t en el 2030, con un índice de crecimiento de un 10%,

De las especies producidas en la empresa, la organización identifica la producción de tilapia como la especie mayor beneficiada con el consumo de Artemia en su dieta y, además, se desarrolla un método intensivo para el desarrollo de sus producciones.

Como posible mercado esta empresa produce anualmente 400 t de tilapia producto de la cría intensiva, para ello necesitan 720 t de alimento, a partir de un 30 % de proteínas, aminoácidos, carbohidratos y minerales que permiten el desarrollo de esta especie. De acuerdo a las potencialidades de la Artemia esta puede cubrir un 30 % de su dieta, lo que representa una necesidad de 216 t anuales (Ordoñez-Mejía *et al.*, 2021).

De acuerdo a la necesidad real de alimento para peces y camarones en la pro-

vincia, es posible evaluar la capacidad de una planta que permita la producción de Artemia para contribuir, en alguna medida, a la demanda del sector acuícola en el territorio.

Se recomienda un FCR para peces entre 1,4 y 1,8 (TECHNA, 2026).

Se realizó el cálculo de la capacidad de producción según la demanda para tilapia debido a que La planificación de la demanda se hizo sobre las estimaciones de la empresa, con un incremento anual de 25 t.

**Tabla 3.**

*Proyección de la demanda de Artemia para la producción de tilapia en el periodo 2025-2030.*

| Años | Producción de    | FCR | Demanda de       |
|------|------------------|-----|------------------|
|      | tilapia<br>(t/a) |     | Artemia<br>(t/a) |
| 2025 | 400              | 1,8 | 216,0            |
| 2026 | 425              | 1,8 | 229,5            |
| 2027 | 450              | 1,8 | 243,0            |
| 2028 | 475              | 1,8 | 256,5            |
| 2029 | 500              | 1,8 | 270,0            |
| 2030 | 525              | 1,8 | 283,5            |

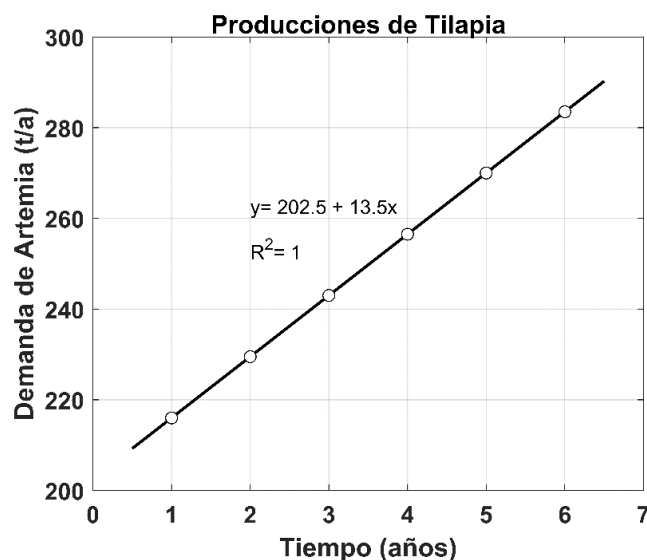
Con el empleo de los datos de la tabla se realizó el ajuste del modelo para la estimación de la demanda en función de la producción real.

Este modelo se utilizó para la estimación de la demanda en condiciones de incertidumbre para las tres tasas de interés financiero estudiadas (0,12; 0,15 y 0,18).

A continuación, se presentan los cálculos considerando la incertidumbre en la demanda y financiera:

De igual forma, puede determinarse para otras especies de peces, lo que demuestra que hay un mercado creciente y deficitario de este alimento, lo que lleva a la necesidad de buscar métodos de cultivos más eficientes.





**Figura 2:** Modelo para la estimación de la demanda real de Artemia considerando la incertidumbre en la producción de tilapia.

Fuente: Los datos fueron aportados por la Empresa PESACAM de la provincia de Camagüey.

**Tabla 4.**

*Determinación de la capacidad de producción de Artemia según la demanda de este alimento en peces (tilapia).*

| Caso de estudio                  | Demanda inicial no nula sin sobrediseño |       |       |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|
| Tasa de interés                  | 0,12                                    | 0,15  | 0,18  |
| Pendiente                        | 13,5                                    | 13,5  | 13,5  |
| Intercepto                       | 202,5                                   | 202,5 | 202,5 |
| Capacidad Inicial (t/a)          | 315,0                                   | 292,5 | 277,5 |
| Primera ampliación (años)        | 8,3                                     | 6,7   | 5,6   |
| Capacidad de la ampliación (t/a) | 112,5                                   | 90,0  | 75,0  |



Los resultados obtenidos, para la determinación de la capacidad considerando la incertidumbre en la demanda de camarones (Tabla 2) y para la Tilapia (Tabla 4), al compararlo con las posibilidades del sistema productivo actual en la Salina “El Real”, muestran que no se logra satisfacer la demanda.

El modelo propuesto incorpora elementos de incertidumbre en la demanda y financiera, lo que representa una mejora respecto a enfoques tradicionales.

Se pudo comprobar que los datos de la demanda siguen un comportamiento lineal cumpliéndose las condiciones del método de los clásicos (Rudd y Watson, 1968).

Se muestra que la variable limitante es la capacidad de la planta en la Salina “El Real”, por lo que se deben buscar vías de incremento de la productividad del sistema.

## CONCLUSIONES

La Artemia constituye un producto de alto valor para los sistemas acuícolas y aunque no es posible satisfacer la demanda si puede sustituir parte de la dieta en los piensos empleados.

El modelo propuesto, permite estimar la capacidad de producción necesaria considerando la incertidumbre en la demanda y la financiera. Constituye una herramienta útil en la toma de decisiones y desarrollo sostenible de los sistemas acuícolas.

Los resultados muestran que la capacidad productiva actual es insuficiente para satisfacer la demanda proyectada, lo que hace necesario aumentar la eficiencia de los cultivos de Artemia, empleando métodos intensivos de producción en la Salina o haciendo nuevas inversiones en otras Salinas del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azra, M. N., Noor, M. I. M., Burlakovs, J., Abdullah, M. F., Latif, Z. A., y Sung, Y. Y. (2022). Trends and New Developments in Artemia Research. *Animals*, 12(18), 2321. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani12182321>
- FAO. (1996). Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture. In Introduction, biology and ecology of Artemia (361). FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER. <https://www.fao.org/4/w3732e/w3732e0m.htm>
- Madkour, K., Dawood, M. A. O., y Sewilam, H. (2022). The Use of Artemia for Aquaculture Industry: An Updated Overview. *Annals of Animal Science* 23(1). <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0041>
- Oquendo-Ferrer, H., González-Suárez, E., Ley-Chong, N., y Nápoles-García, M. F. (2016). Cálculo de capacidades de producción iniciales óptimas considerando elementos de incertidumbre. *Centro Azúcar*, 43(2), 24-34. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612016000200003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000200003)

- Oquendo-Ferrer, H., Ramos-Sánchez, L. B., Pedraza-Olivera, R., Pazos-Amayuela, L., Martínez-Fernández, Y. E., y González-Suárez, E. (2020). Procedimiento para determinar las potencialidades de producción de alimento en la provincia de Camagüey. r, Vol. 54 No. 3 septiembre - diciembre – 2020. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*; 54(3), 11-17. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2021/02/articulo-7-.pdf>
- Ordoñez-Mejia, C. A., Galarza-Mora, W. G., Quizpe-Cordero, P., y Quijije-López, L. J. (2021). Efecto de la combinación de alimento artificial y biomasa de artemia sp en cria intensiva de postlarvas de *litopenaeus vannamei*. *Ciencias técnicas y aplicadas*, 7(3), 1167-1189. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1854>
- Puentes-Vasconcellos, L., Loredo-Carballo, N., y Garrigó-Andreu, L. (2021). Estudio de tendencias para el sector pesquero en Cuba. *Retos de la Dirección*, 15, 147-165. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2306-91552021000300147](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552021000300147)
- Rahman, M. H., Roy, T. K., Alam, M. W., Islam, M. S., Hossen, M. S., AlBakky, A., Begum, N., Islam, M. S., Ismail, Z., y Idris, A. M. (2025). Enhancement of Artemia biomass and cyst production using supplementary feeds: a preliminary study. *Scientific Reports* 15(41148). <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-025-24882-z>
- Ramos-Sánchez, L., Oquendo-Ferrer, H., Galeano-Morell, D. A., Martínez-Sáez, S., y Velázquez-García, M. (2025). Estimación de la producción de biomasa y quistes de Artemia en la salina cubana El Real. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4(1), 24-39i. <https://doi.org/https://doi.org/10.57107/hyw.v4i1.82>
- Rudd, D. F., y Watson, C. C. (1968). Strategy of Process Engineering. Mc- Graw Hill. [https://books.google.com.cu/books/about/Strategy\\_of\\_Process\\_Engineering.html?id=LN-RnQEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.cu/books/about/Strategy_of_Process_Engineering.html?id=LN-RnQEACAAJ&redir_esc=y)
- TECHNA. (2026). El índice de conversión de piensos, uno de los principales indicadores de la eficacia de la alimentación en piscicultura. <https://www.groupe-techna.com/es/feedia/consejos/conversion-alimentacion-pescado-de-cultivo>
- Zmora, O., Avital, E., y Gordin, H. (2002). Results of an attempt for mass production of Artemia in extensive ponds. *Aquaculture*, 213(1-4), 395-400. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00054-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00054-6)

#### **Declaración de roles de autores:**

- Hilda Oquendo-Ferrer.: conceptualización; metodología, administración del proyecto, revisión y edición final.
- Luis B. Ramos-Sánchez.: conceptualización; metodología; revisión y edición final.
- Madelaine Vasallo-Conde.: investigación y redacción.
- Gualberto León-Revelo.: investigación y validación.