Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FAO DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA Y ACUICULTURA

ISSN 2070-7037

702

Manual para la producción y uso de *Artemia*



***Fotografías de portada*:**

Quistes flotando en la superficie del agua, empujados por el viento a la esquina del estanque (arriba izquierda – ©Van Nguyen Hoa); Quistes secos de *Artemia* (arriba centro – ©ARARC); Hembra adulta de *Artemia* (arriba derecha – ©LAARC); Larvas de peces alimentándose de nauplios de *Artemia* (medio derecha – ©Charles Weirich); Embrión en estado de paraguas (izquierda) y nauplio instar I (medio centro – ©LAARC); Larva de camarón alimentándose de nauplios de *Artemia* (medio derecha ©INVE); Tanque de eclosión con buena aireación (abajo izquierda – ©Viet Uc Shrimp hatchery); Disposición para el control de calidad de la eclosión (abajo centro – ©LAARC); Aplicación de tecnología SEP–Art® (abajo derecha – ©INVE)

Manual para la producción y uso de *Artemia*

FAO
DOCUMENTO
TÉCNICO
DE PESCA Y
ACUICULTURA

702

Editado por

Gilbert Van Stappen
Patrick Sorgeloos
Universidad de Gante
Bélgica

Geert Rombaut
INVE Aquaculture
Bélgica

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA
Roma, 2026

Cita requerida:
Van Stappen, G., Sorgeloos, P. & Rombaut, G., eds. 2026. *Manual para la producción y uso de Artemia*. FAO Documento técnico de pesca y acuicultura, n.º 702. Roma, FAO. https://doi.org/10.4060/cd0313es

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o el nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISSN 2070-7037 [print]
ISSN 2707-5435 [online]

ISBN 978-92-5-140979-4
© FAO, 2026



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.es).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra, siempre que se cite correctamente. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. Si la obra se traduce o se adapta, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la cita requerida: “La presente traducción [o adaptación] no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción [o la adaptación]. La edición original en [idioma] será el texto autorizado”.

Toda controversia que surja en relación con la presente licencia y que no pueda resolverse de forma amistosa se someterá a arbitraje de conformidad con el Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI). Las partes quedarán obligadas por todo laudo arbitral emitido como consecuencia de dicho arbitraje como resolución final de la controversia.

Materiales de terceros. Esta licencia Creative Commons CC BY 4.0 no se aplica a material incluido en esta publicación de cuyos derechos de autor no sea titular la FAO. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular de los derechos de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Fotografías de la FAO. Las fotografías de la FAO que puedan aparecer en esta obra no están sujetas a la licencia Creative Commons arriba mencionada. Las consultas sobre el uso de cualquier fotografía de la FAO deben remitirse a: photo-library@fao.org.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO en forma electrónica, así como la lista de distribuidores a través de los cuales pueden adquirirse ejemplares impresos, están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications/es). Si tienen preguntas de carácter general sobre las publicaciones de la FAO, sírvanse escribir a: publications@fao.org. Las consultas relativas a derechos y licencias sobre las publicaciones deben remitirse a: copyright@fao.org.

Preparación de este documento

Este manual provee el primer punto de entrada para quien está interesado en *Artemia* y está diseñado para ser claro, conciso, práctico y un libro que incluya todo sobre la producción y el uso de este organismo usado como alimento vivo para la larvicultura a nivel mundial. Debido al rápido desarrollo de la acuacultura y la utilización responsable de los recursos naturales acuáticos, esta recopilación y presentación del conocimiento disponible y sus mejores prácticas que son especialmente importantes y relevantes para la comunidad acuícola global.

En la preparación de este manual, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura se asoció con el Laboratorio de Acuicultura y Centro de Referencia de Artemia de la Universidad de Gante, como institución líder, que estableció un grupo de trabajo y actuó como coordinador con las otras dos instituciones colíderes, el Centro Regional Asiático de Referencia de *Artemia* de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Tianjin (China) y la Facultad de Pesca y Acuicultura de la Universidad de Can Tho (Viet Nam). Otros usuarios identificados fueron partes interesadas que trabajan en el estudio, producción y aplicación de *Artemia* (i.e. institutos de investigación empresas privadas y consultores) quiénes fueron invitados a brindar sus aportes hacia la actualización de este manual de *Artemia*.

Este manual, preparado por un grupo de expertos con diferentes especialidades de todo el mundo, presenta información sobre la biología de *Artemia*, su producción (en lagos y estanques salados por separado) y su aplicación en diferentes formas, juntamente con material ilustrativo, lo que hace de este documento una adición invaluable a la biblioteca de referencia de quienquiera trabajando en *Artemia*. Con casi 200 páginas y tres capítulos principales, esta nueva edición actualiza y complementa la última edición del Manual de *Artemia* de FAO – *Manual para la producción y uso de alimento vivo para acuicultura* – que fue publicado en 1996.

Es importante recordar algunos hitos importantes en el proceso de preparación de este documento: La Dirección de Pesca y Acuicultura (NFI – por sus siglas en inglés) de la FAO, a través del Equipo de Tecnología y Producción Acuícola (NFIAT – por sus siglas en inglés), organizó varios talleres en línea para debatir los avances, el esquema y el contenido de la documentación. Se invitó al profesor Patrick Sorgeloos para que presente la "Nueva iniciativa para consolidar/ampliar el documento de *Artemia* en la acuicultura de peces y crustáceos en el seminario de la Dirección de Pesca y Acuicultura de la FAO titulado Consorcio Internacional de Acuicultura de *Artemia*. El 22 de septiembre de 2021, se celebró un taller sobre acuicultura de *Artemia* alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible como evento especial en la Conferencia Mundial sobre Acuicultura Millennium +20, que fue moderado por Rodrigo Roubach y la profesora Sui Liying. También se organizaron otros talleres y eventos sobre los recursos y la utilización de *Artemia* a nivel mundial.

Este manual ha sido preparado para alinearse con la Hoja de Ruta de Transformación Azul 2022-2030 de la FAO, según el cual se requiere una intensificación sostenible de acuicultura para satisfacer la demanda mundial para alimentos de origen acuático y para distribuir los beneficios equitativamente. El manual ofrece una guía práctica y clara sobre el suministro y uso sostenible de *Artemia* para prácticas alimentarias y acuícolas, en aras de apoyar la eficiente intensificación de la acuicultura y aumentar el conocimiento de la biodiversidad de *Artemia* y la biodiversidad de ecosistema hipersalinos en general, entre los usuarios y productores de *Artemia*. Los siguientes suplementos están disponibles a través del enlace proporcionado con este manual: métodos para la desinfección de quistes de *Artemia* no decapsulados, decapsulación de quistes, determinación del peso seco, determinación del contenido de agua de *Artemia* y determinación del recuento de quistes, porcentaje de eclosión, eficiencia de eclosión y tasa de eclosión de quistes de *Artemia*.

Resumen

Esta publicación de la FAO profundiza en la importancia de *Artemia*, como un componente en la alimentación de larvas de crustáceos y peces. *Artemia*, que puede eclosionar a partir de quistes latentes, se ha convertido en un recurso fundamental en la acuicultura, dando sustento a una gran variedad de especies. La demanda de quistes de *Artemia* en la industria de criadero juega un rol esencial en la producción de más de 900 000 millones de post larvas y alevines, contribuyendo así al sector acuícola que mueve miles de millones de dólares.

Este manual representa una actualización exhaustiva del Manual de *Artemia* de la FAO sobre la producción de alimentos vivos para la acuicultura, ya que algunos aspectos descritos en publicaciones anteriores ya no son aplicables al haber surgido nuevas técnicas y conocimiento. El manual empieza con un breve repaso de la morfología y las diferentes etapas del ciclo de vida de *Artemia* e introduce su rol ecológico y su distribución natural a nivel global. A esto le sigue información sobre la clasificación taxonómica de *Artemia*, la descripción de las características que son específicas a las diferentes variedades (cepas) de *Artemia* y la biología de sus quistes. El próximo capítulo ofrece información sobre los diferentes hábitats dónde se produce *Artemia*, brinda información específica sobre la producción de quistes en estanques y tanques, así como de su biomasa, e incluye una exploración de técnicas usadas en la recolección y procesamiento de *Artemia*. El capítulo final detalla las condiciones ideales y el equipo necesario para utilizar quistes de *Artemia* en criaderos y presenta métodos para evaluar su calidad. Este manual termina con la provisión de prácticas de trabajo con ilustraciones que pueden ser utilizadas como herramientas que ayudan al lector a entender mejor cómo realizar los procedimientos adecuados diariamente.

Esta publicación realza la importancia de optimizar el uso de *Artemia* tanto para la rentabilidad como para la calidad nutricional, que reflejan los nuevos avances en la biología de *Artemia* y en las prácticas de uso de *Artemia* a nivel mundial. Adicionalmente, su contenido es tanto para los recién llegados a esta actividad, así como los expertos, al proveer información valiosa sobre la biología, la producción y el uso de *Artemia*. También provee directrices y metodologías para su correcta utilización en la acuicultura. Por ende, este documento es un recurso muy valioso para quienquiera que se dedique a la cría de *Artemia*, desarrollado por un grupo de expertos líderes a nivel global en la biología y producción de *Artemia*.

Palabras clave: *Artemia*, quistes, criadero, producción, biomasa.

Contenido

Preparación de este documento iii
Resumen iv
Agradecimientos xii
Abreviaturas xiii
Autores xvi
Prólogo xvii

1. Biología y ecología de *Artemia* **1**

1.1. Morfología y ciclo de vida 1
1.2. Ecología y distribución natural 5
1.3. Taxonomía 7
1.4. Características específicas de las cepas 10
1.4.1. Tamaño y contenido energético de los quistes y larvas 10
1.4.2. Calidad de la eclosión de quistes 11
1.4.3. Tasa de crecimiento del nauplio 11
1.4.4. Tolerancia a la temperatura y salinidad 11
1.4.5. Rasgos de historia de vida y capacidad reproductiva 11
1.4.6. Valor nutritivo 12
1.5. Biología de los quistes 13
1.5.1. Morfología de los quistes 13
1.5.2. Fisiología del proceso de eclosión 14
1.5.3. Los efectos de las condiciones ambientales en el metabolismo del quiste 16
1.5.4. Diapausa 17
Referencias 19

2. Producción de *Artemia* en lagos y estanques salinos **23**

2.1. Descripción de los diferentes hábitats de *Artemia* 23
2.1.1. Lagos naturales 23
2.1.2. Operaciones permanentes de salinas solares 40
2.1.3. Operaciones estacionales de salinas solares 47
2.2. Producción en estanques 48
2.2.1. Selección de sitios 49
2.2.2. Modelos de producción de *Artemia* 50
2.2.3. Preparación y adaptación de los estanques 56
2.2.4. Manejo del alimento 63
2.2.5. Monitoreo y manejo del sistema de cultivo 75
2.3. Producción en tanques y uso de *Artemia* cultivada 85
2.3.1. Producción de biomasa de *Artemia* en tanques 85
2.3.2. Técnicas para la cosecha de *Artemia* 99

2.3.3. Aspectos microbiológicos de la producción de biomasa de *Artemia* en tanques 100
2.3.4. Cifras de producción y costos de la producción de biomasa de *Artemia* en tanques 101
2.4. Técnicas de cosecha y procesamiento 102
2.4.1. Manejo de la cosecha 102
2.4.2. Cosecha y procesamiento de los quistes 102
2.4.3. Cosecha y procesamiento de la biomasa 111
Referencias 116

3. Uso de quistes, nauplios y metanauplios 127

3.1. Condiciones óptimas y equipo para el uso correcto de productos de quistes en criaderos 127
3.1.1. Bioseguridad 127
3.1.2. Almacenamiento de los quistes 135
3.1.3. Desinfección de los quistes 136
3.1.4. Decapsulación de los quistes 137
3.1.5. Eclosión de *Artemia* 140
3.1.6. Separación y cosecha de nauplios de *Artemia* 143
3.1.7. Enriquecimiento de los nauplios 145
3.1.8. Almacenamiento en frío de los nauplios 149
3.2. Evaluación de la calidad de los productos de quistes de *Artemia* 151
3.2.1. Características biométricas 152
3.2.2. Calidad de eclosión 153
3.2.3. Calidad nutritiva de los metanauplios 157
3.2.4. Aspectos microbiológicos del proceso de eclosión 166
Referencias 171

Anexos

1. Tabla de conversión de salinidad 177
2. Estrategia de alimentación para el cultivo intensivo de *Artemia* 179
3. Desinfección de quistes de *Artemia* no encapsulados 180
4. Procedimiento para la decapsulación de los quistes de *Artemia* 181
5. Método titrimétrico para la determinación de cloro activo en soluciones de hipoclorito 183
6. Preparación del tanque y eclosión de quistes de *Artemia* 185
7. Cosecha de nauplio instar I de *Artemia* 187
8. Determinación del diámetro del quiste de *Artemia*, grosor del corion, largo y peso seco (ps) de cada nauplio instar I 188
9. Determinación del contenido de agua (porcentaje de H_2O) de Quistes de *Artemia* 190
10. Determinación del número de quistes, porcentaje y eficiencia de eclosión y tasa de eclosión de quistes de *Artemia* 191
11. Determinación de la carga bacteriana en el agua de eclosión de *Artemia* o en nauplios eclosionados 194
12. El consorcio intenacional sobre la acuicultura de *Artemia* 200

Figuras

1. Morfología y tamaño de los nauplios en instar I, instar II e instar III 2
2. Ciclo de vida típico de *Artemia franciscana* 5
3. Diagrama esquemático e imagen de microscopía de barrido de la ultraestructura de un quiste de *Artemia* 13
4. Desarrollo de un quiste de *Artemia* desde la incubación en agua marina hasta la liberación del nauplio 14
5. Metabolismo celular de los quistes de *Artemia franciscana* en función del nivel de hidratación 15
6. La relación entre la concentración del glicerol en los quistes, el nivel del glicerol en el medio y el porcentaje de quistes en la etapa de rotura (emergencia) versus el tiempo de incubación de quistes de *Artemia franciscana* en tres concentraciones de NaCl diferentes 16
7. Diagrama esquemático con la terminología específica usada con relación a la diapausa de los embriones de *Artemia* 18
8. Fluctuación de quistes de *Artemia* (en toneladas de producto comercial seco) de los lagos en China, la Federación de Rusia y las repúblicas asiáticas centrales, y del Gran Lago Salado, Estados Unidos de América 24
9. Densidades por litro de diferentes edades de *Artemia* y valores de clorofila-α en el 2018 26
10. Fluctuaciones anuales de la cosecha de quistes de *Artemia* (en peso seco final) en el Gran Lago Salado 29
11. Principales sitios de cosecha de quistes de *Artemia* en China 31
12. Quistes crudos de *Artemia* cosechados en los principales puntos de cosecha en China 31
13. Variación en la superficie del lago Aibi entre el 2010–2016 32
14. Evolución de la cosecha de quistes de *Artemia* en la Federación de Rusia 33
15. Lagos en la Federación de Rusia con la mayor importancia comercial para la explotación de *Artemia*; la producción está reportada en quistes en salmuera 35
16. Diseño general de las salinas solares 40
17. Cristalización fraccionada de sales 41
18. Diseño de una finca artesanal de sal (Vinh Tien, Viet Nam) 47
19. Diseño general de un sistema de producción de *Artemia* con estanques con funciones específicas 51
20. Ejemplo de un modelo integrado de cultivo de *Artemia*-camarón/peces-sal 52
21. Ejemplo de un modelo de monocultivo estancado de *Artemia*, asociado con la evaporación del área para incrementar la salinidad en los estanques de cultivo 53
22. Ejemplo de cultivo de flujo continuo de *Artemia* 54
23. Ejemplo de un modelo de cultivo integrado de Artemia-camarón/peces-sal 57
24. Sección transversal de un estanque de cultivo de *Artemia*, una zanja periférica y un dique con las dimensiones recomendadas 58
25. Fluctuación del volumen de biofloc producido en un periodo de cultivo de 3 semanas en estanques con diferentes salinidades 73
26. Fluctuaciones del volumen de biofloc (ml/L) producidos a lo largo de un periodo de cultivo de seis semanas en estanques de *Artemia* a diferentes salinidades 73
27. Rendimiento de quistes producidos a lo largo de un periodo de cultivo de seis semanas en estanques de *Artemia* de diferentes salinidades usando bioflocs o agua verde 74
28. Ejemplo de los grupos de edades de una población de *Artemia* luego de su inoculación en el estanque 82
29. Diagrama técnico de un tanque de cultivo de Artemia de 1 000 L 89
30. Diagrama técnico y dimensiones (en cm) de los sistemas de filtro usados en sistemas de flujo continuo de *Artemia* 91
31. Sistema de filtrado basado en malla de placas soldadas en V 92
32. Diagrama técnico de un sistema de flujo abierto de 1 000 L 92

33. Diagrama técnico de un sistema cerrado de flujo para el cultivo de *Artemia* 94
34. El mecanismo de acción de un sistema de filtración biológico 94
35. Factores que influyen en la selección de una dieta adecuada para el cultivo de *Artemia* 95
36. Características que hace que las proteínas unicelulares sean un alimento apropiado para el cultivo de *Artemia* 97
37. Estrategia de alimentación con la ayuda de un disco Secchi para evaluar la penetración de la luz en un tanque de biomasa de *Artemia* 99
38. Composición de la comunidad microbiana (a nivel de género) en el alimento para *Artemia* con base a semilla de palma 101
39. Diagrama del equipo para una planta de procesamiento de quistes 104
40. Diagrama esquemático de un secador con flujo de aire para los quistes de *Artemia* 109
41. Relación entre el contenido de humedad y gramos de agua por gramo de quistes secos 135
42. Diagrama esquemático del uso de *Artemia* como vector para la transferencia de componentes específicos a larvas cultivadas 147
43. Evolución del ácido docosahexaenoico (DHA) y del ácido eicosapentaenoico (EPA) 148
44. Disminución de energía (contenido calórico) y peso seco de diferentes formas de *Artemia* 149
45. Deferencias específicas de cepas en el tamaño de nauplios en instar I y peso seco entre el Gran Lago Salado y la bahía de San Francisco (SFB) *Artemia* 153
46. Contenido de aminoácidos libres (FAA, por sus siglas en ingles) y proteína durante la eclosión y desarrollo temprano de *Artemia franciscana* de Vinh Chau, Viet Nam 35 g/L 161
47. Ilustración del diagrama de flujo para investigar la composición y estructura de una comunidad bacteriana 169
48. Diagrama esquemático de la citometría de flujo 170

Láminas

1. Cosecha de *Artemia* de salares 1
2: Quiste en fase de ruptura 1
3. Embrión en fase de paraguas y un nauplio instar I 1
4. Nauplio Instar V 3
5. Cabeza y región torácica anterior del instar XII 3
6. Cabeza y región torácica de un macho joven 3
7. Cabeza de un macho adulto 3
8. Macho adulto 3
9. Hembra adulta 3
10. Detalle de los toracópodos anteriores en una *Artemia* adulta 4
11. Pre-cópula (posición de monta) del macho y hembra de *Artemia* 4
12. Región torácica posterior, abdomen y útero de una hembra fértil 4
13. Útero de una *Artemia* ovovivipara llena de nauplios 4
14. Útero de una *Artemia* ovípara llena de quistes 4
15. Mapa del Gran Lago Salado, mostrando la desembocadura del río, la calzada y las ubicaciones de las roturas de la calzada 25
16. Vista dorsal de *Trichocorixa verticalis* 27
17. Cosecha de quistes de *Artemia* en el lago Aibi en China 32
18. Cosecha de quistes de *Artemia* en Qixiang Co 32
19. Cosecha de quistes de *Artemia* Desde la costa o en bote; separación en salmuera con agua del lago y tamizado; almacenamiento de los quistes en frío; lavado y limpieza de los quistes en agua dulce; centrifugado del agua, secado y empaquetamiento 37

20. Salinas de Salin-de-Giraud, Francia, y salinas en Bonaire, San Eustaquio y Saba: estanques de baja salinidad en verde; y cristalizadoras en rojizo 41
21. Diques compactados manualmente 59
22. Depredadores y competidores alimenticios de *Artemia* 59
23. Drenaje (monk) ubicado en el ingreso de agua (la flecha indica la dirección del agua); una malla de peces/una bolsa de tela para atrapar a peces que entran 61
24. Sal sin refinar ("negra") puede ser usada para acelerar el incremento de la salinidad en estanques de *Artemia* 63
25. *Artemia* con el intestino lleno y desnutrida 64
26. Bolas fecales cortas y compactas 65
27. Mezclando la columna de agua y removiendo las partículas sedimentadas mediante el rastrillado del estanque de *Artemia* 66
28. Uso de un disco Secchi para medir turbidez 67
29. Especies de microalgas adecuadas para la producción de *Artemia* 68
30. Observación diaria de la población de *Artemia* 77
31. Fitobentos en el fondo del estanque y en la columna de agua 84
32. Enfermedad de la mancha negra en los toracópodos de *Artemia* 85
33. Juvenil de *Artemia* con enfermedad de la cola blanca 85
34. Iluminación para tanques de cultivo de *Artemia* 90
35. Cosecha de *Artemia* mediante el vaciado del tanque de cultivo sobre un filtro sumergido 100
36. Ejemplo de biomasa de *Artemia* congelada inadecuadamente y adecuadamente luego de descongelar 100
37. Transferencia de tecnología del cultivo de *Artemia* y la producción en tanques con productores de Malasia 102
38. Quistes flotando en la superficie del agua, empujados por el viento a la esquina del estanque y listas para la cosecha 103
39. Ejemplo de los equipos estándares para el procesamiento de quistes: Centrifugas; juego de filtros; tanques para separación por densidad en agua dulce 105
40. Procesamiento primario de los quistes *Artemia* 106
41. Incubación de quistes de *Artemia* en salmuera 107
42. Remoción del exceso de agua por centrifugado 108
43. Secadores industriales de quistes de *Artemia* 110
44. Juego de filtros para los quistes de *Artemia* 110
45. Observación microscópica para medir la calidad de eclosión 111
46. Cosecha de biomasa con una red de nylon 112
47. Uso de un sistema de recirculación y espumador (skimmer) para limpiar la biomasa 115
48. Almacenamiento de la biomasa en redes 115
49. Transporte de biomasa congelada de *Artemia* (Tailandia) 116
50. *Artemia* congelada (Tailandia) 116
51. Componentes del sistema de tratamiento de agua 132
52. Tanques de eclosión elevados (más fácil para drenar y cosechar) en un cuarto con temperatura controlada; luz provista por techo transparente y luz artificial 140
53. Tanque de eclosión con aireación suficiente 140
54. Diferentes tipos y tamaños de tanques de eclosión cilindro cónicos en varios criaderos alrededor del mundo, pasando de tanques pequeños cónicos de 100 L hasta 2 500 L 141
55. Aplicación de la tecnología SEP–Art®: Barras magnéticas sumergidas en el tanque concentrador/ enjuagador atraen las cáscaras de los quistes y los que no eclosionaron 144
56. Metanauplios enriquecidos de *Artemia*; en el intestino se pueden ver las pequeñas gotas de aceite ingerido en el producto de enriquecimiento 147

57. Recipiente para enfriar leche usada para el almacenamiento en frío de nauplios de *Artemia* 150
58. Larva de camarón y de pez alimentándose con larvas de *Artemia* 152
59. Placa TCBS 167

Tablas

1. Datos biométricos (promedio y desviación estándar) de los quistes de *Artemia* y nauplios instar I de varios orígenes 10
2. Peso seco individual y contenido energético del instar I de nauplio de *Artemia*, eclosionado en condiciones estándares (salinidad 35 g/L, 25 °C) de quistes de varias procedencias 10
3. Perfiles de proteína cruda, lípidos crudos y ácidos grasos de quistes decapsulados y nauplios recién eclosionados de cepas de *Artemia* de importancia comercial 12
4. Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas en la eclosión de quistes de *Artemia* de Kazajstán 18
5. Efecto dosis-tiempo del tratamiento de incubación con H_2O_2 sobre el porcentaje de quistes de *Artemia* de Kazajstán 19
6. Resumen de los modelos de producción de *Artemia* 50
7. Ejemplo de la superficie de estanques de cultivo y de fertilización de *Artemia* de acuerdo con el modelo de producción (Viet Nam) 57
8. Color del agua en relación con los diferentes tipos de partículas en suspensión 67
9. Variación del tamaño (ancho-largo) de partículas de biofloc (promedio ± desviación estándar, µm) producidas en un período de cultivo de 3 semanas en estanques con diferentes salinidades 72
10. Composición aproximada de los bioflocs (porcentaje de peso seco) producidos durante un periodo de cultivo de tres semanas en estanques con diferentes salinidades 73
11. Composición aproximada (porcentaje de peso seco) de ingredientes usados para el alimento comercial de *Artemia* de la Universidad Can Tho 74
12. Ingredientes (porcentaje de peso seco) de varios tipos de alimento comercial experimental para *Artemia* de la Universidad Can Tho University 75
13. Composición aproximada (porcentaje de peso seco) de varios tipos experimentales de alimento formulado para *Artemia* 75
14. Evolución de la composición de la población de *Artemia* en estanques de cultivo 82
15. Resumen de los factores bióticos y abióticos para la producción de biomasa de *Artemia* 87
16. Densidad máxima de *Artemia* bajo diferentes condiciones de cultivo 87
17. Ejemplo del manejo de recambio de alimento y agua en un sistema de cultivo super intensivo de *Artemia* de 300 L 93
18. Biomasa total cosechada en un periodo de tres meses usando diferentes frecuencias de cosecha 112
19. Parámetros de agua recomendados para ser usados en un criadero 130
20. Frecuencia recomendada de monitoreo de los parámetros de agua 130
21. Componentes del sistema de tratamiento de agua 132
22. Ejemplo de niveles de HUFA obtenidos de metanauplios de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado enriquecidos con diferentes emulsiones comerciales por periodos de enriquecimiento entre 12 h y 24 h vs. Nauplios en instar I no enriquecidos 148
23. Ejemplo de las características de una muestra de quistes de cepa pequeña; quistes de cepa intermedia; y quistes de cepa grande, con sus correspondientes características biométricas 156
24. Composición de nutrientes, vitaminas y minerales de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado recién eclosionada 157
25. Distribución de la proteína cruda en fracciones solubles y no solubles en agua en *Artemia* vs alimentos vivos alternos e ingredientes de los alimentos formulados 158

26. Digestibilidad de alimento vivo *in vitro* e ingredientes usados en alimentos de inicio para larvas de peces en acuicultura 159
27. Contenido de proteínas en nauplios en instar I para diferentes poblaciones eclosionadas en 35 g/L 159
28. Composición del conjunto de aminoácidos libres (pmol/individuo) en quistes decapsulados para diversas poblaciones de *Artemia* 160
29. Composición del conjunto de aminoácidos libres (pmol/individual) en nauplios en instar I para varias poblaciones de *Artemia* 161
30. Ejemplos de variabilidad intra-cepa del contenido de 20:5ω3 (EPA) en diferentes poblaciones de *Artemia* 162
31. Clases de lípidos polares y neutros en quistes, nauplios de estadio I y metanauplios de estadio II de *Artemia franciscana* 163
32. Contenido de glicerol y glicógeno en los quistes y nauplios recién eclosionados de *Artemia* 164
33. Actividad enzimática determinada en poblaciones partenogénicas de *Artemia* griega (salinas de Milos, Polychnitos y Messolongi) en diferentes estadios de desarrollo 165
34. Métodos analíticos para diversos nutrientes 166
A1. Tabla de conversión para diferentes unidades de salinidad para lecturas de agua de mar concentrada 177

Recuadros

1. El genoma de *Artemia* revelado 8
2. Cómo los cambios ecológicos en los lagos salados interiores pueden crear oportunidades para la explotación de *Artemia* 37
3. Pasado, presente y futuro de *Artemia* en el lago Urmia, en la República Islámica del Irán 39
4. Manejo biológico de la salina Sama Salt Company, Al Aryam, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos 44
5. Historia de *Artemia* y prácticas regulares en Brasil 44
6. Cultivo de *Artemia* utilizando recursos hídricos no convencionales 46
7. Alimento formulado para *Artemia* a partir de semilla cruda de palma, PKC-Nutri+® 98
8. ¿La biomasa de *Artemia* se convertirá pronto en una alternativa rentable a la harina de pescado? 113
9. *Artemia* como alimento humano 114
10. El conjunto de herramientas de *Artemia* gnotobiótica 138
11. Uso de *Artemia* en estado de "paraguas" como alimento vivo 144

Hojas Excel[1]

1. Desinfección de quistes de *Artemia* no encapsulados (ver Anexo 3) 180
2. Decapsulación de quistes de *Artemia* (ver Anexo 4) 181
3. Peso seco de una *Artemia* (ver Anexo 8) 189
4.1. Determinación del contenido de agua de quistes de *Artemia* (% H_2O) (ver Anexo 9) 190
4.2. Determinación del contenido de agua en *Artemia* (g H_2O/g DW) (ver Anexo 9) 190
5. Conteo de quistes (ver Anexo 10) 191
6. Porcentaje de eclosión de los quistes y eficiencia de eclosión (ver Anexo 10) 192
7. Tasa de eclosión de los quistes y sincronía de la eclosión (ver Anexo 10) 193

[1] Se puede acceder a las hojas de cálculo de Excel desde la ficha de vista previa en línea en https://doi.org/10.4060/cd0313en

Agradecimientos

Este manual es un producto del conocimiento de la cooperación entre FAO y sus socios, en particular, el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia Artemia en la Universidad de Gante, el Centro de Referencia Regional de Asia para *Artemia* en la Universidad de Ciencia y Tecnología Tianjin en China, y la Facultad de Pesquerías y Acuicultura en la Universidad Can Tho en Viet Nam.

Quisiéramos expresar nuestra gratitud y aprecio a los colegas de FAO quiénes iniciaron el proyecto y guiaron el proceso – Matthias Halwart, Liu Zhongwei (División de Cooperación Sur-Sur y Triangular) y Rodrigo Roubach.

También queremos agradecer de manera especial a Patrick Sorgeloos, quién fue mentor en todo el proceso. Gracias también a los tres principales contribuidores, Gilbert Van Stappen, Sui Liying y Nguyen Van Hoa, así como el equipo de la Universidad de Gante, Christ Mahieu, Geert Van de Wiele, Annelies Declercq y Caroline Van Geeteruyen, por su apoyo.

De igual forma, deseamos expresar nuestro agradecimiento a las contribuciones importantes de los siguientes expertos, quiénes proveyeron ayuda en sus áreas de especialidad Naser Agh, Peter Bossier, Thomas Bosteels, Elena Grigoryevna Boyko, Phil Brown, Marcos Rogerio Camara, Peter De Schryver, Krishnnappriyaa Gopi, Philippe Léger, Alexander Ivanovich Litvinenko, Liudmila Illnichna Litvinenko, Brad Marden, Asmidar Mohamad, Eddy Naessens, Geert Rombaut, Thirukanthan Chandra Segaran, Patrick Sorgeloos, Min Pau Tan, Hector Teruel, Khor Waiho, y Yik Sung Yeong.

Por último, quisiéramos agradecer a los colegas de la División de Pesquerías y Acuicultura de FAO por su apoyo profesional, en particular Xinhua Yuan, Graham Mair, Alessandro Lovatelli, Lionel Dabbadie, Nianjun Shen, Xinting Shao y Kang Li por sus comentarios. Por otra parte, Ariadna Cheltuiala, Nathalie Perisse y Teri Neer brindaron apoyo administrativo. La traducción del manual al español fue coordinada por Alessandro Lovatelli, Oficial de Acuicultura de la FAO, y la traducción técnica de este documento fue llevada a cabo por M. Verónica Toral-Granda, con la revisión técnica de Gonzalo Gajardo. Asimismo, Alessandro Lovatelli apoyó la corrección de pruebas de la edición, mientras que el diseño gráfico y la maquetación estuvieron a cargo de José Luis Castilla Civit.

Abreviaturas

AAC	Asociación de *Artemia* de China
ALA	ácido alfa linoleico
ARA	ácido araquidonico
ARARC	Centro Regional de Referencia de *Artemia* (China)
ATP	adenosin trifosfato
BFT	tecnología biofloc
BY	Bolshoe Yarovoe
CFU	unidad formadora de colonias
C:N	carbono:nitrógeno
DAG	diacylglicerol
DHA	ácido docosahexaenoico
DNA	ácido deoxyribonucleico
DO	oxígeno disuelto
DW	peso seco
EDTA	ácido etilendiaminotetraacético
EFA	ácido graso esencial
EPA	ácido eicosapentaenoico
FAA	aminoácidos libres
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FBD	secador con flujo de aire
FFA	ácidos grados libres
FID	detector de ionizador de llama/fuego
GART	sistema gnotobiotico para la cría de *Artemia*
GC	cromatografía de gas
GSL	Gran Lago Salado (EE. UU.)
GSLBSC	Great Salt Lake Brine Shrimp Cooperative, Inc. (EE. UU.)
H%	porcentaje de eclosión
HEff	eficiencia de eclosión
HPLC	cromatografía líquida de alto rendimiento
HPTLC	cromatografía delgada de alto rendimiento
HUFA	ácidos grasos altamente insaturados
IAAC	Consorcio Internacional de Acuicultura de Artemia
INVE	INVE Aquaculture (Bélgica)
ISO	Organización Internacional de Normalización
KBG	Kara Bogaz Gol (Turkmenistán)
LA	ácido linoleico
LAARC	Laboratorio de Acuicultura y Centro de Referencia de Artemia (Bélgica)
LED	luz que emite diodos
LPC	lysophosphatidylcholina
LPE	lysophosphatidiletanolamina
MAC	Macau (Brasil)
MEG	Megalon Embolon

NACA	Red de Centros de Acuicultura de Asia-Pacífico (Network of Aquaculture Centres in Asia–Pacific)
NATO	Organización del Tratado del Atlántico Norte (North Atlantic Treaty Organization)
N:P	relación nitrógeno y fósforo
ω3	omega-3
ω6	omega-6
O_2	oxígeno
OTU	unidad taxonómica operativa (operational taxonomic unit)
PC	fosfatidilcolino
PCR	reacción en cadena de la polimerasa (polymerase chain reaction)
PE	fosfatidilethanolamina
PG	fosfatidilglycerol
PH	peso húmedo
PI	fosfatidilinositol
PS	Fosfatidilserina
POE	Procedimientos operativos estándar
PVC	polivinil chloride
rRNA	ácido ribosoma ribonucleico
RAS	sistema de recirculación acuícola
SCP	proteínas unicelulares
SEC	Colección Entomologica Spencer (Spencer Entomological Collection (Canadá)
SFB	Bahía de San Francisco (San Francisco Bay) (EE. UU.)
SOP	procedimientos estándares de operación
SWA	Swakopmund (Namibia)
TAA	aminoácidos hidrolizados totales
TAG	triacilglicerol
TCBS	tiosulfato-citrato-sales biliares-sacarosa
TL	lípidos totales
UDWR	División de Recursos de Vida Silvestre de Utah (EE. UU.)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USD	dólar estadounidense
UV	ultravioleta
VC	Vinh Chau (Viet Nam)
XARI	Instituto de Investigación en Acuicultura de Xinjiang (Xinjiang Aquaculture Research Institute) (China)

Elementos químicos y fórmulas

Br	bromo
$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$	fosfato monocálcico monohidrato
$Ca(OCl)_2$	hipoclorito de calcio
$Ca(OH)_2$	hidróxido de calcio
$CaCO_3$	carbonato de calcio
$CaHPO_4.2H_2O$	fosfato dicálcico dihidratado o fosfato ácido de calcio dihidratado
CaO	óxido de calcio
$CaSO_4$	sulfato de calcio
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	yeso, sulfato de calcio dihidratado o sulfato cálcico dihidratado

CO_2	dióxido de carbono
H_2O_2	peróxido de hidrógeno
H_2S	ácido sulfhídrico (o sulfuro de hidrógeno)
KCl	cloruro de potasio (o cloruro potásico)
$KMnO_4$	permanganato de potasio (o permanganato potásico)
$MgCl_2$	cloruro de magnesio (o cloruro magnésico)
$MgSO_4$	sulfato de magnesio (o sulfato magnésico)
N	nitrógeno
$Na_2S_2O_3$	tiosulfato de amoníaco
$(NH_4)_2SO_4$	sulfato de amonio
NaCl	cloruro de sodio
$NaHCO_3$	bicarbonato de sodio
NaOCl	hipoclorito de sodio
NaOH	hidróxido de sodio
NH_3	amoníaco
NO_2^-	nitrito
NO_3^-	nitrato
P_2O_5	fosfato

Unidades de medida

min	minuto
h	hora
mg	miligramo
g	gramo
kg	kilogramo
t	tonelada
ppm	partes por millón
pmol	picomol
mol	moles
µm	micrómetro
cm	centímetro
m	metro
m^2	metro cuadrado
m^3	metro cúbico
km	kilómetro
°Bé	grados Baumé
°C	grados Celsius
ha	hectárea
L	litro
ml	mililitro
µl	microlitro
mV	millivoltio
>	más/mayor que
<	menos/menor que
≥	mayor o igual que
≤	menor o igual que

Autores

Agh, Naser
Artemia and Aquaculture Research Institute, Universidad de Urmia, Irán (República Islámica del)

Bossier, Peter
Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Centre, Universidad de Gante, Bélgica

Bosteels, Thomas
Great Salt Lake Brine Shrimp Cooperative, Inc., Estados Unidos de América

Boyko, Elena Grigoryevna
Universidad Estatal Agraria de Trans-Urals del Norte, Tyumen, Federación de Rusia

Brown, Phil
Great Salt Lake Brine Shrimp Cooperative, Inc., Estados Unidos de América

Camara, Marcos Rogerio
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

De Schryver, Peter
INVE Aquaculture, Dendermonde, Bélgica

Gopi, Krishnnappriyaa
Institute of Climate Adaptation and Marine Biotechnology, Universiti Malaysia Terengganu, Malasia

Hoa, Van Nguyen
College of Aquaculture and Fisheries, Can Tho University, Viet Nam

Khor, Waiho
Institute of Tropical Aquaculture and Fisheries, Universiti Malaysia Terengganu, Malasia

Léger, Philippe
INVE Aquaculture, Dendermonde, Bélgica

Litvinenko, Alexander Ivanovich
State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Federación de Rusia

Litvinenko, Liudmila Illnichna
State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Federación de Rusia

Marden, Brad
Great Salt Lake Brine Shrimp Cooperative, Inc., Estados Unidos de América

Mohamad, Asmidar
Institute of Climate Adaptation and Marine Biotechnology, Universiti Malaysia Terengganu, Malasia

Naessens, Eddy
INVE Aquaculture, Dendermonde, Bélgica

Rombaut, Geert
INVE Aquaculture, Dendermonde, Bélgica

Segaran, Thirukanthan Chandra
Institute of Climate Adaptation and Marine Biotechnology, Universiti Malaysia Terengganu, Malasia

Sorgeloos, Patrick
Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Centre, Universidad de Gante, Bélgica

Sui, Liying
Asian Regional Artemia Reference Centre, Tianjin University of Science and Technology, China

Tan, Min Pau
Institute of Climate Adaptation and Marine Biotechnology, Universiti Malaysia Terengganu, Malasia

Teruel, Hector
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

Van Stappen, Gilbert
Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Centre, Universidad de Gante, Bélgica

Yeong, Yik Sung
Institute of Climate Adaptation and Marine Biotechnology, Universiti Malaysia Terengganu, Malasia

Prólogo

Las larvas (nauplios) de *Artemia* puede ser fácilmente eclosionadas a partir de "quistes secos" (por ejemplo, embriones inactivos en etapa de gástrula tardía) han sido usados por varias décadas como un sustituto apropiado de zooplancton vivo natural para la alimentación de una gran variedad de animales marinos bajo cultivo, como por ejemplo los crustáceos de agua dulce y las larvas de peces. El uso comercial de *Artemia* empezó en la década de 1960, inicialmente en Japón para alimentar la dorada Japonesa (*Pagrus major*) y el camarón kuruma (*Marsupenaeus japonicus*), y poco tiempo después en varias partes del mundo con otras especies. Con la expansión de la producción de criadero de muchas más especies para acuicultura, la demanda por los quistes de *Artemia* ha seguido incrementando; el consumo anual se estima actualmente en por lo menos 3 500 t, o equivalente a aproximadamente USD 150 millones, para la producción de más de 900 000 millones de postlarvas de crustáceos y alevines avaluados en más de USD 2 000 millones y responsable de la producción de más de 10 millones de toneladas de especies de acuicultura de alto valor. Adicionalmente, más de 100 000 toneladas de biomasa de *Artemia*, valorada en más de USD 50 millones, es utilizada como alimento de animales en acuicultura.

Si bien en la década de 1980 y 1990 se publicaron varios artículos científicos, manuales y guías que describían la biología de *Artemia* y su uso óptimo en los criaderos de acuicultura, mucha de la información sobre las buenas prácticas que se incluían en estos documentos, posiblemente ya no eran relevantes para la larvicultura en la actualidad. Por otro lado, otros aspectos que son muy válidos no reciben la atención del caso o incluso son totalmente ignorados. Muchas de las técnicas y protocolos que son aplicados ampliamente no siguen las recomendaciones de FAO en el *Manual para la producción y uso de alimento vivo en la acuicultura*, publicado en 1996, en el cual había una parte muy importante dedicada a *Artemia*. Adicionalmente, el conocimiento científico sobre la biología de *Artemia* ha aumentado, se han desarrollado nuevas técnicas y productos, los cuales pueden resultar en un uso de quistes en criaderos.

Esto fue para un ejemplo presentado en el "*webinar*" "Estado del uso de los quistes de *Artemia* en criaderos de peces/crustáceos alrededor del mundo", organizado por la Red de Centros de Acuicultura de Asia y el Pacífico (Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific – NACA) el 2 septiembre del 2021. Las presentaciones sobre el uso de *Artemia*, realizadas por ponentes de diversos países de todo el mundo en los que la acuicultura es una actividad importante, y la encuesta organizada por sus 359 asistentes, mostraron claramente que existe un amplio margen para mejorar en el uso de los quistes de *Artemia* en criaderos de acuicultura. La mejora de las prácticas no debe solo economizar en su uso, pero sobre todo para ofrecer a los peces y crustáceos en las fases larvarias un alimento vivo altamente nutritivo y bioseguro. Una de las principales conclusiones de este webinar fue la firme recomendación de una actualización de las "buenas prácticas" para ponerlas a disposición en forma de manuales actualizados y otros tipos de material de documentación/demostración. Se reportaron conclusiones similares en un taller internacional in línea sobre la producción de *Artemia* en estanques/tanques, organizado por el WorldFish (Bangladesh) el 15 junio del 2021, dónde la producción de *Artemia* en tanque y estanque, en diferentes lugares de Asia y África fue revisada por los participantes y se abordó la necesidad de disponer de directrices renovadas y completas.

La idea de producir un manual actualizado de *Artemia* fue empujado por la iniciativa para establecer un Consorcio Internacional de Acuicultura de Artemia (IAAC, por sus siglas en inglés) el cual inicialmente surgió de la colaboración informal entre los

diferentes institutos, cada uno con experiencia especifica en *Artemia*. Todos se dieron cuenta de que la necesidad de renovar la información sobre el uso adecuado de *Artemia* encaja en una perspectiva más amplia para garantizar el suministro más sostenible de *Artemia*. Esto incluye temas como la bioconservación y los efectos del cambio climático, estudios más detallados de aspectos de la biología de *Artemia* y la integración de su producción en otros tipos de producción acuícola.

Esta publicación de la FAO sobre *Artemia* es un manual para todos quienes usan *Artemia* o tienen interés en este organismo, sea como fuente de alimento vivo en los criaderos, o como un organismo modelo en investigación, o para cualquier otro fin. Este manual está dirigido para quienes quieren actualizar su conocimiento en la biología de *Artemia*, su producción o su uso; pero también para quienes quieren aprender por primera vez. El manual sigue la estructura general del manual de 1996, por cuanto que la correcta comprensión de las buenas prácticas en la producción y uso de *Artemia* requiere conocimientos básicos previos sobre la biología y ecología de este organismo. Por lo demás, el contenido, la estructura y la diagramación han sido actualizados a fondo para reflejar el estado actual del conocimiento, las ideas y consensos, pero también para satisfacer las demandas de una nueva audiencia, que espera que esta información sea facilitada no solo a través de un manual narrativo, pero de una manera más pluriforme. La diferencia más importante en comparación con la edición de 1996 es que este manual es la creación de un grupo más grande de expertos con diversa formación y conocimiento de todo el mundo, quienes trabajan en investigación, educación o en la industria. Otras personas tuvieron un rol vial en la coordinación, simplificación y configuración de este trabajo. Los editores quieren agradecer especialmente a Christ Mahieu y Geert Van de Wiele del Laboratorio de Acuicultura de *Artemia* y al Centro de Referencia de Artemia de la Universidad de Gante, en Bélgica por su valiosa ayuda. Esta contribución, grande o pequeña, de todos quienes contribuyeron y el intercambio de ideas, fruto de la interacción de todos los expertos, le dan un valor único a este manual, que esperamos sirva como un manual de referencia para los años venideros.

Los editores,

Gilbert Van Stappen
Patrick Sorgeloos
Geert Rombaut

1. Biología y ecología de *Artemia*

por *Liying Sui*

1.1. MORFOLOGIA Y CICLO DE VIDA

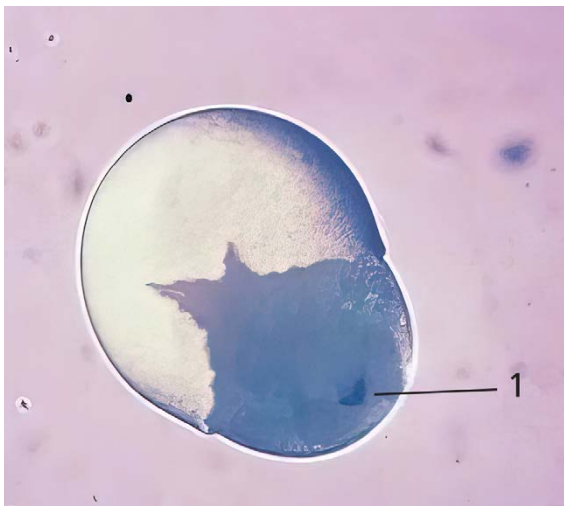
En su ambiente natural, en ciertas épocas del año, *Artemia* produce quistes que flotan en la superficie del agua (Lámina 1), los cuales son llevados a la costa por el viento y las olas. Estos quistes son metabólicamente inactivos y no se desarrollan más mientras se los mantenga deshidratados (secos o en salmuera saturada). Una vez que se los mete en agua con baja salinidad (p. ej., agua de mar en un criadero) los quistes se hidratan y se vuelven esféricos, y dentro del caparazón del quiste el embrión de *Artemia* reanuda su metabolismo interrumpido. Luego de 10 a 20 h (dependiendo de la variedad del quiste y la temperatura), la membrana cuticular del quiste estalla (= fase de ruptura) y aparece el embrión rodeado de la membrana embrionaria (= membrana de eclosión) (Lámina 2). Mientras el embrión cuelga bajo la cáscara vacía (= fase de paraguas), se completa el desarrollo del nauplio y, en poco tiempo, se rompe la membrana de eclosión (= eclosión) y nace un nauplio que nada libremente (Lámina 3).

LÁMINA 1
Cosecha de *Artemia* de salares
(a, c y d); quistes de *Artemia* (b)



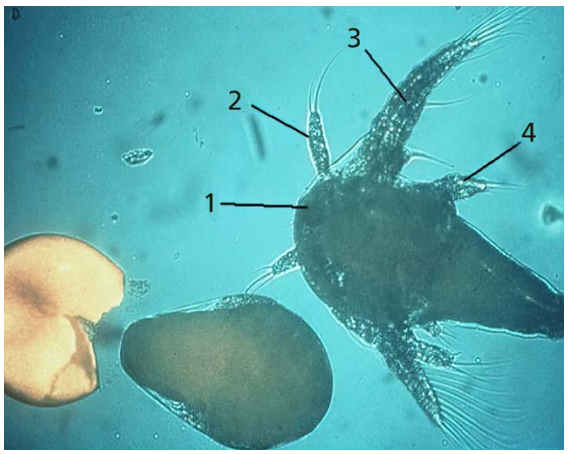
© LAARC

LÁMINA 2
Quiste en fase de ruptura
(1) ojo del nauplio



© LAARC

LÁMINA 3
Embrión en fase de paraguas (izquierda) y un nauplio instar I (derecha)
1) ojo del nauplio; (2) anténula; (3) antena; (4) mandíbula



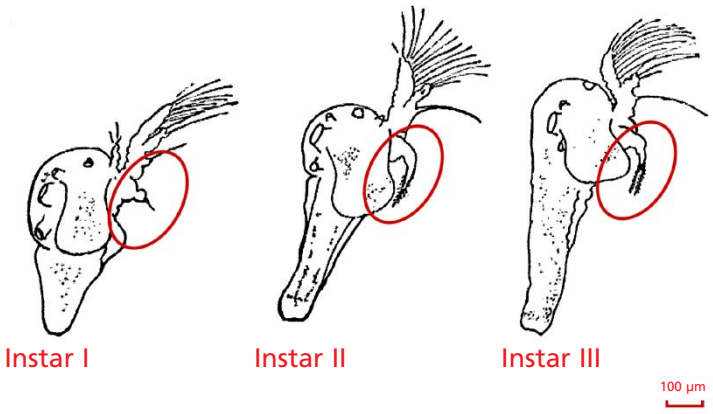
© LAARC

El primer estado larval (instar I; 400 µm a 500 µm de largo) es de color marrón anaranjado, tiene un ojo rojo de nauplio en la región de la cabeza y tres pares de apéndices: las primeras antenas (función sensorial), las segundas antenas (función locomotora y de alimentación por filtración) y las mandíbulas (función de captación de alimento). La parte ventral está cubierta por el *labrum* para la absorción del alimento mediante la transferencia de partículas de las setas filtradoras hacia la boca. La larva en estadio I no ingiere alimento al no tener su sistema digestivo en funcionamiento; este se alimenta de sus reservas vitelinas.

Luego de 6 a 8 h (dependiendo de la variedad y la temperatura), el animal se transforma al segundo estado larval (instar II). Pequeñas partículas de alimento (p. ej., células de algas, bacterias/*arqueas*, protozoos y materia fina particulada) son filtradas por el segundo par de antenas y son ingeridas por medio de la boca al tracto digestivo funcional. *Artemia* en las primeras fases de desarrollo prefiere partículas entre 4-8 µm y 6,8-27,5 µm, con un tamaño óptimo de aproximadamente 16,0 µm. En general, se cree que las células bacterianas individuales son absorbidas con poca eficacia por *Artemia* debido a su pequeño tamaño. La tasa de eliminación de nauplios de *Artemia* alimentadas con partículas bacterianas de 0,5 µm ha demostrado ser 69 veces menor que cuando se las alimenta con partículas de microalgas (tamaño de 12 µm) (Seixas *et al.*, 2009). Por otro lado, los adultos de *Artemia* son capaces de ingerir todas las partículas <50 µm pero prefiere alimentarse con partículas <30 µm (Gelabert-Fernández y Solis, 1994; Makridis y Vadstein, 1999; Gelabert y Pacheco, 2011).

La morfología y tamaño del instar I, instar II e instar III del nauplio de *Artemia* pueden ser distinguidos bajo el microscopio. Junto con el tamaño del nauplio y su morfología en general, la estructura de las setas de la gnathobase mandibular, en particular, permite distinguir los siguientes estadios instar sin ambigüedad (Figura 1).

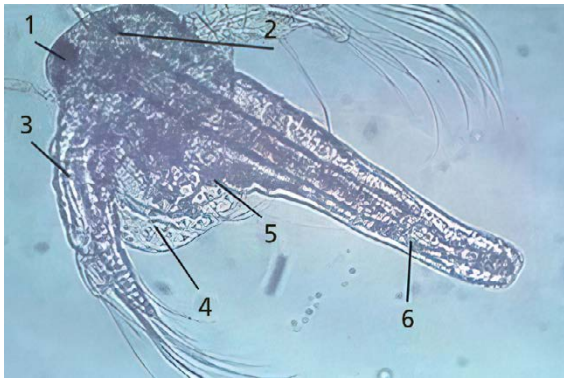
FIGURA 1
Morfología y tamaño de los nauplios en instar I, instar II e instar III. El círculo rojo indica la gnathobase y sus setas



Fuente: Hentschel, E. 1968. Die postembryonalen Entwicklungsstadien von *Artemia salina* LEACH bei verscheidenen Temperaturen (Anostraca, Crustaceae). *Zool. Anz.*, 180: 372–384. (Modificado de Hentschel, E. 1968).

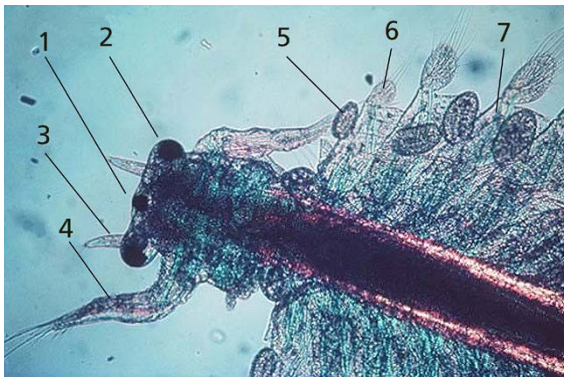
La larva crece y mientras muda, *Artemia* pasa por 17 estadios de desarrollo en todo su ciclo vital (Criel y MacRae, 2002). En los siguientes estadios naupliares aparece un par de apéndices lobulados en la región del tronco, los cuales se diferencian en toracópodos (Lámina 4). En ambos lados del nauplio se desarrollan ojos complejos laterales (Lámina 5 y Lámina 6). A partir del décimo estadio se producen importantes cambios morfológicos y funcionales, por ejemplo, las antenas han perdido su función locomotora y experimentan una diferenciación sexual. En los machos (Lámina 7 y Lámina 8), las antenas se convierten en pinzas, mientras que en las hembras degeneran en apéndices sensoriales (Lámina 9). Los toracópodos se diferencian ahora en tres partes funcionales (Lámina 10), a saber, los telopoditos y endopoditos (locomotores y filtradores) y los exopoditos membranosos (branquias).

LÁMINA 4
Nauplio Instar V
(1) ojo del nauplio; (2) ojo complejo lateral; (3) antena; (4) labrum; (5) toracópodos; (6) tracto digestivo



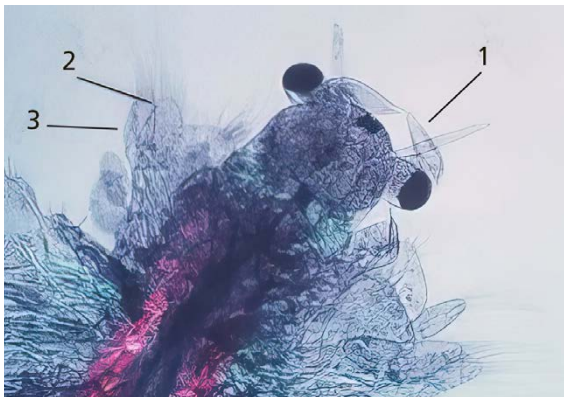
© LAARC

LÁMINA 5
Cabeza y región torácica anterior del instar XII
1) ojo del nauplio; (2) ojo complejo lateral; (3) anténula; (4) antena; (5) exopodito; (6) telopodito; (7) endopodito



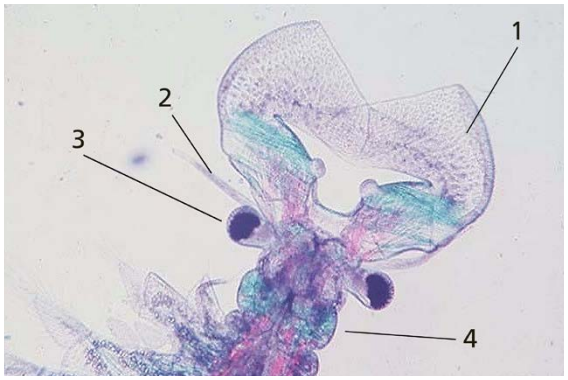
© LAARC

LÁMINA 6
Cabeza y región torácica de un macho joven
(1) antena; (2) telopodito; (3) exopodito



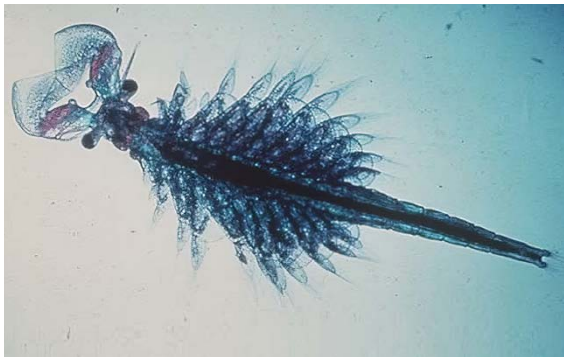
© LAARC

LÁMINA 7
Cabeza de un macho adulto
(1) antena; (2) anténula; (3) ojo complejo lateral; (4) mandíbula



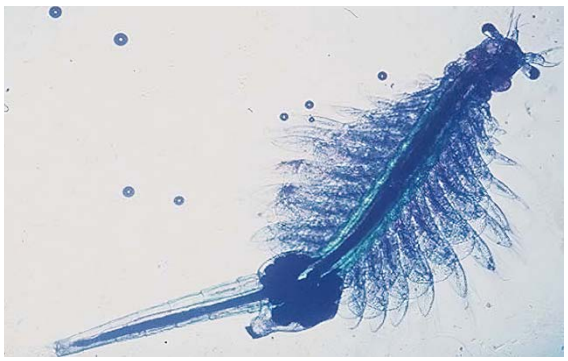
© LAARC

LÁMINA 8
Macho adulto



© LAARC

LÁMINA 9
Hembra adulta



© LAARC

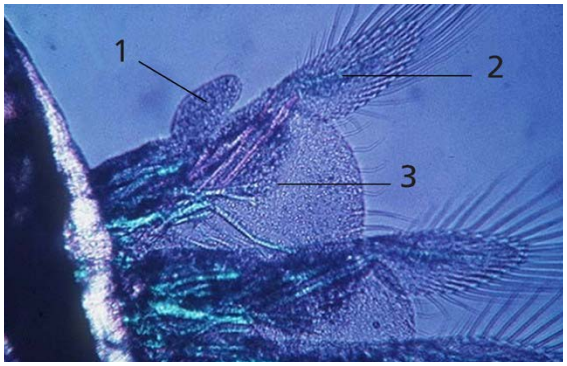
Las *Artemias* adultas (±1 cm de largo) tienen un cuerpo alargado con dos ojos pedunculados, un tubo digestivo linear, anténulas sensoriales y 11 pares de toracópodos funcionales (Lámina 8 y Lámina 9). El macho (Lámina 8) tiene un par de penes en la parte posterior del tronco (Lámina 11). La hembra *Artemia* puede ser fácilmente reconocida por el ovisaco o útero situado justo detrás del 11° par de toracópodos (Lámina 9). Durante el comportamiento de preapareamiento, los animales pueden verse en "posición de monta" (Lámina 11). Mientras que en la copula muestran un abdomen flexionado con un pene dentro del útero. Los huevos se desarrollan en dos ovarios de

forma tubular que están en el abdomen (Lámina 12). Una vez maduros, los huevos se vuelven esféricos y migran a través de dos oviductos en el útero no apareado.

Los huevos fertilizados generalmente se desarrollan en nauplios de nado libre (= reproducción ovovivípara) (Lámina 13), los cuales son liberados por la hembra. En condiciones extremas (alta salinidad, bajos niveles de oxígeno, escasez de alimento, etc.), los embriones solo se desarrollan hasta la etapa de gástrula. Es en este momento en que son rodeadas por una cáscara gruesa (segregada por las glándulas marrones situadas en el útero), y entran en un estado metabólico pausado o diapausa) y a continuación son liberados por la hembra (= reproducción ovípara) (Lámina 14). En principio, tanto la oviparidad como la ovoviviparidad se encuentran en todas las cepas de *Artemia*, y las hembras pueden cambiar entre dos ciclos de reproducción de un modo de reproducción al otro.

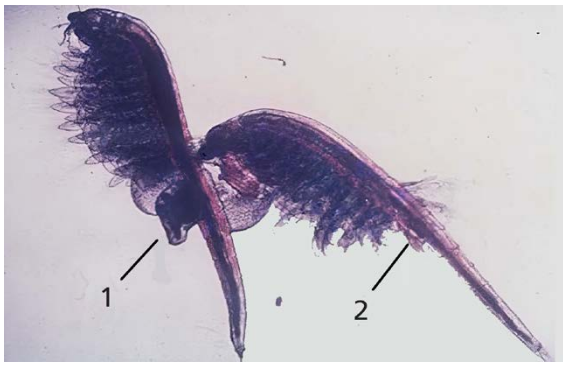
Los quistes generalmente flotan en el agua de alta salinidad y son arrastrados a la orilla donde se acumulan y se deshidratan. Como resultado de este proceso de deshidratación, el mecanismo de diapausa generalmente se inactiva; los quistes están ahora en un estado de inactividad y pueden reanudar su desarrollo embrionario una vez que se hidraten en condiciones óptimas para la eclosión.

LÁMINA 10
Detalle de los toracópodos anteriores en una *Artemia* adulta
(1) exopodite; (2) telopodite; (3) endopodite



© LAARC

LÁMINA 11
Pre-cópula (posición de monta) del macho y hembra de *Artemia*
(1) útero hembra; (2) pene macho



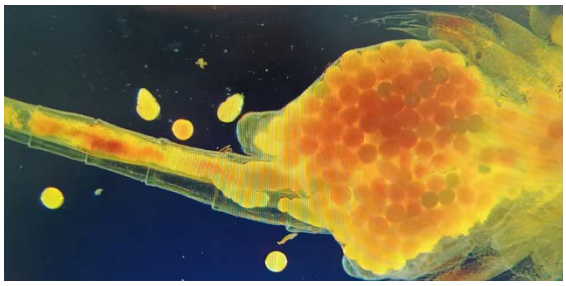
© LAARC

LÁMINA 12
Región torácica posterior, abdomen y útero de una hembra fértil
(1) Huevos maduros en un ovario y oviducto



© LAARC

LÁMINA 13
Útero de una *Artemia* ovovivipara llena de nauplios (primera larva a ser liberada)



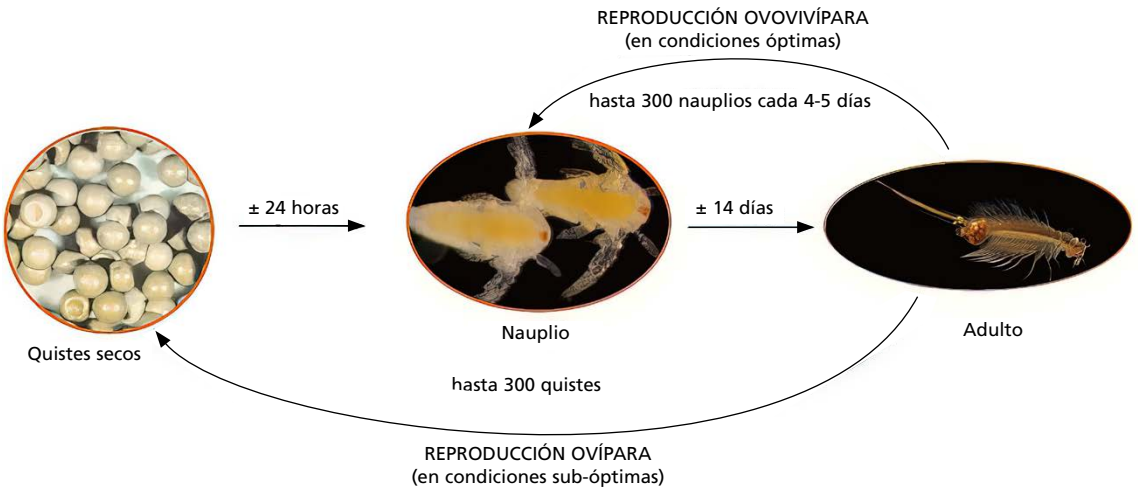
© ARARC

PLATE 14
Útero de una Artemia ovípara llena de quistes
(1) glándulas marrones (en color más oscuro)



© LAARC

FIGURA 2
Ciclo de vida típico de *Artemia franciscana*



Fuente: Elaboración propia de los autores.

© ARARC

Bajo condiciones normales, *Artemia* puede vivir por muchos meses, crecer desde nauplio a adulto en menos de 10 días a un mes, y se reproducen a una tasa de cerca de 300 nauplios o quistes cada 4-5 días (dependiendo de la cepa, temperatura y disponibilidad de alimento) (Figura 2).

1.2. ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN NATURAL

Hay poblaciones de *Artemia* en varios cientos de lagos naturales y Salinas artificiales distribuidas en las zonas tropicales, subtropicales y temperadas, así como también a lo largo de las costas y en la parte del interior. La lista de sitios hasta la fecha (Persoone y Sorgeloos, 1980; Vanhaecke, Tackaert y Sorgeloos, 1987; Triantaphyllidis *et al.*, 1994; Van Stappen, 2002) es provisional hasta que se hagan estudios más exhaustivos que puedan llevar al descubrimiento de muchos más biotopos de *Artemia* en diferentes partes del mundo. Por otro lado, algunas de las poblaciones de *Artemia* registradas previamente, han desaparecido en algunos lugares donde la salinidad es muy alta o baja para habilitar la sobrevivencia a largo plazo de una población.

La distribución de *Artemia* no es contigua: no todos los biotopos salinos han sido colonizados por *Artemia*. Si bien algunos tipos de camarón de salmuera se desarrollan muy bien en agua de mar natural, no pueden migrar de un biotopo salino a otro a través de los mares, por cuanto dependen de sus adaptaciones fisiológicas a la alta salinidad para evitar la depredación y la competencia con otros filtradores. Sus adaptaciones fisiológicas a la alta salinidad les proporcionan una defensa ecológica muy eficaz contra la depredación, ya que *Artemia* (o camarón de salmuera) posee:

- un sistema muy eficiente de osmorregulación;
- la capacidad de sintetizar pigmentos respiratorios muy eficientes para adecuarse a bajos niveles de oxígeno (O_2) en alta salinidad; y
- la habilidad de producir quistes latentes cuando las condiciones ambientales ponen en peligro la supervivencia de la población.

Las diferentes poblaciones naturales de *Artemia* a nivel de subespecies son generalmente referidas como "cepas", lo cual es diferente de la terminología estándar de la FAO que usa la palabra "cepa" para un tipo cultivado genéticamente diferenciado, mientras que en la naturaleza esta palabra puede referirse como "población" o "stock" (FAO, 2019). En interés de la congruencia entre la literatura convencional de *Artemia*, este manual usará "cepas" en el sentido de una población natural que ocurre en un sitio específico. En adición a estas poblaciones naturales, *Artemia franciscana*, originaria

del Gran Lago Salado y en la Bahía de San Francisco (ambos lugares están en los Estados Unidos de América) han sido introducidos a varios países en el Sur Global para la producción local de quistes con el fin de compensar por el aumento del costo y la limitada disponibilidad de los sitios originales. Por ejemplo, en Brasil, China, Kenia, Tailandia y Viet Nam, ha habido inoculaciones con estas poblaciones originales. Posteriormente, ha habido más inoculaciones desde estos países hacia Bangladesh, Camboya, India, Myanmar, Sri Lanka y los Emiratos Árabes Unidos. La introducción a nuevos ambientes ha derivado en poblaciones adaptadas localmente, las cuales también son llamadas "cepas" en la literatura de *Artemia*, así como otras poblaciones naturales. El "tipo cultivado" (en relación con la terminología de la FAO) es la cepa Vinh Chau *A. franciscana* en Viet Nam, la cual fue originaria de la Bahía de San Francisco en 1986, pero ahora tiene una alta tolerancia térmica (>40 °C). La investigación de las bases genéticas subyacentes de la termotolerancia y otros rasgos indica que hay diferentes genes que están implicados (De Vos *et al.*, 2021), si bien se necesita más investigación en esta cepa Vinh Chau – y en otras poblaciones inoculadas.

Las cepas de *Artemia* se han adaptado a condiciones muy fluctuantes en cuanto a temperatura (6-40 °C), salinidad y composición iónica del biotopo. Las aguas talasohalinas son aguas marinas concentradas con cloruro sódico (NaCl) como la sal principal. Estas constituyen la mayoría, si no es la totalidad, de los hábitats costeros de *Artemia*, donde se forman salmueras por la evaporación del agua de mar en las salinas. Otros hábitas talasohalinos se encuentran tierra adentro, como en el Gran Lago Salado de Utah (Estados Unidos de América). Los biotopos atalasohalinos se encuentran tierra adentro y tienen una composición iónica muy diferente al agua del mar natural: Hay aguas sulfatadas (p. ej., el lago Chaplin, Saskatchewan, Canadá; el lago Aibi, Xinjiang, China; el lago Ebeyty, región de Omsk, Federación de Rusia); aguas carbonatadas (p. ej., el lago Mono, California, Estados Unidos de América); y aguas ricas en potasio (p. ej., varios lagos en Nebraska, Estados Unidos de América).

Artemia es un filtrador no selectivo de materia orgánica particulada (bioflocs), de microalga, protozoos pequeños y arqueas. Los biotopos de *Artemia* generalmente muestran una estructura trófica muy simple y una baja diversidad de especies; la ausencia de predadores y otros competidores por alimento permiten que *Artemia* se desarrolle en monocultivos. Por cuanto una alta salinidad es el aspecto común que determina la presencia de *Artemia*, el impacto de otros parámetros (temperatura, producción de alimento primario, etc.) puede, como mucho, afectar a la abundancia de la población y, finalmente provocar ausencia temporal de la especie. Como *Artemia* es incapaz de una dispersión activa, el viento y las aves acuáticas (especialmente los flamencos) son los vectores naturales más importantes; sus quistes flotantes se adhieren a las patas de las aves y si son ingeridos, se mantienen intactos en el tracto digestivo por lo menos por unos pocos días (Proctor, Malone y Devlaming, 1967). Consecuentemente, la ausencia de aves migratorias es posiblemente la causa de por qué ciertas áreas que son adecuadas para *Artemia* (p. ej., las salinas a lo largo de la costa noreste de Brasil; ver Recuadro 5) no las presentan originalmente.

Además de la dispersión natural de los quistes, la inoculación deliberada de *Artemia* en salinas solares artificiales ha sido una práctica habitual en el pasado. Desde la década de 1970, el ser humano ha sido responsable de varias introducciones de *Artemia* en África, Asia, Australia y Sudamérica, ya sea para mejorar la producción de sal o con fines de acuicultura. También se encuentran poblaciones temporales de *Artemia* en zonas tropicales con una estación húmeda y seca diferenciada (clima monzónico) a través de la inoculación en operaciones estacionales de sal (p. ej., Bangladesh, Camboya, India, Myanmar, Filipinas, Sri Lanka, Tailandia y Viet Nam en el sur y sureste de Asia) (Van Stappen *et al*., 2019).

En estos sistemas de estanques, *Artemia* se encuentra principalmente en los niveles intermedios de salinidad (ver Sección 2.2). Como *Artemia* no tiene mecanismos de defensa en contra de los predadores, la salinidad más baja a la cual se encuentra *Artemia*

es también el límite de tolerancia alto de posibles predadores (mínimo 70 g/L y máximo 140 g/L dependiendo de la ocurrencia de invertebrados acuáticos y peces). Como resultado de este estrés fisiológico extremo, especialmente cuando se combina con escasez de alimento, *Artemia* muere a salinidades cercanas a la saturación de NaCl, es decir de 250 g/L y mayores. Si bien se puede encontrar *Artemia* en salinidades mayores que 250 g/L, la necesidad de una mayor actividad osmoreguladora, que requiere mayores aportes de energía, influye negativamente en el crecimiento y la reproducción, provocando finalmente la inanición y muerte. Los quistes se producen en estanques de salinidad intermedia y alta (entre 80 g/L y 250 g/L).

La introducción y el manejo de las poblaciones de *Artemia* en salinas, donde no existen poblaciones naturales, mejorará la rentabilidad, incluso en situaciones en las que la biomasa de *Artemia* y el rendimiento de quistes es comparativamente bajo. La presencia de *Artemia* no es solo esencial para el control de explosiones de algas. Los metabolitos de *Artemia* o animales en descomposición son también un sustrato adecuado para el desarrollo de bacterias y arqueas halofílicas tales como la Halobacterium, en los estanques de cristalización. Las altas concentraciones de estos organismos halofílicos – que hacen que el agua se vuelva de color rojo concho de vino – aumenta la absorción del calor, por ende, acelerando la evaporación, pero al mismo tiempo reduce la concentración de la materia orgánica disuelta. Esto a su vez reduce los niveles de viscosidad, lo que favorece a la formación de cristales de sal más grandes, mejorando así la calidad de la sal (Davis, 2006; ver Sección 2.1.2).

1.3. TAXONOMÍA

La clasificación taxonómica de *Artemia* es:

Filo: Arthropoda	
Clase:	Crustacea
Subclase:	Branchiopoda
Orden:	Anostraca
Familia:	Artemiidae
Género:	*Artemia*

El género *Artemia* es un complejo de especies, definidos por el criterio de aislamiento reproductivo. Los primeros taxónomos asignaron nombres de especies a poblaciones con diferente morfología, colectados a diferentes temperaturas y salinidades. A través del tiempo, se abandonaron estos nombres y todas las variedades fueron llamadas *Artemia salina* (Linnaeus, 1758). Algunos autores continúan con esta práctica errónea. Diferentes especies han sido asignadas a poblaciones reproductivamente aisladas o a agrupaciones de poblaciones, y las siguientes especies zigogenéticas (también llamadas bisexuales) (que tienen individuos de sexos separados) se reconocen por consenso (con su área de distribución general) (Pilla y Beardmore, 1994; Beardmore, Pilla y Thomas, 1994; Browne y Bowen, 1991):

- *A. salina* (Linnaeus, 1758): Lymington, Inglaterra (ahora extinta), área del Mediterráneo (en el pasado, el nombre A. tunisiana (Bowen y Sterling, 1978) también ha sido usado para esta especie);
- *A. urmiana* (Gunther, 1990): República Islámica del Irán (lago Urmia), salinas de Crimea;
- *A. sinica* (Cai, 1989): China central y del este;
- *A. tibetiana* (Abatzopoulos *et al*., 1998): lago Lagkor Co, Tíbet, China;
- *A. persimilis* (Piccinelli y Prosdocimi, 1968): al sur de Sudamérica;
- *A. franciscana*: América del Norte, Central y del Sur (la población del lago Mono, California, Estados Unidos de América, es generalmente reconocida como una subespecie de *A. franciscana*: *A. franciscana monica* (Verrill, 1869).

– *A. sorgeloosi* (Asem *et al.*, 2023): lago Haiyan, Tibet, China; y
– *Artemia amati* (Asem *et al.*, 2023): Kazajstán.

Adicionalmente, las numerosas poblaciones partenogenéticas de *Artemia* que están en Europa, África, Asia y Australia son generalmente agrupadas bajo la especie *A. parthenogenetica* (Barigozzi, 1974; Bowen y Sterling, 1978).

No obstante, todavía hay un debate en curso sobre la taxonomía de *Artemia*. La relativamente alta plasticidad morfológica de sus poblaciones sometidas a diferentes condiciones ambientales ha dificultado la identificación de las entidades taxonómicas englobadas en el género *Artemia*. Adicionalmente, el desajuste entre las tasas de evolución molecular y morfológica complica la caracterización de los linajes evolutivos. Diferentes grupos de investigación, usando diferentes métodos, han tratado de desenredar los problemas taxonómicos derivados de la compleja biología de *Artemia*. En la literatura especializada se puede encontrar más detalles y controversias en el estado taxonómico de *Artemia* (Naganawa y Mura, 2017; Asem *et al.*, 2020; Sainz-Escudero *et al.*, 2021).

La coexistencia de dos especies en el mismo hábitat salino es posible: se ha reportado la co-ocurrencia de poblaciones partenogenéticas y cigogenéticas en salinas mediterráneas (Amat *et al.*, 1995) y en el lago Urmia, en la República Islámica del Irán (Agh *et al.*, 2007). Adicionalmente, las empresas de acuicultura han sembrado salinas con quistes importados en muchas ocasiones, en las cuales la población introducida puede coexistir con poblaciones locales; por ejemplo, *A. franciscana* ha sido introducida a lugares en África, Asia y Australia por los últimos 40 años. Debido a que constantemente se están caracterizando nuevas poblaciones, se insta a los científicos a utilizar la denominación "*Artemia* sp." a menos que dispongan de suficientes pruebas moleculares, morfológicas o de otro tipo para identificar el nombre de la especie.

Recientemente se publicó el genoma de *Artemia franciscana* y esto facilitará mucho nuevas investigaciones sobre las diferencias entre las varias especies y cepas de *Artemia* (ver Recuadro 1).

RECUARDO 1

El genoma de *Artemia* revelado

por *Peter Bossier*

El genoma de *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) fue recientemente secuenciado (De Vos *et al.*, 2021), lo que significa que ahora se tiene un conocimiento bastante bueno de la secuencia de ADN de *Artemia*. Para armar el genoma se usó tecnología de secuenciación de alto rendimiento (secuenciación ADN Illumina y PacBio). Para revelar esta información genómica, fue necesario criar en el laboratorio una línea altamente endogámica de *A. franciscana* a lo largo de muchas generaciones, y este material biológico se usó para el análisis de secuenciación.

En la actualidad, el genoma de *Artemia* contiene 26 057 contigs, o fragmentos contiguos de un tamaño considerable. El fragmento más largo tiene una longitud de 855 000 pares de bases, el valor N50 (es decir, el valor en el que el 50 % de la secuencia del genoma obtenida está contenida en fragmentos mayores que el tamaño indicado) fue de 112 000 pares de bases, y este valor está por debajo de la mediana N50 de otros genomas de crustáceos conocidos. Esto indica que aún hay margen de mejora para seguir "reconstruyendo" la secuencia del genoma.

Además, el contenido estructural del genoma de *Artemia* fue comparado con el genoma de otras especies de crustáceos. El genoma de *A. franciscana* mostró un 2 % de espacio exónico, lo que significa que solo el 2 % de la secuencia de ADN está realmente implicado en la fabricación de proteínas, similares a lo observado en el camarón patiblanco (*Litopenaeus vannamei*) (3 %), mientras que los intrones (segmentos de ADN que no

RECUADRO 1 (CONTINUACIÓN)

codifican proteínas) representaban el 29 % del genoma, superando el valor observado en otros genomas de artrópodos. En total, se identificaron 21 828 genes en *Artemia*. A modo de comparación, el genoma humano tiene unos 30 000 genes. La anotación (asignación de una función a cada uno de los genes individuales, por ejemplo, vinculándolo a una determinada proteína o enzima) no tuvo mucho éxito, en el sentido de que muchos genes siguen sin tener una función conocida, lo que también demuestra que aún hay margen de mejora en el ejercicio de anotación.

Como un estudio de caso del descubrimiento de genes, el artículo de De Vos *et al*. (2021) también describe como el nauplio de *Artemia* reacciona cuando se lo expone a estrés de salinidad. Bajo el estrés de salinidad, el incremento instantáneo en la salinidad de 30 g/L a 200 g/L fue asociado con la expresión diferencial de 674 genes, lo que significa que de una u otra forma, estos genes (y las proteínas o enzimas para las que codifican), se relacionan con el proceso de como *Artemia* hace frente al estrés por salinidad. Nuevamente, solo el 42 % de estos genes tienen una función conocida, indicando lo mucho que queda por aprender sobre como exactamente *Artemia* reacciona cuando se la expone a grandes fluctuaciones de salinidad.

Se espera que la disponibilidad de información del genoma de *Artemia* contribuirá grandemente a los esfuerzos futuros para seguir descifrando como *Artemia* puede ajustarse a las condiciones ambientales. También se espera que este conocimiento contribuya a un mejor conocimiento de los muchos procesos del ciclo de vida de este único organismo. Esto puede, por ejemplo, ayudar en la cría de tipos específicos de *Artemia* basados en los rasgos de su aplicación comercial (p. ej., quistes pequeños, metabolismo favorable de los ácidos grasos). Estos tipos de *Artemia* cultivados pueden entonces complementar los recursos naturales existentes. Hasta ahora, sin embargo, hay pocos estudios científicos sobre la heredabilidad y la selección de rasgos ventajosos en *Artemia*, todos confinados a las condiciones controladas del laboratorio. Pero para salvaguardar la provisión sostenible de *Artemia*, y en línea con los Objetivos de Desarrollo Estratégico de las Naciones Unidas, el desarrollo de nuevas aplicaciones de *Artemia* a través de la selección de cepas y la cría selectiva se considera uno de los temas críticos que deben abordarse, como destacó el recién creado Consorcio Internacional de Acuicultura de *Artemia* con motivo de la Conferencia Mundial sobre Acuicultura, en Shanghái, China, en septiembre de 2021.

La distribución mundial de *Artemia* en una variedad de hábitats aislados, cada uno caracterizado por sus propias condiciones ecológicas, ha dado lugar además a la existencia de numerosas poblaciones geográficas, las llamadas "cepas", o poblaciones genéticamente diferentes dentro de la misma especie; en particular, *Artemia* partenogenética con sus poblaciones di-, tri-, tetra- y pentaploides presenta una amplia variación genotípica. Entre estas cepas, se ha observado un alto grado de variación genética y una diversidad única de características cuantitativas. Algunas de estas características (p. ej., el valor nutricional de los quistes y de los nauplios recién eclosionados) son fenotípicas y cambian de un año a otro o de una estación a otra. Otras, sin embargo (p. ej., el diámetro de los quistes, la velocidad de crecimiento o la resistencia a las altas temperaturas) son específicas de cada cepa y permanecen relativamente constantes. Estas características se han convertido en genotípicas como resultado de las adaptaciones a largo plazo de la cepa a las condiciones locales (ver la Sección 1.4). Según la terminología estándar de la FAO utilizada para distinguir entre especies acuáticas "silvestres" y "cultivadas", algunas de estas poblaciones pueden considerarse "silvestres" (como la población asilvestrada de *A. franciscana* de Gran Lago Salado, Estados Unidos de América), mientras que otras son el resultado de procesos de selección humana o natural, como la población de *Artemia franciscana* de Vinh Chau, Viet Nam, y deben considerarse especies "cultivadas".

1.4. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS CEPAS

Si bien el valor nutritivo de *Artemia* como alimento vivo puede ser mejorado a través del proceso de mejoramiento (ver Sección 1.4.6), otras cualidades favorables para el uso en la acuicultura pueden ser logradas si se elige la cepa apropiada. Últimamente, los quistes de *Artemia* están disponibles comercialmente provenientes de lugares como China, Federación de Rusia, Estados Unidos de América, Viet Nam y algunos países del centro de Asia. El conocimiento de estas características (tanto genotípicas como fenotípicas) de un quiste comercial en particular puede incrementar notablemente la efectividad de su uso en un criadero de peces o camarones.

1.4.1. Tamaño y contenido energético de los quistes y larvas

La efectividad nutricional de un organismo alimenticio para larvas está determinada principalmente por su ingestibilidad, y en consecuencia por su tamaño y forma (ver Sección 3.2.1). Muchas cepas pueden ser diferenciadas por las características biométricas de sus quistes y nauplios. A pesar de la poca variación entre los lotes de una misma cepa, posiblemente causada por factores ambientales o de procesamiento, generalmente el diámetro de los quistes de diferentes lotes de la misma cepa se mantiene bastante constante. Otras características biométricas, tales como el volumen del quiste, su peso seco, el largo del nauplio en instar I, el peso individual del nauplio y el volumen y contenido energético del nauplio, muestran una elevada correlación con el diámetro del quiste (véanse las Tabla 1 y Tabla 2). Por consiguiente, los parámetros biométricos, en particular el diámetro del quiste, son buenas herramientas para caracterizar las cepas de *Artemia* y ayudan a definir el origen de muestras de quistes desconocidas o incluso mezcladas.

TABLA 1
Datos biométricos (promedio y desviación estándar) de los quistes de *Artemia* y nauplios instar I de varios orígenes

País de origen	Especies	Diámetro quiste (µm)	Diametro del quiste decapsulado (µm)	Grosor del corion (µm)	Largo del instar I (µm)
Gran Lago Salado, Estados Unidos de América	*A. franciscana*	245,1 ± 13,8	219,6 ± 10,6	12,8	486,7 ± 33,2
Bahía de San Francisco, Estados Unidos de América		237,5 ± 24,7	225,9 ± 21,8	5,8	435,0 ± 16,8
Vinh Chau, Viet Nam		224,9 ± 11,9	207,3 ± 11,9	8,8	399,7 ± 15,4
Bolshoe Medvezhe, Federación Rusia	*A. parthenogenetica*	257,5 ± 12,9	242,3 ± 13,5	7,6	469,4 ± 18,3
Bolshoe Yarovoe, Federación Rusia		262,7 ± 18,2	244,8 ± 18,4	8,9	473,8 ± 24,1
Ebeyty, Federación Rusia		259,5 ± 10,9	242,8 ± 12,6	8,3	467,8 ± 38,9
Kuchukskoe, Federación Rusia		261,4 ± 15,3	248,6 ± 13,4	6,4	446,9 ± 34,5
Kulundinskoe, Federación Rusia		251,3 ± 9,8	240,0 ± 10,7	5,7	490,8 ± 35,9
Lake Aibi, China		292,6 ± 16,2	270,7 ± 12,0	10,8	490,4 ± 19,6
Tanggu salt ponds, Bohai Bay, China		273,7 ± 14,6	256,6 ± 12,0	8,5	486,2 ± 28,2
Lagkor Co, China	*A. tibetiana*	322,2 ± 16,1	308,7 ± 19,0	6,8	529,2 ± 35,6
Qixiang Co, China		293,9 ± 11,8	278,7 ± 13,1	7,6	509,0 ± 34,7

Fuente: Preparación de los autores China y LAARC.

TABLA 2
Peso seco individual y contenido energético del instar I de nauplio de *Artemia*, eclosionado en condiciones estándares (salinidad 35 g/L, 25 °C) de quistes de varias procedencias

Lugar	Pesco seco (µg)	Contenido calórico (10^{-3} julios)
Gran Lago Salado, Estados Unidos de América	1.63	366
Bahía de San Francisco, Estados Unidos de América	2.42	541
Salares de Tanggu, Bahía de Bohai, China	3.09	681

Fuente: Preparación de los autores (ARARC, China y LAARC).

Se puede hacer algunas correlaciones generales entre las especies y su tamaño: *Artemia* partenogénica generalmente produce quistes grandes; entre las especies bisexuales, *A. tibetiana* tiene el quiste más grande y *A. franciscana* y *A. persimilis* tienen quistes pequeños o de tamaño intermedio con un corion delgado.

1.4.2. Calidad de la eclosión de quistes

Estudios comparativos del éxito de eclosión de los quistes de diferente procedencia muestran una variación considerable en los parámetros de eclosión, como los definidos en la Sección 3.2.2. Sin embargo, ninguno de esos parámetros es específico para cepas, pues están influenciados por una gran variedad de factores, tales como la cosecha, el procesamiento, las prácticas de almacenamiento o de eclosión, así como también las condiciones de producción que afectan a las generaciones de progenitores (Lavens y Sorgeloos, 1987). Para el uso óptimo de *Artemia* en acuicultura, se debe conocer las características de eclosión de cualquier lote de quistes. Hay más información al respecto en la Sección 3.2.2.

1.4.3. Tasa de crecimiento del nauplio

Las pruebas estándar de cultivo de *Artemia* en diferentes regiones geográficas muestran diferencias importantes en la tasa de crecimiento aún dentro de la misma especie, pero no en lotes de la misma cepa. Si bien el crecimiento de *Artemia* en el campo es determinado por muchos factores, el escoger una cepa con una tasa potencial de crecimiento alta tendrá un impacto positivo en el rendimiento máximo de la producción.

1.4.4. Tolerancia a la temperatura y salinidad

Tanto la temperatura como la salinidad afectan significativamente la supervivencia y crecimiento, pero el efecto de la temperatura es más pronunciado. Un amplio rango de temperaturas y salinidades permite una sobrevivencia >90 %. Las cepas de biotopos talasohalinos comparten un área común de preferencia de temperatura en el rango de 20-25 °C, en la que la mortalidad es <10 %. La interacción entre temperatura y salinidad es limitada; se ha registrado diferencias sustanciales de tolerancia entre cepas a bajas salinidades (en torno a 5 g/L) y altas temperaturas (30-34 °C). A temperaturas elevadas, la supervivencia de la cepa de *A. franciscana* del Gran Lago Salado es significativamente superior a la de otras cepas "silvestres", mientras que la cepa de *A. franciscana* "de piscifactoría" de Vinh Chau (ver la Sección 1.2) puede tolerar temperaturas aún más elevadas (hasta 40 °C) que la cepa del Gran Lago Salado en Estados Unidos de América.

1.4.5. Rasgos de historia de vida y capacidad reproductiva

La historia de vida y las características reproductivas de las cepas de *Artemia* son factores importantes cuando se piensa en la introducción de *Artemia* a un nuevo hábitat, especialmente cuando se espera competencia por una cepa local. Estas habilidades competitivas están relacionadas a factores tales como la duración del periodo pre y post reproductivo, vida útil total, número de crías por camada, número de camadas por hembra y tiempo entre cada camada.

Por cuanto *A. franciscana* tiene muchas crías por camada, un gran número de camadas por hembra y una madurez sexual temprana, esta especie es preferida en comparación con otras especies bisexuales y partenogénicas de *Artemia* (Browne y Halanych, 1989; Browne *et al*., 1984, 1993). La edad a la primera reproducción es un factor determinante en la tasa de crecimiento poblacional y la tasa de colonización de nuevos ambientes son recursos limitados. Consecuentemente, si las preferencias ambientales y los factores nutricionales no interfieren, *A. franciscana* suele superar a las cepas partenogénicas, predominando éstas sobre las demás especies bisexuales.

Como consecuencia, los recursos silvestres de *Artemia* spp. necesitan ser protegidos y monitoreados. Esta diversidad genética representa la fuente de nuevos rasgos, facilita la adaptación a cambios ambientales, tales como cambio climático o impactos humanos,

y forma la base para la cría selectiva para la acuicultura del futuro. Los experimentos de inoculación en ambientes naturales siempre representan un riesgo potencial para la biodiversidad natural local; por ende, siempre se debe hacer una evaluación de riesgo antes de la introducción – incluyendo el análisis de cepas candidatas y de las poblaciones locales; así como un estudio de las condiciones ambientales imperantes. Así, las ventajas socioeconómicas que pueden derivarse de la introducción de cepas alóctonas más productivas deben ser cuidadosamente analizadas en comparación con la posible pérdida de la biodiversidad natural.

1.4.6. Valor nutritivo

A finales de la década de 1970, cuando muchas de los criaderos de peces y camarones empezaron a ser comerciales, el cambiar de una fuente de *Artemia* a otra provocaba problemas inesperados. Se obtuvieron diferencias muy significativas en los distintos lotes de *Artemia* del mismo origen geográfico. El patrón de los lípidos totales y la composición de los ácidos grasos, así como la metabolización de los ácidos grasos por parte de *Artemia*, parecían variar ampliamente de cepa a cepa, e incluso de un lote a otro; esto debido a las fluctuaciones de la composición bioquímica de los productores primarios (especialmente algas unicelulares) disponibles para la población adulta (Léger *et al*., 1987; ver Tabla 3). En general, los productos de los quistes procedentes

TABLA 3
Perfiles de proteína cruda, lípidos crudos y ácidos grasos de quistes decapsulados y nauplios recién eclosionados de cepas de *Artemia* de importancia comercial

	Poblaciones							
	GSL	**VC**	**BY**	**EBL**	**AIBI**	**TSP**	**LC**	**QC**
	Quistes decapsulados *Artemia*							
Proteína cruda (% PS)	52,7	46,1	53.0	53,3	50,0	48,0	51,9	56,4
Lípidos crudos (% PS)	11,7	18,7	12,1	18,6	8,1	10,7	22,7	21,3
	Ácidos grasos (mg/g DW)							
C16:0	16,4	18,0	12,2	12,5	20,6	16,1	26,7	18,58
C16:1ω7	3,5	15,8	3,3	7,0	27,9	15,0	70,9	16,45
C18:0	7,2	4,4	7,2	6,3	6,1	5,2	9,6	5,69
C18:1ω9	26,4	19,2	19,1	23,7	33,2	24,8	50,5	44,63
C18:1ω7	8,4	13,3	7,0	13,7	14,1	10,1	25,6	20,65
C18:2ω6	9,7	4,1	5,5	10,3	6,0	9,8	7,0	17,10
C18:3ω6	1,3	1,3	0,5	0,5	0,3	1,4	8,3	17,16
C18:3ω3	42,6	3,6	26,8	35,9	10,0	10,4	4,3	9,84
C20:5ω3	1,5	17,0	1,2	3,2	14,5	14,5	53,2	30,53
C22:6ω3	–	–	–	–	–	0,7	0,8	1,25
	Nauplios recién eclosionados de *Artemia*							
Proteína cruda (% DW)	54,4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	54,5	56,2	55,6
Lípidos crudos (% DW)	9,3	N.D	N.D.	N.D.	N.D.	14,3	25,6	24,1
	Ácidos grasos (mg/g DW)							
C16:0	20,1	18,3	N.D.	N.D.	14,8	15,1	23,7	16,6
C16:1ω7	4,6	16,9	"	"	13,9	15,5	65,1	20,7
C18:0	8,2	5,1	"	"	6,2	5,0	9,1	6,4
C18:1ω9	30,6	20,7	"	"	28,7	21,3	51,0	50,9
C18:1ω7	9,9	15,6	"	"	15,2	11,9	25,9	12,0
C18:2ω6	9,7	5,1	"	"	8,1	8,4	6,1	13,6
C18:3ω6	1,2	1,3	"	"	0,7	8,2	7,0	16,2
C18:3ω3	40,2	4,3	"	"	27,5	2,0	3,6	7,3
C20:5ω3	2,0	19,6	"	"	14,7	16,1	51,6	30,9
C22:6ω3	1,0	-	"	"	-	-	0,6	0,7

(–) indica por debajo del límite de detección.

Nota: AIBI = lago Aibi, China; BY = Bolshoe Yarovoe, Federación de Rusia; PS = peso seco; EBL = Ebeyty, Federación de Rusia; GSL = Gran Lago Salado, Estados Unidos de América; LC = Lagkor Co, China; N.D. = no datos; QC = Qixiang Co, China; TSP = salares de Tanggu, Bahía de Bohai, China; VC = Vinh Chau, Viet Nam.

Fuente: Elaboración propia de los autores (ARARC, China y LAARC).

de recursos continentales resultaron ser más constantes en su composición, aunque a menudo a niveles bajos subóptimos. Así pues, se han desarrollado técnicas apropiadas para mejorar el perfil lipídico de las cepas deficientes de *Artemia*, aprovechando el comportamiento indiscriminado de alimentación por filtración de *Artemia* (ver Sección 3.1.7).

Otros compuestos también parecen ser variables: componentes nutritivos tales como la cantidad de aminoácidos libres, pigmentos (cantaxantina), vitamina C, minerales y oligoelementos, así como la contaminación con sustancias químicas, como pesticidas y metales pesados. En la mayoría de los casos, estas variaciones no son específicas de la cepa, sino que sólo corresponden a diferentes condiciones de producción. A pesar de esto, sus efectos en el éxito de la larvicultura no suelen considerarse significativos.

1.5. BIOLOGÍA DE LOS QUISTES

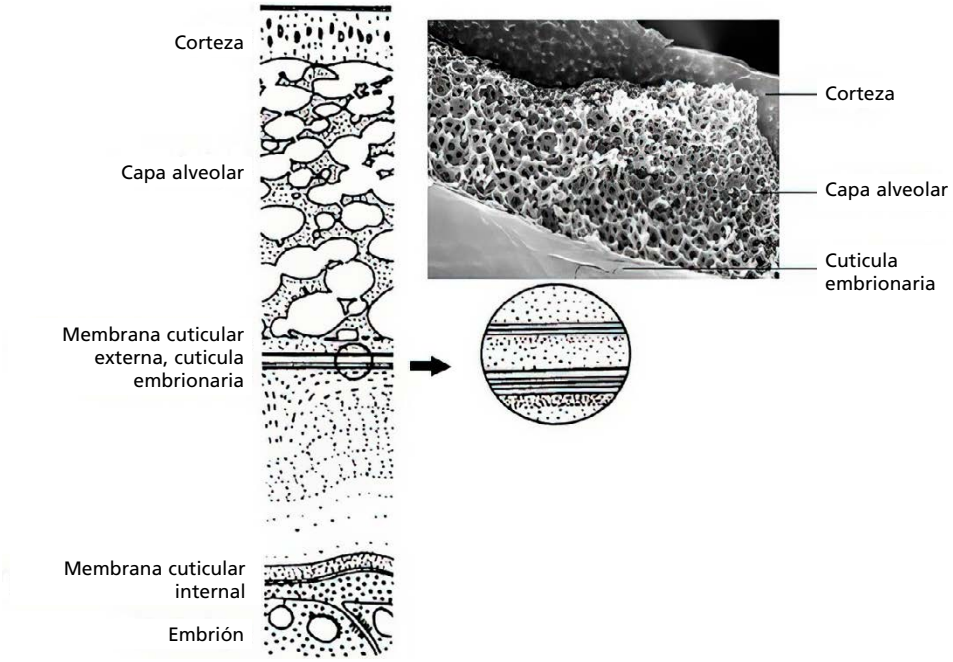
1.5.1. Morfología de los quistes

La envoltura del quiste consta de tres capas (Figura 3):

- Capa alveolar: Una capa dura formada por lipoproteínas impregnadas de quitina y hematina; la concentración de la hematina determina el color del caparazón, por ejemplo, de marrón pálido a oscuro. Su función principal es proteger al embrión de alteraciones mecánicas y de la radiación UV. Esta capa puede ser completamente disuelta mediante un tratamiento de oxidación con hipoclorito (= decapsulación del quiste, ver Sección 3.1.4).
- Membrana cuticular externa: Esta membrana multicapa actúa como un "tamiz" molecular o una barrera de permeabilidad, permitiendo solo el paso de moléculas del tamaño de la molécula del dióxido de carbono (CO_2) o más pequeñas.

FIGURA 3

Diagrama esquemático (izquierda) e imagen de microscopía de barrido (derecha) de la ultraestructura de un quiste de *Artemia*



Izquierda: modificado de Morris y Afzelius, 1967. **Derecha:** de Wang y Sun, 2007.

Fuentes: Morris, J.E. y Afzelius, B.A. 1967. The structure of the shell and outer membranes in encysted *Artemia salina* embryos during cryptobiosis and development. *Journal of Ultrastructure Research*, 20(3-4): 244-259. https://doi.org/10.1016/S0022-5320(67)90285-7
Wang, S.F. y Sun, S.C. 2007. Comparative observation on the cyst shells of seven *Artemia* strains from China. *Microscopy Research and Techniques*, 70: 663-670. https://doi.org/10.1002/jemt.20451

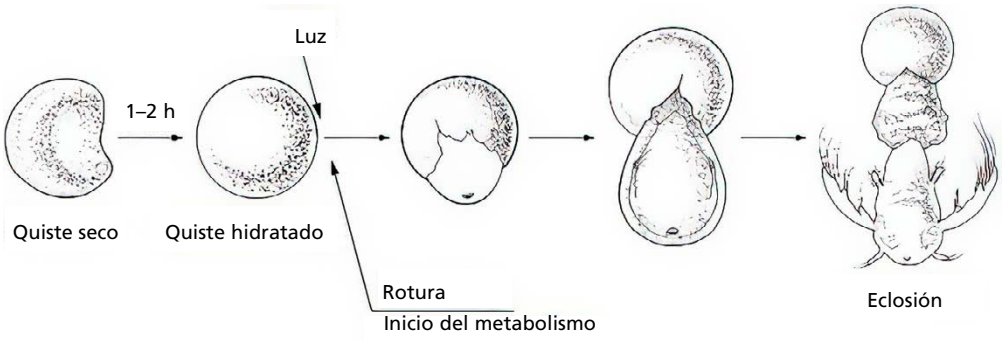
- Cutícula embriónica: Capa transparente y muy elástica separada del embrión por la membrana cuticular interna (esta se desarrolla en la membrana de eclosión durante la incubación de la eclosión).

Generalmente se asume que el embrión es una gástrula indiferenciada, la cual es ametabólica con niveles de agua por debajo del 10 % y que puede almacenarse por períodos largos de tiempo sin perder su viabilidad (ver Sección 3.1.2). La viabilidad se ve afectada cuando los quistes son almacenados con niveles de agua superiores al 10 % (inicio de la actividad metabólica) y cuando son expuestos al oxígeno; es decir, la presencia de oxígeno da lugar en la formación de radicales libres que destruyen ciertos sistemas enzimáticos específicos en los quistes ametabólicos de *Artemia*.

1.5.2. Fisiología del proceso de eclosión

El desarrollo de un quiste de *Artemia* desde la incubación hasta la liberación del nauplio se muestra en la Figura 4.

FIGURA 4
Desarrollo de un quiste de *Artemia* desde la incubación en agua marina hasta la liberación del nauplio



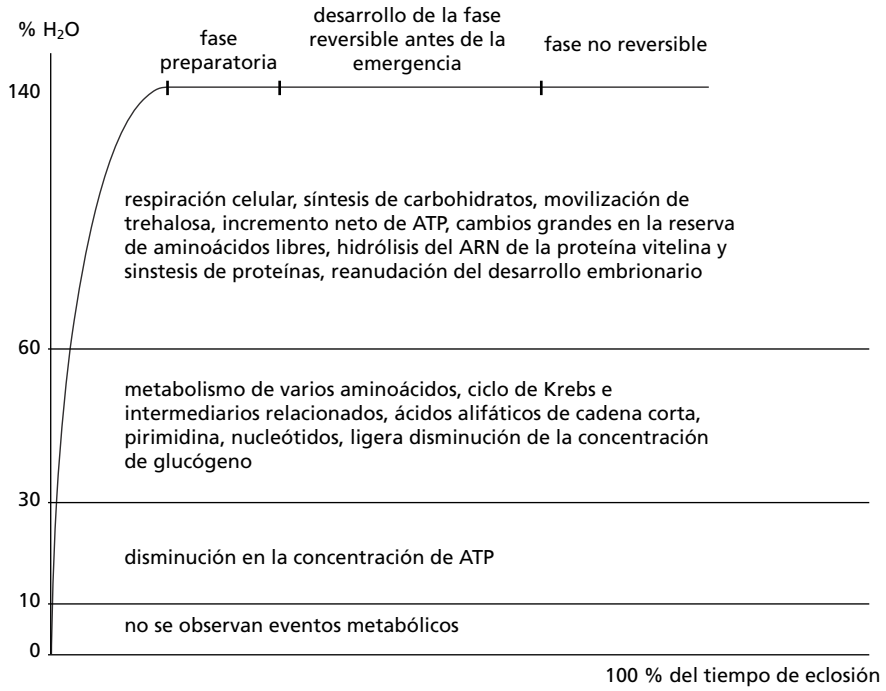
Fuente: Elaboración propia de los autores (ARARC, China).

Cuando se lo incuba en agua de mar, el quiste bicóncavo se hincha y se vuelve una esfera en 1 o 2 h. Luego de 10 a 20 h de hidratación, la cascara del quiste (incluyendo la membrana cuticular externa) estalla (= fase de rotura) y se observa el embrión rodeado por la membrana de eclosión. Para la mayoría de las cepas de *Artemia*, un estímulo luminoso, sobre todo durante las primeras horas de incubación luego de la hidratación total, es esencial para activar el metabolismo de eclosión (Vanhaecke, Cooreman y Sorgeloos, 1981; Van der Linden, Blust y Decleir, 1985; El-Magsodi *et al.*, 2016).

A continuación, el embrión abandona la envoltura completamente y cuelga debajo de la envoltura vacía (la membrana de eclosión puede seguir adherida a la cáscara; esta etapa se llama la fase "paraguas"). A través de la membrana de eclosión transparente, se puede seguir la evolución del prenauplio a nauplio instar I, que es cuando empieza a mover sus apéndices. Una enzima de eclosión (activa a pH >8,0), secretada por la cabeza del nauplio debilita la membrana de eclosión. Pronto, la membrana de eclosión se rompe (=fase de eclosión), lo que le permite al nauplio nadar libremente, con la cabeza adelante para liberarse de la membrana de eclosión.

Los quistes secos son muy higroscópicos y absorben agua a gran velocidad (es decir, en las primeras horas de incubación en agua de mar, el volumen del embrión hidratado aumenta hasta un máximo del 140 % de contenido de agua [Figura 5]). Sin embargo, el metabolismo activo del embrión se reanuda una vez alcanzado un contenido de agua del 60 % y siempre que las condiciones ambientales sean favorables (p. ej., oxígeno, temperatura; ver Sección 3.1.5).

FIGURA 5
Metabolismo celular de los quistes de *Artemia franciscana* en función del nivel de hidratación



Fuente: Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1987. The cryptobiotic state of *Artemia* cysts, its diapause deactivation and hatching, a review. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir y E. Jaspers, eds. *Artemia Research and Its Applications*, pp. 27–63, Vol. 3. Wetteren, Belgica, Universa Press.

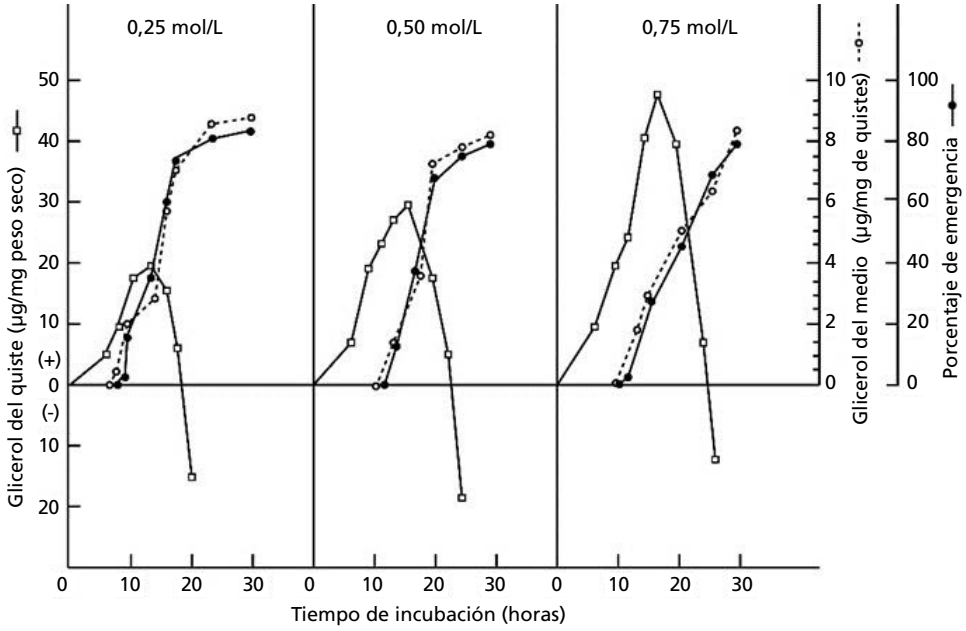
El metabolismo aeróbico del quiste del embrión asegura la conversión de la reserva de carbohidratos trehalosa en glucógeno (como fuente de energía) y glicerol. El aumento de los niveles de este último compuesto higroscópico provoca una mayor absorción de agua por parte del embrión. En consecuencia, la presión osmótica dentro de la membrana cuticular externa aumenta continuamente hasta que alcanza un nivel crítico, lo que provoca la rotura de la envoltura del quiste, momento en el que todo el glicerol producido se libera en el medio de eclosión. En otras palabras, el metabolismo en los quistes de *Artemia* antes de la rotura es un sistema regulador hiperosmótico trehalosa-glicerol. Esto significa que, a medida que aumentan los niveles de salinidad en el medio de incubación, es necesario acumular mayores concentraciones de glicerol para alcanzar la diferencia crítica de presión osmótica que dará lugar a la rotura de la concha, por lo que quedarán menos reservas energéticas en el nauplio (Figura 6).

El aumento de los niveles de este último compuesto higroscópico da lugar a una mayor absorción de agua por el embrión. En consecuencia, la presión osmótica dentro de la membrana cuticular externa aumenta continuamente hasta que alcanza un nivel crítico, el cual resulta en el rompimiento de la envoltura del quiste, momento en el que el glicerol producido es liberado en el medio de eclosión. En otras palabras, el metabolismo en los quistes de *Artemia* antes de la rotura es un sistema regulador hiperosmótico trehalosa-glicerol. Esto significa que, a medida que aumentan los niveles de salinidad en el medio de incubación, es necesario acumular mayores concentraciones de glicerol para alcanzar la diferencia crítica de presión osmótica que dará lugar a la rotura de la concha, por lo que quedarán menos reservas energéticas en el nauplio (Figura 6).

Luego de la rotura, el embrión está en contacto con la membrana de eclosión. Un sistema osmorregulador iónico eficaz está en marcha, uno que puede hacer frente a una amplia gama de salinidades, y el embrión se diferencia en una larva nauplio móvil.

FIGURA 6

La relación entre la concentración del glicerol en los quistes, el nivel del glicerol en el medio y el porcentaje de quistes en la etapa de rotura (emergencia) versus el tiempo de incubación de quistes de *Artemia franciscana* en tres concentraciones de NaCl diferentes (0,25 mol NaCl = 14,6 g/L salinidad)



Fuente: Clegg, J.S. 1964. The control of emergency and metabolism by external osmotic pressure and the role of free glycerol in developing cysts of *Artemia salina*. *Journal of Experimental Biology*, 41: 879–892. https://doi.org/10.1242/jeb.41.4.879

1.5.3. Los efectos de las condiciones ambientales en el metabolismo del quiste

Los quistes secos (con contenido de agua entre 2 y 5 %; ver Anexo 9 para la determinación del contenido de agua) son muy resistentes a temperaturas extremas, con la viabilidad de eclosión no siendo afectada en temperaturas entre –273 °C hasta cerca de 60 °C, y hasta 90 °C solo por exposiciones breves.

Los quistes hidratados tienen tolerancias mucho más específicas, con mortalidad por debajo de –18 °C y por encima de +40 °C, y un mecanismo activo del quiste entre ±4 °C y ±33 °C: Dentro de este intervalo, el porcentaje de eclosión permanece constante, pero los nauplios eclosionan más pronto si la temperatura es más alta. Entre –18 °C y +4 °C y entre ±33 °C y ±40 °C hay una interrupción reversible del metabolismo. Estos rangos de temperatura y sus límites superiores e inferiores pueden variar entre cepas.

Para las otras condiciones ambientales, los rendimientos óptimos de eclosión se alcanzan entre un rango de pH entre 8,0-8,5. Por lo tanto, la adición de bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) hasta 2 g/L o la adición regular de hidróxido de sodio (NaOH) al agua de mar artificial o diluida o a suspensiones densas de quistes, como se practica en varios criaderos, da como resultado una mejor eclosión. Esto puede estar relacionado con el intervalo óptimo de pH para la enzima de eclosión. Con relación al oxígeno, se ha visto un aumento de la eclosión con el aumento del nivel de oxígeno en un rango entre 0,6-2,0 mg/L, y la eclosión máxima se obtiene por encima de esta concentración. Para evitar gradientes de oxígeno durante la eclosión, es importante tener una buena mezcla homogénea de quistes en el medio de incubación (ver Sección 3.1.5 sobre condiciones normales de eclosión)

Como se había indicado antes, la eclosión en un medio salino de mayor salinidad consumirá más reservas energéticas del embrión. Por encima del umbral de salinidad (que varía entre cepas, ±90 g/L para la mayoría), no se puede absorber una cantidad suficiente de agua para mantener el metabolismo del embrión. La salinidad óptima para la eclosión es igualmente específica para cada cepa, pero en la práctica esta se sitúa generalmente en el rango de 15-35 g/L (si bien puede ser tan baja como de 5 g/L).

Si bien no se conoce bien el rol fisiológico de la luz durante el proceso de eclosión, los quistes de *Artemia*, cuando están hidratados y en condiciones aeróbicas, necesitan poca luz para el inicio del proceso de eclosión, relacionado con la intensidad de la luz o el tiempo de exposición.

1.5.4. Diapausa

Por cuanto *Artemia* habita biotopos caracterizados por ambientes inestables, su supervivencia durante periodos de condiciones extremas (desecación, temperaturas extremas y altas salinidades, entre otras) está asegurada por la producción de embriones en estado de diapausa. Las hembras de *Artemia* pueden pasar fácilmente de la producción de nauplios vivos (ovoviviparidad) a la formación de quistes como respuesta rápida a condiciones cambiantes. Si bien los mecanismos básicos involucrados en este cambio aún no se conocen del todo, las fluctuaciones repentinas parecen desencadenar la oviparidad (estrés por oxígeno y cambios de salinidad, por ejemplo). Sin embargo, todavía se desconoce el mecanismo desencadenante de la inducción de la diapausa. En principio, los embriones de *Artemia* son liberados en el medio como quistes en diapausa y no reanudarán su desarrollo, aún bajo condiciones favorables, hasta que sufran algún proceso ambiental desactivador de la diapausa. En esta etapa, el paro metabólico está regulado por mecanismos internos y no puede ser distinguido de un embrión no vivo. Tras la interrupción de la diapausa, los quistes entran en una etapa de quiescencia, lo que significa que pueden reanudar su desarrollo cuando las condiciones de eclosión son favorables: En esta fase, la detención del desarrollo depende de factores internos (ver Figura 7). Como resultado, se produce un metabolismo sincrónico de eclosión, lo que da lugar a un inicio rápido y al consiguiente desarrollo de la población poco después del restablecimiento de las condiciones ambientales favorables. Esto permite una colonización eficaz en biotopos temporales.

Para el usuario de quistes de *Artemia*, hay varias técnicas exitosas para terminar la diapausa. Es importante notar que la sensibilidad de los quistes a estas técnicas muestra la especificidad de la cepa, o incluso el lote, y de ahí la dificultad de predecir el efecto sobre la eclosión. Cuando se trabajó con cepas nuevas o relativamente desconocidas, el éxito o fracaso relativo a ciertos métodos debe ser estudiado empíricamente.

En muchos casos, la eliminación del agua de los quistes puede ser una forma eficaz para terminar la diapausa. Esto puede conseguirse secando los quistes a temperaturas no mayores a 35-40 °C o suspendiendo los quistes en una salmuera saturada de NaCl (300 g/L). Dado que la deshidratación forma parte de la mayoría de los procedimientos para almacenamiento y procesado, la interrupción de la diapausa no requiere ninguna manipulación especial. Sin embargo, con algunas cepas de quistes de *Artemia*, las técnicas habituales de procesado de quistes no producen una eclosión de calidad suficientemente alta, lo que indica que es necesario un método de desactivación de la diapausa más específico.

Los siguientes procedimientos han demostrado su eficacia cuando se aplican a fuentes específicas de quistes de *Artemia*:

- Congelación: Esto "imita" el periodo natural de hibernación de los quistes procedentes de biotopos continentales con baja temperatura en el invierno (p. ej., el Gran Lago Salado en los Estados Unidos de América, y los lagos en Siberia, la Federación de Rusia y Kazajstán; ver Tabla 4).
- Incubación en una solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2): En la mayoría de los casos, la sensibilidad de la cepa (o lote) a este producto es difícil de predecir, por lo que se necesitan pruebas preliminares para obtener información sobre la dosis/período óptimo al que debe aplicarse para observar el efecto máximo (ver Tabla 5). La sobredosificación provoca una reducción en la eclosión o incluso completa mortalidad como consecuencia de la toxicidad del químico. Sin embargo, en algunos casos, no se observa ningún efecto (Van Stappen, Lavens y Sorgeloos, 1998; Robbins *et al*., 2010).

FIGURA 7
Diagrama esquemático con la terminología específica usada con relación a la diapausa de los embriones de *Artemia*



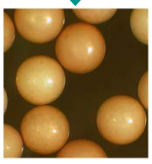
Gástrula

Inducción de la diapausa



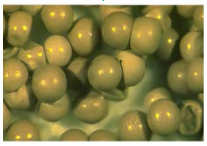
Embriones enquistados

Liberación al habitat



Quistes en diapausa

Desactivación de la diapausa (desecado)



Quistes quiescentes

Eclosión bajo condiciones ambientales favorables



Nauplio, en instar I

Fuente: Elaboración de los autores (ARARC, China).

En general, otras técnicas de interrupción de la diapausa (deshidratación e hidratación cíclica, decapsulación, radiación γ y otros productos químicos) dan resultados bastante erráticos o no son fáciles de usar. No obstante, hay que tener en cuenta que el aumento del porcentaje de eclosión después de cualquier procedimiento podría ser (incluso parcialmente) el resultado de un cambio en la tasa de eclosión (eclosión más temprana) y no de un aumento de la eclosión en sí.

TABLA 4
Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas en la eclosión de quistes de *Artemia* de Kazajstán (lago sin especificar)

Timpo de conservación	Temperatura de almacenamiento		
	+4 °C	-25 °C	-80 °C
0 días	7	7	7
1 mes	7	16	12
2 meses	27	44	50

Fuente: Elaboración de los autores (LAARC).

TABLA 5
Efecto dosis-tiempo del tratamiento de incubación con H_2O_2 sobre el porcentaje de quistes de *Artemia* de Kazajstán (lago sin especificar); porcentaje de eclosión del control (sin incubación con H_2O_2) = 18,6 %

Tiempo de incubación (min)	Concentración de la solución de H_2O_2 (%)				
	1,0	5,0	10,0	20,0	27,0
1	31,4	50,8	62,4	53,8	42,2
5	36,6	64,6	69,2	58,2	47,9
10	46,4	36,7	39,7	68,5	45,0
15	48,8	74,7	76,1	48,6	28,2
20	47,1	76,2	74,2	66,5	17,6
30	49,1	47,7	45,3	25,6	9,5

Fuente: Van Stappen, G., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1998. Effects of hydrogen peroxide treatment in *Artemia* cysts of different geographical origin. Arch. *Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol*., 52: 281–296.

REFERENCIAS

Agh, N., Abatzopoulos, T.J., Kappas, I., Van Stappen, G., Razavi Rouhani, S.M. y Sorgeloos, P. 2007. Coexistence of sexual and parthenogenetic *Artemia* populations in Lake Urmia and neighbouring lagoons. *International Review of Hydrobiology*, 92(1): 48–60. https://doi.org/10.1002/iroh.200610909

Amat, F., Barata, C., Hontoria, F., Navarro, J.C. y Varó, I. 1995. Biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda, Anostraca) in Spain. *International Journal of Salt Lake Research*, 3: 175–190. https://doi.org/10.1007/BF01990493

Asem, A., Eimanifar, A., Rastegar-Pouyani, N., Hontoria, F., De Vos, S., Van Stappen, G. y Sun, S.C. 2020. An overview on the nomenclatural and phylogenetic problems of native Asian brine shrimps of the genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea, Anostraca). *Zookeys*, 902: 1–15. https://doi.org/10.3897/zookeys.902.34593

Asem, A., Yang, C., Eimanifar, A., Hontoria, F., Varo, I., Mahmoudi, F., Fu, C.-Z., Shen, C.-Y., Rastegar-Pouyani, N., Wang, P.Z., Li, W., Yoa, L, Meng, X., Dan, Y.-T., Rogers, D.D. y Gajardo, G. (2023). Phylogenetic analysis of problematic Asian species of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea, Anostraca), with the descriptions of two new species. *Journal of Crustacean Biology*, 43: 1–25. https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruad002

Beardmore, J.A., Pilla, E.J. y Thomas, K.M. 1994. Genetic variation in *Artemia*: speciation, reproductive mode and potential for exploitation. En: G. Gajardo y P. Coutteau, eds. *Book of Abstracts of Contributions,* presented at the International Conference "Improvement of the commercial production of marine aquaculture species". Puerto Montt, Chile, 5–9 December 1994.

Browne, R.A., Sallee, S.E., Grosch, D.S., Segreti, W.O. y Purser, S.M. 1984. Partitioning genetic and environmental components of reproduction and lifespan in *Artemia*. *Ecology*, 65(3): 949960. https://doi.org/10.2307/1938067

Browne, R.A. y Halanych, K.M. 1989. Competition between sexual and parthenogenetic *Artemia*: A re_evaluation (Branchiopoda, Anostraca). *Crustaceana*, 57(1): 57–71. https://doi.org/10.1163/156854089X00356

Browne, R.A. y Bowen, S.T. 1991. Taxonomy and population genetics of *Artemia*. In: Browne, R.A., P. Sorgeloos y C.N.A. Trotman, eds. *Artemia Biology*, pp. 221–235. Boca Raton, Ann Arbor, Boston, USA, CRC Press.

Browne, R.A., Li, M., Wanigasekera, G., Simonek, S., Brownlee, D., Eiband, G. y Cowan, J. 1993. Ecological, physiological and genetic divergence of sexual and asexual (diploid and polyploid) brine shrimp (*Artemia*). *Trends in Ecology*: 1–114.

Clegg, J.S. 1964. The control of emergency and metabolism by external osmotic pressure and the role of free glycerol in developing cysts of *Artemia salina*. *Journal of Experimental Biology*, 41: 879-892. https://doi.org/10.1242/jeb.41.4.879

Criel, G.R.J. y Macrae, T.H. 2002. Chapter II. Reproductive biology of *Artemia.* En: T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg y P. Sorgeloos, eds. *Artemia*. *Basic and applied biology*, pp. 39-128. Dordrecht, the Netherlands. Kluwer Academic Publishers.

Davis, J. 2006. *Biological and physical management information for commercial solar saltworks*. Proceeding of the 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks, Santorini Islands, Greece: Global NEST: 1–4.

De Vos, S., Rombauts, S., Coussement, L., Dermauw, W., Vuylsteke, M., Sorgeloos, P., Clegg, J.S., Nambu, Z., Van Nieuwerburg, F., Norouzitallab, P., Van Leeuwen, T., De Meyer, T., Van Stappen, G., Van de Peer, Y. y Bossier, P. 2021. The genome of the extremophile *Artemia* provides insight into strategies to cope with extreme environments. *BMC Genomics*, 22: 635. https://doi.org/10.1186/s12864-021-07937-z

El-Magsodi, M.O., Bossier, P., Sorgeloos, P. y Van Stappen, G. 2016. Effect of light colour, timing and duration of light exposure on the hatchability of *Artemia* spp. (Branchiopoda: Anostraca) eggs. *Journal of Crustacean Biology*, 36(4): 515–524. https://doi.org/10.1163/1937240X-00002454

FAO. 2019. *The State of the World's Aquatic Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome.

Gelabert Fernandez, R. y Solis, L. 1994. The selection of food particle size by *Artemia* from Guantanamo, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 15: 141–145.

Gelabert, R. y Pacheco, A. 2011. Selectivity of particle size by the shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) larvae. *Aquaculture Nutrition*, 17: 244–247. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00736.x

Hentschel, E. 1968. Die postembryonalen Entwicklungsstadien von *Artemia salina* LEACH bei verscheidenen Temperaturen (Anostraca, Crustaceae). *Zool. Anz*., 180: 372–384.

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1987. The cryptobiotic state of *Artemia* cysts, its diapause deactivation and hatching, a review. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir y E. Jaspers, eds. *Artemia Research and Its Applications*, pp. 27–63, Vol. 3. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Léger, P., Bengtson, D.A., Sorgeloos, P., Simpson, K.L. y Beck, A.D. 1987. The nutritional value of *Artemia*: A review. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir y E. Jaspers, eds. *Artemia Research and Its Applications*, pp. 357–372, Vol. 3. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Makridis, P. y Vadstein, O. 1999. Food size selectivity of *Artemia franciscana* at three developmental stages. *Journal of Plankton Research*, 21: 2191–2201. https://doi.org/10.1093/plankt/21.11.2191

Morris, J.E. y Afzelius, B.A. 1967. The structure of the shell and outer membranes in encysted *Artemia salina* embryos during cryptobiosis and development. *Journal of Ultrastructure Research*, 20(3-4): 244–259. https://doi.org/10.1016/S0022-5320(67)90285-7

Naganawa, H. y Mura, G. 2017. Two new cryptic species of *Artemia* (Brachiopoda, Anostraca) from Mongolia and the possibility of invasion and disturbance by the aquaculture industry in East Asia. *Crustaceana*, 90(14): 1679–1698. https://doi.org/10.1163/15685403-00003744

Persoone, G. y Sorgeloos, P. 1980. General aspects of the ecology and biogeography of *Artemia*. En: G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels y E. Jaspers, eds. *The brine shrimp Artemia*, pp. 3–24, *Vol. 3. Ecology*, *culturing, use in aquaculture*. Universa Press, Wetteren, Belgium,

Pilla, E.J.S. y Beardmore, J.A. 1994. Genetic and morphometric differentiation in Old World bisexual species of the brine shrimp (*Artemia*). *Heredity*, 72: 47–56. https://doi.org/10.1038/hdy.1994.97

Proctor, V.W., Malone, C.R. y Devlaming, V.L. 1967. Dispersal of aquatic organisms: viability of disseminules recovered from the intestinal tract of captive killdeer. *Ecology*, 46: 656–676.

Robbins, H.M., Van Stappen, G., Sorgeloos, P., Sung, Y.Y., MacRae,T.H. y Bossier, P. 2010. Diapause termination and development of encysted *Artemia* embryos: Roles for nitric oxide and hydrogen peroxide. *Journal of Experimental Biology*, 213(9): 1464–1470. https://doi.org/10.1242/jeb.041772

Sainz-Escudero, L., López-Estrada, E.K., Rodríguez-Flores, P.C. y García-París, M. 2021. Settling taxonomic and nomenclatural problems in brine shrimps, *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda: Anostraca), by integrating mitogenomics, marker discordances and nomenclature rules. *Peer J*., 9: e10865. https://doi.org/10.7717/peerj.10865

Seixas, P., Coutinho, P., Ferreira, M. y Otero, A. 2009. Nutritional value of the cryptophyte *Rhodomonas lens* for *Artemia* sp. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 381: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.09.007

Triantaphyllidis, G.V., Zhang, B., Zhu, L. y Sorgeloos, P. 1994. International Study on *Artemia*. L. Review of the literature on *Artemia* from salt lakes in the People's Republic of China. *International Journal of Salt Lake Research*, 3: 1–12. https://doi.org/10.1007/BF01990645.

Van der Linden, A., Blust, R. y Decleir, W. 1985. The influence of light on the hatching of *Artemia* cysts (Anostraca: Branchiopoda: Crustacea). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 92: 207-214. https://doi.org/10.1016/0022-0981(85)90095-4

Vanhaecke, P., Cooreman, A. y Sorgeloos, P. 1981. International Study on *Artemia*. XV. Effects of light intensity on hatching rate of *Artemia* cysts from different geographical origin. *Marine Ecology Progress Series*, 5(1): 111–114.

Vanhaecke, P., Tackaert, W. y Sorgeloos, P. 1987. The biogeography of *Artemia*: an updated review. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir y E. Jaspers, eds. *Artemia research and Its applications*. *Vol. 1. Morphology, genetics, strain characterisation, toxicology*. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Van Stappen, G., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1998. Effects of hydrogen peroxide treatment in *Artemia* cysts of different geographical origin. Arch. *Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol*., 52: 281–296.

Van Stappen, G. 2002. Chapter IV. Zoogeography. En: T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg y P. Sorgeloos P., eds. *Artemia*: *Basic and applied biology*. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 286 pp.

Van Stappen, G., Sui, L.Y., Hoa, N.V., Tamtin, M., Nyonje, B., Renato de Medeiros, R., Sorgeloos, P. y Gajardo, G. 2019. Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds. *Review in Aquaculture*, 12: 1054–1071. https://doi.org/10.1111/raq.12371

Wang, S.F. y Sun, S.C. 2007. Comparative observation on the cyst shells of seven *Artemia* strains from China. *Microscopy Research and Techniques*, 70: 663–670. https://doi.org/10.1002/jemt.20451

2. Producción de *Artemia* en lagos y estanques salinos

2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES HÁBITATS DE *ARTEMIA*

2.1.1. Lagos naturales

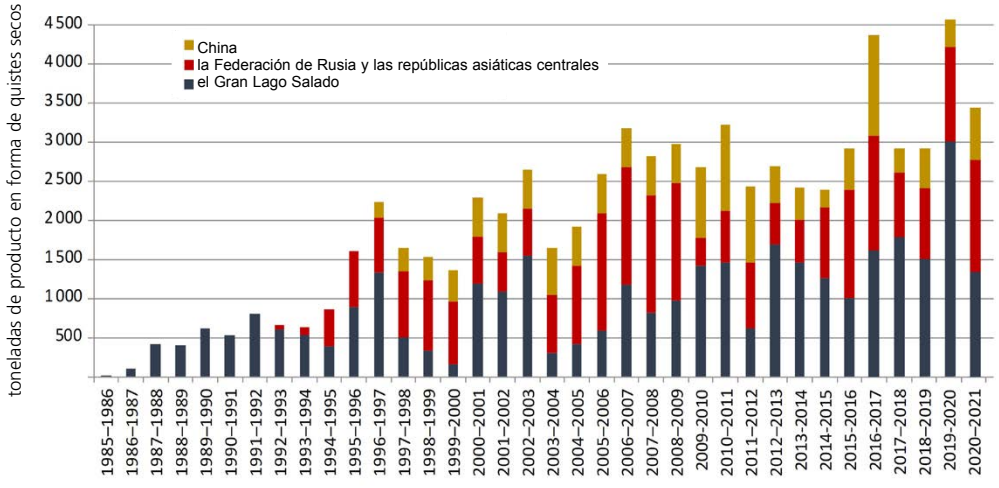
2.1.1.1. Introducción (por Gilbert Van Stappen)

Como se describe en la Sección 1.2, *Artemia* vive naturalmente en lagos salinos que varían en tamaño, topografía, condiciones bióticas y abióticas (Triantaphyllidis, Abatzopoulos y Sorgeloos, 1998; Van Stappen, 2002). Generalmente estos lagos están localizados en las denominadas cuencas de drenaje endorreicas (de ahí su calificación de "lagos terminales"); por ejemplo, cuencas que reciben agua de ríos tributarios que no tienen salida a cuerpos de agua exteriores, como otros ríos o el mar. Como resultado, el nivel del agua y la salinidad en estos lagos se mantienen principalmente a través del volumen de agua que viene de los ríos, pero también de la lluvia y de la escorrentía directa de las zonas circundantes versus la evaporación, con la filtración subterránea como un factor menos visible. En estos lagos, la densidad poblacional de *Artemia* es generalmente baja y fluctúa en función de las condiciones locales, la disponibilidad de alimento, siendo la temperatura y la salinidad las más importantes. El tamaño de estos lagos naturales, aún de los más pequeños, hace difícil o casi imposible el manejo eficiente, en términos de explotación de *Artemia* para la cosecha de quistes o biomasa.

En la década de 1960, dos compañías en los Estados Unidos de América empezaron a comercializar los quistes de *Artemia* recogidos en los salares de la bahía de San Francisco, California, y del Gran Lago Salado (GSL, por sus siglas en inglés), Utah. El GSL siguió siendo la principal fuente de quistes de *Artemia* hasta la década de 1990. Sin embargo, con la demanda por la expansión de la acuicultura y con cosechas fluctuantes en el GSL a través de los años, la amenaza de una escasez de quistes en el mercado impulsó a las compañías cosechadoras de quistes y a otros usuarios, a la explotación en salares alternativos, para así diversificar y asegurar el futuro de la provisión de quistes de *Artemia* . Estos nuevos recursos, principalmente en Asia continental (p. ej., China, Kazajstán, Siberia, Federación de Rusia, Turkmenistán y Uzbekistán) fueron explorados desde finales de 1990 por sus características y el potencial de las poblaciones locales de *Artemia*. En muchos de estos lagos, la explotación de *Artemia* comenzó de manera regular (Lavens y Sorgeloos, 2000; Dhont y Sorgeloos, 2002).

En la actualidad, el origen geográfico de los quistes es bastante variado: estos posiblemente no se originan solo del Gran Lago Salado sino también de otros lagos en Asia central y la parte interior de China, con la cantidad total que ha fluctuado en el tiempo (Figura 8). La diversificación de las fuentes de *Artemia* es crucial, por cuanto muchos lagos interiores, sean pequeños o grandes, son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático, con efectos tales como la desertificación, la reducción de la salinidad a través de mucha lluvia o por deshielo de glaciares, por cambios mayores en el régimen de temperatura. Como estos lagos están generalmente localizados en zonas áridas o semiáridas con poca agua dulce, el delicado equilibrio de los ecosistemas de lagos salados puede ser afectado también por actividades humanas en la cuenca del lago, especialmente la reducción del ingreso de agua (pudiendo resultar, en casos extremos, en la desecación del lago), al ser esta desviada para proyectos agrícolas, industriales o urbanos. Adicionalmente, estos lagos terminales pueden acumular contaminantes provenientes de cuerpos de agua de la cuenca. Estos factores pueden

FIGURA 8
Fluctuación de quistes de *Artemia* (en toneladas de producto comercial seco) de los lagos en China, la Federación de Rusia y las repúblicas asiáticas centrales, y del Gran Lago Salado, Estados Unidos de América



Fuente: INVE, Bélgica.

tener un impacto en la población local de *Artemia* y en las cantidades de quistes disponibles para la cosecha (Gajardo y Beardmore, 2012). Como *Artemia* es el único tipo de metazoo, o el más dominante en este tipo de lagos, también es un importante elemento en el ecosistema; *Artemia* tiene un rol crucial como una fuente de alimento para aves migratorias. Por ende, una explotación a gran escala debe ir de la mano de estudios poblacionales en el campo que definan las cosechas máximas sostenibles y de programas de cosecha sostenible.

Ante esto, las siguientes secciones de este manual describen la producción de *Artemia* en el Gran Lago Salado, en lagos chinos y rusos para dar una idea de la diversidad de productos que llegan al mercado y los diversos tipos de ambientes de los cuales provienen. Adicionalmente, este capítulo ofrece lectura selecta en lagos salados específicos – lago Urmia en la República Islámica del Irán; lago Aral (también conocido como el Mar de Aral) en Kazajstán/Uzbekistán; y lago Kara-Bogaz-Gol en Turkmenistán) – ilustrando casos extremos de temporalidad a largo plazo relacionada a la presencia y cosecha de *Artemia*, y expresa la posible interferencia del cambio climático y factores antropogénicos.

2.1.1.2. El Gran Lago Salado: un estudio de caso en el manejo sostenible de una población de Artemia (por *Phil Brown*, *Brad Marden* y *Thomas Bosteels*)

Topografía y ecología del Gran Lago Salado

El Gran Lago Salado (GSL, por sus siglas en inglés) en Utah, en los Estados Unidos de América, es un lago terminal hipersalino de 3 600 km², que ocupa la porción más baja de una cuenca de 56 000 km² en la parte oriental de la Gran Cuenca de Norteamérica. El GSL es un mosaico de variabilidad ambiental y hábitat de fauna silvestre, que va desde humedales de agua dulce hasta bahías salobres y aguas abiertas hipersalinas. Tres ríos desembocan en el GSL desde las montañas circundantes, alimentando extensos humedales en los márgenes orientales del lago antes de desembocar en las bahías abiertas. Los humedales y las playas albergan una gran diversidad de aves acuáticas y costeras, tanto migratorias como residentes. Las bahías, salobres en determinadas épocas del año, pueden albergar comunidades de zooplancton y algunos peces cerca de las desembocaduras de los ríos.

El cuerpo principal del GSL ha sido dividido por una calzada de relleno sólido construida en el centro del lago en 1959; esta calzada restringe el flujo de agua, altera

la salinidad y, por lo tanto, modifica la ecología de cada bahía (Lámina 15). Las pequeñas alcantarillas, presentes en la calzada desde el principio, fueron sustituidas en 2017 por una abertura de 60 m de ancho en una ubicación más profunda con un terraplén ajustable. A pesar de ello, el intercambio de agua a través de la calzada es limitado y las bahías siguen siendo hidrológicamente distintas. La bahía de Gunnison, al norte de la calzada, solo recibe agua dulce a través de las precipitaciones directas y la afluencia de aguas subterráneas, y la evaporación mantiene la salinidad en niveles cercanos a la saturación la mayoría de los años. La bahía de Gilbert, al sur, tiene 65 km de longitud y recibe el caudal de los tres ríos, y la salinidad ha oscilado entre 100 g/L y 150 g/L en los últimos 10 años. Alberga a la inmensa mayoría de la población residente de *Artemia franciscana* del lago durante la mayor parte del año.

LÁMINA 15
Mapa del Gran Lago Salado, mostrando la desembocadura del río, la calzada y las ubicaciones de las roturas de la calzada



Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en este mapa.

Fuente: Imagen satelital cedida por la Unidad de Ciencias de la Tierra y Teledetección, visualizada en abril de 2021 en el Centro Espacial Johnson de la NASA, Estados Unidos de América (https://eol.jsc.nasa.gov).

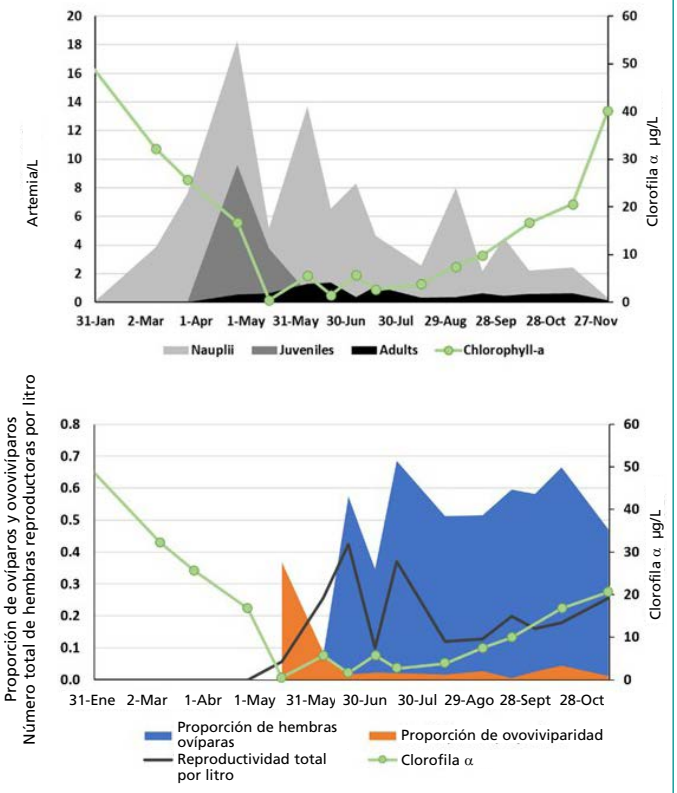
La población de *Artemia* del GSL provee funciones ecosistémicas importantes y servicios a nivel local como del hemisferio. La bahía Gilbert es un sistema acuático productivo y *Artemia* rápidamente convierte la abundante biomasa de fitoplancton en formas aprovechables tanto por la vida silvestre como por los humanos. A escala local, *Artemia* controla la eutroficación para mantener la claridad del agua. Las concentraciones de clorofila-α en la bahía Gilbert tienen un promedio de 40-50 µg/L en los meses libres de *Artemia* y pueden superar considerablemente ese valor. Esto da lugar a condiciones eutróficas que serían motivo de preocupación en sistemas menos salinos vulnerables a explosiones de cianobacterias nocivas, anoxia y mortandad de peces. Sin embargo, en la bahía hipersalina de Gilbert, la eutroficación es motivo de poca preocupación, ya que *Artemia* es capaz de consumir rápidamente el fitoplancton, reducir la clorofila a menos de 1 µg/L y aumentar la claridad del agua, lo que beneficia el uso recreativo humano y la extracción industrial de sal. A escala hemisférica, *Artemia* es el nexo entre la abundante biomasa de fitoplancton y las necesidades energéticas de especies de aves migratorias. La bahía Gilbert es un lugar de parada anual para hasta 4,5 millones de zampullines cuellinegros (*Podiceps nigricollis*), que se alimentan principalmente de *Artemia* para ganar peso y acumular reservas de energía en preparación para continuar su migración hacia el sur, a sus zonas de paso invernal, y para varias especies de patos, que utilizan los quistes y adultos de *Artemia* durante los duros meses de invierno. La bahía de Gilbert es también el mayor proveedor individual de quistes de *Artemia* para las operaciones de acuicultura en todo el mundo.

Dinámica poblacional de Artemia *en el Gran Lago Salado*

El ciclo poblacional anual de *A. franciscana* en el Gran Lago Salado está moldeado por el clima circundante y las condiciones ambientales estacionales dentro del lago. Éste está ubicado en un clima continental con inviernos mortales para *Artemia* de nado

FIGURA 9

Densidades por litro de diferentes edades de *Artemia* y valores de clorofila-α en el 2018 (parte superior): Cambios en la reproducción por nauplios (ovoviviparidad) y quistes (oviparidad) en 2018, con densidades de hembras reproductivas por litro (parte inferior)



Fuente: GSLBSC, Estados Unidos de América.

libre, y la población pasa el invierno en forma de quistes en diapausa. El ciclo de vida comienza nuevamente en marzo, cuando los quistes empiezan a eclosionar en respuesta al aumento de temperatura y al mayor flujo de agua dulce procedente del deshielo anual. La maduración y el crecimiento son lentos durante las primeras semanas, pero se aceleran a medida que la temperatura incrementa. Los nauplios se convierten en juveniles y en adultos en abril (Figura 9). La primera reproducción por parto vivo (ovoviviparidad) de los nauplios sucede a fines de abril y mayo, con el mayor número de crías del año. El pulso resultante de nauplios de segunda generación y la gran abundancia de algas crean un aumento exponencial en el tamaño de la población con picos simultáneos de *Artemia* de primera y segunda generación para mayo o principios de junio. La abundante cantidad de fitoplancton alimenta esta primera y segunda generación de *Artemia* cada año, ya que el lago no se congela y por lo tanto el fitoplancton en invierno está limitado por nutrientes y por el autosombreado antes que por la cobertura de hielo. *Artemia* es un herbívoro eficiente y su rápido crecimiento poblacional pronto agota este recurso. A medida que el fitoplancton se agota, la claridad del agua puede aumentar desde un mínimo invernal de menos de 0,5 m hasta 6 m. El alimento y el oxígeno se vuelven simultáneamente limitantes para las *Artemia* y la población disminuye drásticamente debido al hambre y al estrés por falta de oxígeno.

El período de inanición a principios del verano es un evento estresante que parece influir en la población de *Artemia* a lo largo del final del verano y del otoño. La demografía de *Artemia*, a partir de este momento, es claramente diferente. El fitoplancton se libera de la fuerte presión del pastoreo cuando *Artemia* disminuye y comienza a recuperarse. A esto *Artemia* responde con un aumento de los nacidos vivos, pero el modo de reproducción ha cambiado hacia la producción de quistes (oviparidad), dejando el nacimiento vivo que predominaba antes del agotamiento del fitoplancton (Figura 9). El fitoplancton y *Artemia* siguen fluctuando de forma opuesta, con modestos aumentos del fitoplancton compensados por incrementos más modestos de la población de *Artemia*. Cada ciclo de aumento y disminución es menos extremo que a principios del verano. La estabilidad en las interacciones entre los productores primarios y los herbívoros se mantiene en septiembre y octubre. Por término medio, la densidad global de la población de *Artemia* se mantiene relativamente estable en estos meses, pero aumenta la abundancia de hembras portadoras de quistes y el tamaño de sus puestas. La densidad de quistes en la bahía Gilbert aumenta a lo largo de agosto y septiembre, y suele alcanzar su máximo en octubre. La densidad de adultos disminuye en noviembre con la bajada de la temperatura del agua y puede persistir en cifras más bajas hasta bien entrado diciembre, mes en el que las temperaturas por debajo de los

LÁMINA 16
Vista dorsal de *Trichocorixa verticalis*



© SEC

7 °C marcan el final de la población que nada libremente. Un año típico en el GSL da lugar a tres o cuatro generaciones de *Artemia*, las que a menudo se superponen.

Los patrones demográficos anteriores describen un año típico de los últimos 25 años de monitoreo de información y pueden diferir cuando las condiciones ambientales, notablemente la salinidad, se desvía del rango óptimo. *Artemia* es un osmorregulador competente y puede tolerar fisiológicamente un amplio rango de salinidad, desde aguas salobres a aguas hipersalinas, cercanas a la saturación. En el ambiente natural, *Artemia* es regulada por depredación y competencia en el espectro de salinidad más baja. La depredación por el insecto acuático *Trichocorixa verticalis* (Lámina 16) redujo considerablemente la población de *Artemia* del GSL durante un período de escorrentía inusualmente alta, que redujo la salinidad de la bahía de Gilbert a menos de 60 g/L entre 1985 y 1987 (Wurtsbaugh y Berry, 1990), y se han observado poblaciones viables de la especie relacionada *Trichocorixa reticulata* en hábitats de *Artemia* de 100 g/L (Herbst, 2006). Además, la disminución de la salinidad del GSL de 120 g/L a 76 g/L a finales de la década de 1990 se correlacionó con una reproducción deficiente de *Artemia* y con cambios en la composición del fitoplancton que pueden haber sido desfavorables (Stephens y Birdsey, 2002; Belovsky y Perschon, 2019). Por lo tanto, una salinidad inferior a 120 g/L conlleva el riesgo de que tanto los depredadores como el fitoplancton ejerzan control sobre la población de *Artemia*.

En cuanto a la tolerancia a la salinidad superior, los datos de laboratorio y de campo muestran una disminución de la abundancia y la supervivencia de *Artemia* en el GSL por encima de 160 g/L (Marden, Brown y Bosteels, 2020); esto es respaldado en general por estudios sobre otras poblaciones de *Artemia* que incluyen la supervivencia y la reproducción (Dana y Lenz, 1986; Triantaphyllidis *et al.*, 1995; Abatzopoulos *et al.*, 2003). Las pruebas disponibles en la literatura y las observaciones en el campo indican que el rango óptimo de salinidad para la población de *Artemia* del GSL es entre 120 g/L y 160 g/L, un rango en el que la Bahía Gilbert se ha mantenido durante 22 de los últimos 26 años, a pesar de las importantes variaciones interanuales en las precipitaciones y el suministro de agua. El extenso seguimiento de la población de *Artemia* en el GSL ha demostrado la capacidad de la población para recuperarse rápidamente una vez que la salinidad ha vuelto al rango óptimo.

Adicionalmente, debido a la poca mezcla entre las aguas someras y las profundas que son capas de agua más saturada y densa, esta última actúa como un procesador de nutrientes y como sumidero al acumular materia orgánica del productivo hábitat superficial de *Artemia*. El aislamiento de estos nutrientes limitantes en las aguas profundas demuestra la necesidad de mantener el aporte de nutrientes a las capas de agua someras que provienen de los ríos. Si bien la dinámica de los nutrientes en el Gran Lago Salado es impulsada principalmente por el ciclo interno de la fuente de nutrientes, las ganancias y pérdidas anuales de nutrientes de las capas productivas superiores de agua del GSL pueden llegar a ser sustanciales a lo largo de varios años. El nitrógeno fluvial representa casi el 10 % de la carga de nitrógeno anual de la bahía de Gilbert (Naftz, 2017), lo que demuestra la necesidad de un suministro continuo de nutrientes al lago ante las pérdidas anuales.

La durabilidad y la latencia de los quistes de *Artemia* en el Gran Lago Salado son fundamentales para su capacidad de sobrevivir en el lago. La estacionalidad del hábitat de *Artemia* es crucial para su supervivencia. En las salinas y los lagos salinos someros, la estacionalidad puede dar lugar a la pérdida del hábitat o de la salinidad adecuada por la evaporación; no obstante, en el GSL las temperaturas invernales son mortales. Sin embargo, el conjunto de adaptaciones protectoras (ver Sección 1.5) no puede bloquear por completo las tensiones ambientales y los quistes de *Artemia* perderán viabilidad con el tiempo en el entorno natural. En el duro entorno natural del sistema del GSL, la viabilidad de los quistes se mantiene alta durante un solo invierno (Marden, Brown y Bosteels, 2020), pero la exposición durante varios años al calor, a la radiación ultravioleta y a los episodios de hidratación causados por las precipitaciones en la costa reducirá sustancialmente la viabilidad, lo que tiene consecuencias para sus condiciones de almacenamiento (ver Sección 3.1.2).

Manejo de la cosecha de Artemia *en el Gran Lago Salado*

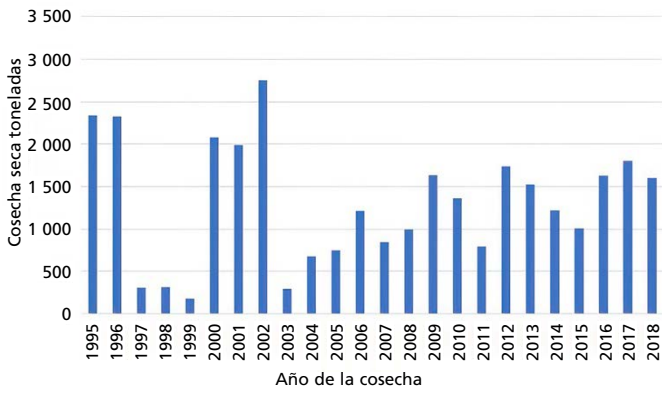
El interés comercial en *Artemia* del Gran Lago Salado empezó en la década de 1950, pero al inicio estuvo limitado al uso de la biomasa de *Artemia* adulta para el mercado de los aficionados a los peces tropicales (Sturm, Sanders y Allen, 1980). Posteriormente, la recolección pasó a centrarse en los quistes de *Artemia*, debido a la habilidad de los embriones latentes a ser utilizados en acuicultura comercial. La presión de la cosecha en esas primeras décadas se mantuvo baja y el manejo a cargo de la agencia supervisora gubernamental (División de Recursos de Vida Silvestre de Utah, UDWR, por sus siglas en inglés) así lo demostró. El manejo se limitó a un simple sistema de permisos y a pagos de pequeñas regalías. Sin embargo, la expansión paralela de la demanda comercial y la persistente recolección en el GSL a finales de la década de 1980 e inicios de la de 1990 (Kuehn, 2002), hicieron necesario un cambio en el manejo. La UDWR aumentó el valor de los permisos e hizo la temporada más corta. No obstante, el continuo aumento en la presión de la cosecha de *Artemia* a mediados de la década de 1990 preocupó a muchos en la actividad, quienes pidieron a la UDWR que considerara un manejo más activo de este recurso.

A medida que aumentaba la preocupación por la conservación, comenzó a formarse una cooperativa de manejo adaptativo. La UDWR formó un grupo asesor técnico multidisciplinario para examinar la información ecológica existente y orientar la investigación futura. La UDWR limitó el número de permisos a 79 en 1996 y acortó aún más la temporada de captura a cuatro meses (Stephens y Birdsey, 2002). Se inició un manejo de la captura que daba prioridad a una reserva mínima de quistes de *Artemia* que debían permanecer en el lago para repoblarlo en primavera. Las estimaciones de este mínimo eran rudimentarias y estaban sujetas a suposiciones y precauciones durante los primeros años debido a la escasez de datos de campo, pero la recopilación continua de datos pronto permitió desarrollar un modelo de manejo que correlaciona la densidad de quistes después de la captura con el pico de producción de quistes del año siguiente. El modelo se basa vagamente en la denominada curva de reclutamiento de poblaciones de Ricker (Ricker, 1954) y predice la producción óptima de quistes en otoño cuando quedan 21 quistes/L en el lago la primavera anterior (Belovsky y Perschon, 2019). Este modelo es adaptativo e incorpora datos de cada año, pero los cambios en el modelo a lo largo del tiempo han sido tan insignificantes que no han justificado modificar el umbral de 21 quistes/L para poner fin a la recolección. El modelo de manejo ha funcionado eficazmente durante dos décadas, pero es específico del GSL. El umbral de 21 quistes/L no es aplicable a otras poblaciones y especies de *Artemia* en sistemas lacustres y estanques diferentes, cada uno de los cuales requerirá programas de investigación individuales para establecer estrategias de manejo adecuadas.

La implementación de esta estrategia de manejo cooperativo adaptativo basado en la ciencia entre la industria del camarón de salmuera y los administradores de recursos ha dado lugar a una consistencia en el tamaño de la cosecha (Figura 10), después de un

período (décadas de 1980 y 1990) en el que el tonelaje de la cosecha era variable. Gracias al manejo cooperativo, se han satisfecho las necesidades de la ecología local, la economía local y la acuicultura mundial durante más de dos décadas, lo que supone una convergencia poco habitual de resultados positivos en el manejo de recursos naturales mediante un enfoque que incorpora el sistema lacustre en su conjunto y los intereses de las distintas partes interesadas.

FIGURA 10
Fluctuaciones anuales de la cosecha de quistes de *Artemia* (en peso seco final) en el Gran Lago Salado



Fuente: GSLBSC, Estados Unidos de América.

Manejo de los retos del ecosistema actual del Gran Lago Salado

Los servicios ecosistémicos locales y globales proporcionados por el Gran Lago Salado son, desafortunadamente, contrarrestados por los retos ecosistémicos tanto a nivel local como global. Casi 2.5 millones de personas viven en las zonas metropolitanas adyacentes y la cuenca del Gran Lago Salado todavía incluye agricultura extensiva, condiciones que afectan la cantidad y calidad del agua que llega al lago. El GSL es vulnerable al mismo daño ecológico que sufren otros lagos terminales en todo el mundo si el consumo sin control del agua continua. El uso acumulativo del agua ya ha reducido el volumen de agua en el Gran Lago Salado sustancialmente (Null y Wurtsbaugh, 2020), y aunque se prevé que haya un incremento en las precipitaciones por el cambio climático en Utah, un incremento de lluvia en lugar de nieve necesitará cambios en la infraestructura hídrica para mantener los caudales fluviales que desembocan en el lago. Si no hay control, la disminución de este caudal puede afectar la población de *Artemia* del GSL a través de un incremento en la salinidad y de una reducción del volumen del hábitat. Por suerte, recientes esfuerzos legislativos y de las partes interesadas ya han asegurado un aumento del caudal al GSL. También se están asignando presupuestos adicionales para infraestructura para mitigar estos problemas aún más.

La generación de polvo del lecho expuesto del GSL puede ampliar el efecto de la pérdida de agua más allá del ecosistema acuático, afectando la salud humana y la economía. El polvo de playas regionales se deposita en áreas urbanas y en la capa de nieve de las montañas (Goodman *et al.*, 2019), lo que afecta la salud respiratoria humana y acelera el deshielo de la capa de nieve en la cuenca hidrográfica del GSL (Skiles *et al.*, 2018), tal y como ha sido demostrado para otros lagos salados interiores en proceso de desecación (ver Recuadro 2 y Recuadro 3). Como resultado de las leyes federales y estatales que exigen la reducción de los vertidos contaminantes, la mayoría de los metales pesados han disminuido en los sedimentos del GSL desde 1950 y las recientes investigaciones científicas sistemáticas en curso están realizando un seguimiento de los contaminantes, como los metales pesados, en el ecosistema del GSL, pero hasta ahora han indicado niveles relativamente estables y bajos en la biota. No obstante, será necesario seguir prestando atención a las entradas de agua para evitar la generación excesiva de polvo.

Las diversas agencias y comités estatales de Utah están estudiando detenidamente los efectos ecológicos adversos de la reducción del caudal fluvial en las aguas abiertas del Gran Lago Salado y cómo mitigarlos. Otra herramienta importante para aplicar las recomendaciones de manejo derivadas de estos esfuerzos de colaboración es el dique de control construido en 2017, en la calzada ferroviaria que separa las bahías de Gilbert y Gunnison. El intercambio de salinidad entre las bahías se rige en parte por la elevación del dique y, a futuro, puede ajustarse según el modelo de balance de

masa (Loving, Waddell y Miller, 2000) para compensar los cambios en la elevación del lago, con una salinidad óptima de 120-160 g/L que proporciona un objetivo de manejo ecológicamente defendible para cualquier modificación del dique. Años de investigación en la bahía Gilbert han demostrado la alta capacidad de asimilación de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, de esta cadena alimentaria hipersalina única, lo que conduce rápidamente a una limitación de nutrientes en verano. Aunque la gran mayoría de los nutrientes circulan por los diferentes niveles tróficos del GSL y, por lo tanto, permanecen en el ecosistema, la preservación de los aportes de nutrientes es importante para la protección a largo plazo de la población de *Artemia* en el lago. Estas preocupaciones se están abordando mediante la investigación y la participación de las partes interesadas, coordinadas por la División de Calidad del Agua de Utah. La combinación del manejo de los nutrientes y la salinidad, ambos factores importantes del ecosistema, ha protegido a la población de *Artemia* contra los cambios en los niveles del lago resultantes del actual ciclo de sequía

Conclusiones
La población de *Artemia* del Gran Lago Salado es un componente crítico para el funcionamiento del ecosistema local y la producción acuícola global. Esta población ha sido examinada en detalle a través de programas de monitoreo a largo plazo y descrito brevemente en esta sección. Si bien el Gran Lago Salado comparte los mismos riesgos y amenazas que otros lagos salinos, el grupo de trabajo de usuarios públicos y privados con intereses a largo plazo en la salud continua del ecosistema del GSL ha provisto estrategias de manejo cooperativo que han mitigado exitosamente estos riesgos.

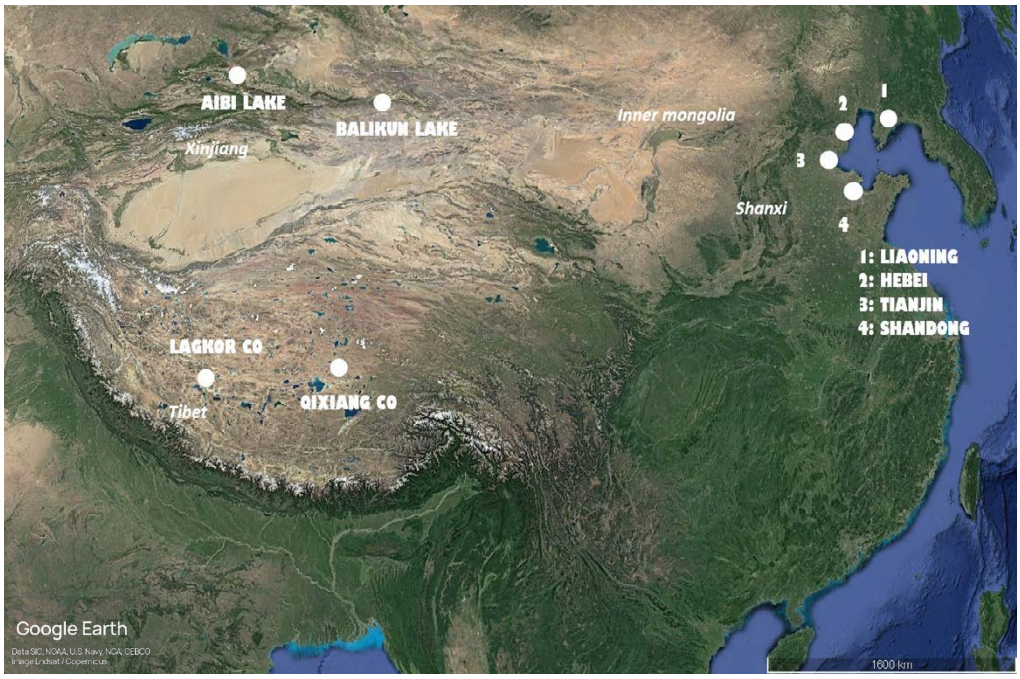
2.1.1.3. **Artemia** ***en la República Popular China*** (por *Liying Sui*)

En China, *Artemia* se encuentra en más de 100 hábitats naturales (incluyendo lagos salinos y salares costeros). Hay tres especies de *Artemia* que son nativas de China (p. ej., *Artemia sinica* y *A. tibetiana* y *A. sorgeloosi*) y varias poblaciones partenogénicas que han sido identificadas en lagos salados de China (Triantaphyllidis *et al*., 1994; Xin *et al*., 1994; Van Stappen, 2002; Zheng y Sun, 2013; Asem *et al*., 2023). *Artemia sinica* se encuentra en lagos salados del interior de Mongolia, en la provincia de Shanxi, y en el norte de la provincia de Hebei; *A. tibetiana* y *A. sorgeloosi* se distribuyen en la mayoría de los lagos salados del Tibet, mientras que otras áreas son dominadas por poblaciones de *Artemia* partenogénica. La cosecha comercial de los quistes de *Artemia* es generalmente llevada a cabo en los lagos salados internos (como el lago Aibi, lago Balikun, Qixiang Co, también conocido como Kyebxang Co, y otros lagos importantes) y en lagunas saladas costeras en la región de la bahía Bohai (Figura 11 y Figura 12).

El lago Aibi es el sitio de mayor producción de quistes de *Artemia* en China. La cosecha comercial en el lago Aibi comenzó en 1999, con la mayor cosecha anual de quistes crudos en el 2012 y 2016, mientras que la cosecha más baja (142 t) fue en el 2015 (Figura 12). La cosecha de quistes de *Artemia* en el lago Aibi fue prohibida por el gobierno desde 2017. Además, al ser un lago muy poco profundo (mín. 0,7-0,8 m, máx. 3 m), la salinidad (min. 45 g/L, máx. 240-250 g/L) del agua varía notablemente de una estación a otra y de año en año, con los cambios correspondientes en la superficie del lago (Figura 13) y en el desarrollo de la población de *Artemia*. La calidad de eclosión de los quistes del lago Aibi también difieren significativamente cuando se cosechan con salinidades <85 g/L o >180 g/L; generalmente se obtiene mejor calidad de eclosión de los quistes cuando estos son cosechados con una salinidad entre 120-150 g/L (Lámina 17).

También hay *Artemia* en los lagos salados en la meseta Qinghai-Tibet, donde el bajo nivel de oxígeno, la baja precipitación y alta radiación UV son los principales rasgos climáticos. La mayoría de los lagos salados en el Tibet, China, son aguas carbonatadas o sulfatadas, y están localizadas en las regiones de Nagqu y Ngari con una altitud

FIGURA 11
Principales sitios de cosecha de quistes de *Artemia* en China

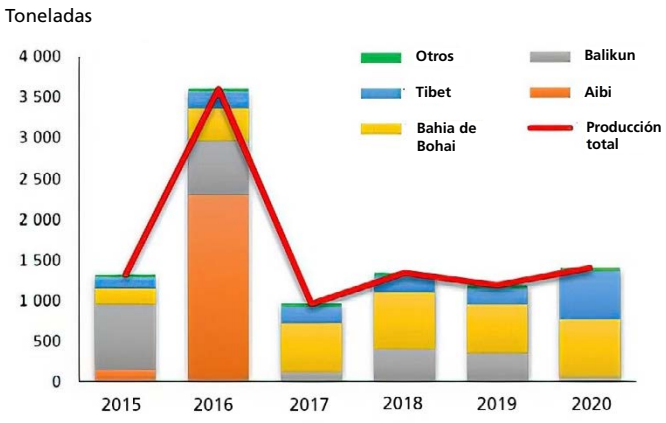


Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en este mapa.

Fuente: Google Earth visto en abril del 2023 y ARARC, China.

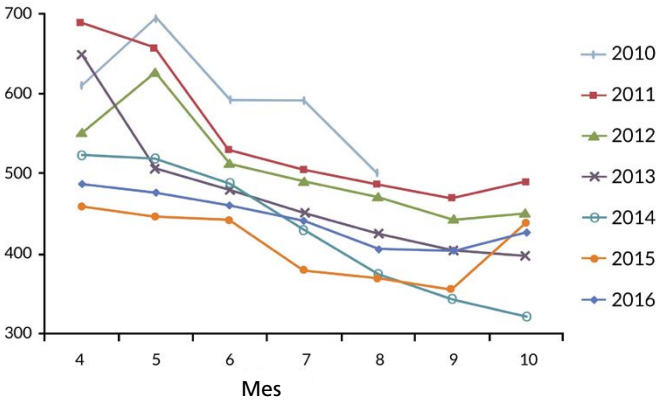
promedio entre 4 000-4 500 m (Zheng, 1997) (Lámina 18). En el 2020, el total de quistes crudos colectados en los lagos salados tibetanos (principalmente en Qixiang Co y Lagkor Co) alcanzó por encima de las 800 toneladas. La población de *Artemia* proveniente de Lagkor Co fue identificada como *A. tibetiana* en la década de 1990 (Abatzopoulos, Zhang y Sorgeloos, 1998) y la del lago Haiyan como *A. sorgeloosi* en el 2023 (Asem *et al*., 2023). No obstante, gracias a marcadores moleculares y la secuencia del genoma mitocondrial se descubrió que las poblaciones de *Artemia* en diferentes lagos salados del Tibet tenían algún tipo de diferencias (Wang *et al*., 2008). Los quistes de *Artemia* en Qixiang Co y Lagkor Co han sido cosechados y procesados comercialmente desde la década de 1990. En general, los quistes de *Artemia* procedentes de los lagos salados del Tíbet son más grandes, de color rojo oscuro y contienen niveles más altos de ácidos grasos altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés), es decir, ácido araquidónico (ARA), ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) (ver Sección 1.4.6), que otras especies y cepas de *Artemia*. Además, por lo general, se puede obtener una mejor separación entre las cáscaras de los quistes vacíos y los nauplios al eclosionar. Debido a estas características, las cepas tibetanas de *Artemia* satisfacen mejor las necesidades nutricionales y de producción de la cría de larvas de peces marinos (p. ej., el mero) y camarones (p. ej., *Litopenaeus vannamei*) (Xing *et al*., 2022; Liu *et al*., 2022). China

FIGURA 12
Quistes crudos de *Artemia* cosechados en los principales puntos de cosecha en China



Fuente: AAC, China.

FIGURA 13
Variación en la superficie del lago Aibi entre el 2010–2016



Fuente: Guo Yan, XARI, China.

tiene la mayor demanda de mercado de quistes de *Artemia* del mundo: cada año, la acuicultura china consume alrededor de 1 700 toneladas de producto seco (lo que representa aproximadamente el 50 % del consumo mundial de quistes). Los quistes de *Artemia* se utilizan principalmente en el cultivo de larvas de camarones peneidos, camarones de agua dulce (*Macrobrachium* sp.), cangrejos chinos (*Eriocheir sinensis*) y peces marinos (p. ej., mero, lenguado). Desde hace poco, los quistes de *Artemia* también tienen demanda en los criaderos de especies de caracoles (p. ej., el caracol dorado de agua dulce, *Pomacea canaliculata*) y el róbalo americano (p. ej., *Micropterus salmoides*). Si bien la producción nacional anual oscila generalmente entre 1 000 y 1 500 toneladas de quistes crudos (Figura 12), China es también el mayor importador mundial de quistes de *Artemia*: cada año se importan entre 2 000 y 3 000 toneladas de quistes crudos de *Artemia* de Kazajstán, la Federación de Rusia y

LÁMINA 17
Cosecha de quistes de *Artemia* en el lago Aibi en China



© Guo Yan, XARI

LÁMINA 18
Cosecha de quistes de *Artemia* en Qixiang Co



© Guo Yan, XARI

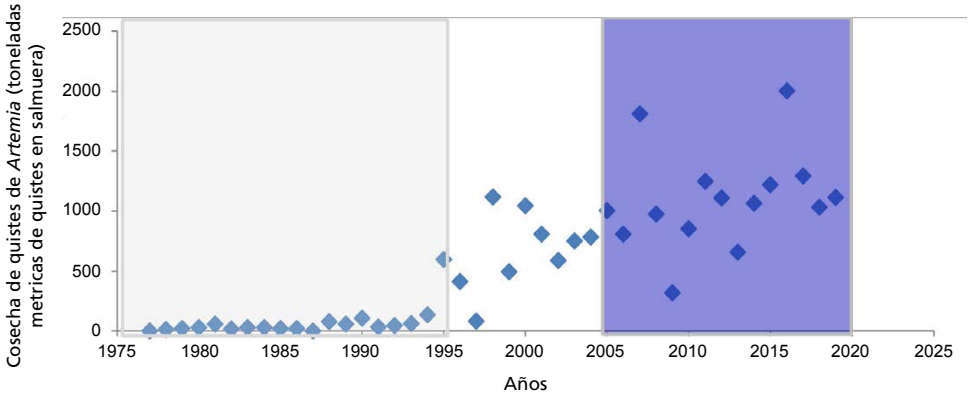
Uzbekistán. Además, China exporta anualmente entre 400 y 600 toneladas de quistes secos (información facilitada por la Asociación *Artemia* de China, Tianjin, China).

2.1.1.4. **Artemia *en los lagos de la Federación de Rusia*** (por *Liudmila Ilinichna Litvinenko*, *Alexander Ivanovich Litvinenko*, *Elena Grigoryevna Boyko*)

Historia de la explotación de Artemia *en la Federación de Rusia*

Los lagos hipersalinos de la Federación de Rusia con poblaciones conocidas de *Artemia* se encuentran en las zonas de estepa forestal, estepa y semidesérticas a lo largo de la frontera sur del país, principalmente en la zona que va desde los Urales hasta los montes Altái, pero también más allá de esta zona. Aunque se han registrado más de 100 lagos con población de *Artemia*, con una superficie total estimada de 1 600 km², solo una minoría de ellos se explota regularmente (Van Stappen *et al*., 2009; Litvinenko *et al*., 2015; Litvinenko, Litvinenko y Boiko, 2016). Esto se debe a las condiciones altamente fluctuantes del ecosistema de estos lagos salados, a menudo poco profundos, que solo en algunos años son lo suficientemente productivos como para permitir la recolección comercial. Los principales lagos comerciales se encuentran en las regiones de Altai, Kurgan, Omsk, Novosibirsk y Tyumen, en Siberia occidental. Los quistes de *Artemia* se cosechan en la Federación de Rusia desde la década de 1970. En general, en la historia de la explotación de los lagos rusos se distinguen tres períodos diferentes (Figura 14), como se explica a continuación. Es importante señalar que, a diferencia de otras zonas de recolección de *Artemia*, donde las cosechas de quistes se expresan generalmente como producto crudo (es decir, tal y como se recolecta del lago) o como producto seco (es decir, en salmuera, enjuagado con agua dulce y posteriormente secado), las cosechas en la Federación de Rusia se expresan como "quistes húmedos en salmuera", es decir, un producto crudo recolectado, enjuagado con salmuera y almacenado en salmuera para su denominado acondicionamiento (terminación de la diapausa). A lo largo de este texto, las cantidades recolectadas se indican como "quistes en salmuera".

FIGURA 14
Evolución de la cosecha de quistes de *Artemia* en la Federación de Rusia (toneladas de quistes en salmuera)



Fuentes: Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I., Boiko, E.G. y Kutsanov, K. 2015. *Artemia* cyst production in Russia. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(6): 1436–1450. https://doi.org/10.1007/s00343-015-4381-6
Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I. y Boiko, E.G. 2016. *Brine shrimp Artemia in Western Siberian lakes*. Novosibirsk: Nauka. 295 pp. (en Ruso).
Litvinenko, L.I., Bizikov, V.A., Kovacheva, N.P., Saenko, E.M., Vesnina, L.V., Kutsanov, K.V., Semik, A.M. y Parshin-Chudin, A.V. 2019. *Methodological recommendations for assessing the stock and forecasting the recommended volume of production (catch) of Artemia*. Moscow, Russian Federation, VNIRO Publishing House. 50 pp. (en Ruso) www.vniro.ru/files/publish/bizikov_artemii.pdf
Internet Resources of Federal Agency for Fishery. En Ruso. https://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika

1977–1994

La explotación se realizaba principalmente para satisfacer las necesidades nacionales de las piscifactorías de lo que entonces era la Unión Soviética. Parte del producto en forma de quistes también se utilizaba para peces de acuario y otra parte importante,

en la avicultura. El principal recurso era el lago Bolshoe Yarovoe, con una superficie de 67 km^2 (la exploración de los recursos de *Artemia* en la región de Altái comenzó en la década de 1980); ocasionalmente, también se realizaban recolecciones en otros lagos, como Maloe Yarovoe (Altái) y Siverga (Tiumén). Durante este periodo, las recolecciones anuales oscilaron entre 1 y 270 toneladas de quistes en salmuera, con una media de 65 toneladas, y un lento aumento hacia el final de este periodo.

1995–2004

Este período se caracterizó por la amenaza de una escasez mundial de quistes, relacionada con la disminución temporal de la producción de quistes en el Gran Lago Salado, en los Estados Unidos de América, lo que aumentó el interés comercial por la recolección de quistes en todo el mundo, incluida la Federación de Rusia. La disminución en el Gran Lago Salado impulsó el avance de la explotación comercial de los recursos de *Artemia* del país, desde grandes lagos altamente productivos, como Bolshoe Yarovoe y Kulundinskoe, hasta muchos lagos más pequeños dispersos por toda Siberia occidental, en la Federación de Rusia. Durante esos años se crearon varias empresas dedicadas a la recolección y el procesamiento de quistes. La recolección regular se llevó a cabo en 26 lagos con una superficie total de 1 130 km^2, repartidos por las cinco regiones de Siberia occidental (Altai, Kurgan, Omsk, Novosibirsk y Tiumén). Junto con el aumento del número de lagos explotados comercialmente, el volumen de quistes recolectados también aumentó hasta alcanzar entre 84 y 1 119 toneladas de quistes en salmuera al año (una media de 643 toneladas). Durante este período de considerable expansión, los quistes de la Federación de Rusia también aparecieron en los mercados mundiales. La mayor parte del producto se exportó a China.

2005–presente

La recolección se ha llevado a cabo en unos 70 lagos con una superficie total de 1 460 km^2, repartidos entre las cinco regiones mencionadas anteriormente y la región de Cheliábinsk, de los cuales entre 40 y 50 lagos son cosechados regularmente. El volumen de las cosechas de quistes ha aumentado aún más, alcanzando una media de 1 207 toneladas de quistes en salmuera. En los últimos cinco años, se han cosechado anualmente unas 1 500 toneladas de quistes en salmuera, con una cosecha récord de 2 000 toneladas de producto en salmuera en el 2016. Hasta 20 organizaciones participan en el proceso de recolección y operan en muchos lagos, principalmente los lagos Bolshoe Yarovoe, Maloe Yarovoe, Kuchukskoe, Ebeyty, Ulzhay, Medvezhye y Kulundinskoe, que son los más importantes para la recolección de *Artemia*. En general, no más del 10 % de los quistes recolectados se utilizan en el propio país, donde se emplean principalmente en el cultivo de larvas de esturión (diferentes especies del género Acipenser), el pez blanco corégono (*Coregonus*) y bagre (diferentes especies de *Clarias*). La mayor parte de los quistes se exportan en salmuera, principalmente a China, mientras que el resto se exporta como producto seco a países del sudeste asiático (Indonesia, Tailandia y Viet Nam), Europa y América Latina. Algunos de los quistes también se utilizan para peces de acuario y en la industria cosmética y farmacéutica.

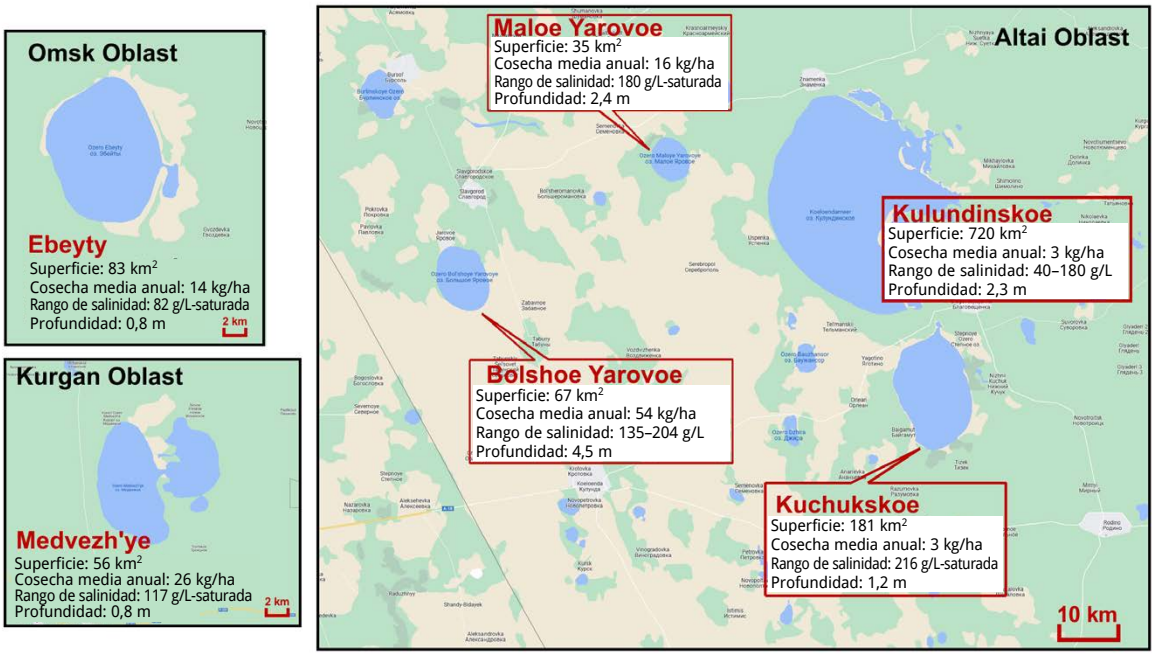
Características de las poblaciones de Artemia *en la Federación de Rusia y estado actual de explotación*

De cerca de 100 lagos con poblaciones conocidas de *Artemia*, solo entre 20-30 de ellos son de importancia comercial permanente. En los otros lagos, no hay cosecha regular o no hay cosecha por su inestable productividad o su ubicación dentro de una reserva natural u otra área protegida.

Actualmente, los lagos comerciales principales (Bolshoe Yarovoe, Medvezhye, Maloe Yarovoe, Ebeyty, Kulundinskoe y Kuchukskoe) producen el 83 % de la totalidad de quistes cosechados en el país. El lago más grande, el lago Kulundinskoe (720 km^2), si bien es el más productivo, es el lago de agua profundas Bolshoe Yarovoe

FIGURA 15

Lagos en la Federación de Rusia – en las regiones de Altai, Omsk y Kurgan ("oblast") – con la mayor importancia comercial para la explotación de *Artemia*; la producción está reportada en quistes en salmuera



Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en estos mapas.

Fuentes: Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I., Boiko, E.G. y Kutsanov, K. 2015. Artemia cyst production in Russia. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(6): 1436–1450. https://doi.org/10.1007/s00343-015-4381-6

Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I. y Boiko, E.G. 2016. *Brine shrimp Artemia in Western Siberian lakes*. Novosibirsk: Nauka. 295 pp. (en Ruso).

Litvinenko, L.I., Bizikov, V.A., Kovacheva, N.P., Saenko, E.M., Vesnina, L.V., Kutsanov, K.V., Semik, A.M. y Parshin-Chudin, A.V. 2019. *Methodological recommendations for assessing the stock and forecasting the recommended volume of production (catch) of Artemia*. Moscow, Russian Federation, VNIRO Publishing House. 50 pp. (en Ruso) www.vniro.ru/files/publish/bizikov_artemii.pdf

Google Earth visto en Abril 2021.

con una cosecha promedio anual de 54 kg/ha de quistes en salmuera, seguido del lago Medvezhye (26 kg/ha) de los lagos Maloe Yarovoe y Ebeyty (16 y 14 kg/ha, respectivamente). Los lagos Kulundinskoe y Kuchukskoe (Figura 15) tienen la menor productividad, con cosechas de cerca de 3 kg/ha.

Los biotopos más inestables, con una variación interanual significativa de la salinidad, se encuentran en los lagos Kulundinskoe y Ebeyty, donde la salinidad puede fluctuar entre cuatro y cinco veces en diferentes años; en los demás lagos, la variabilidad es menor, aproximadamente entre 1,5 y tres veces.

Debido a que estos lagos se extienden principalmente a lo largo de una zona geográfica longitudinal, presentan diferentes dinámicas estacionales (p. ej., el régimen de temperaturas), lo que determina el ciclo de vida y el período de desarrollo de sus respectivas poblaciones de *Artemia*: el período en el que se pueden encontrar etapas activas de *Artemia* suele ser de unos 180 días en los lagos del oeste de Siberia, en la Federación de Rusia, es decir, desde la segunda quincena de abril hasta los primeros diez días de octubre. Además, otras condiciones varían considerablemente, como la profundidad (desde 0,3 a 4,5 m); salinidad promedio anual (70-250 g/L); superficie (0,3 a 1 300 km²); y composición de sal (cloruro para la mayoría de los lagos; sulfato en los lagos Ebeyty y Kuchukskoe; carbonato en los lagos Tanatar y Petukhovskoe). Como resultado del régimen climático y de las variaciones de temperatura entre años, el número de generaciones de *Artemia* en estos lagos puede variar entre 1 y un máximo de 4. En consecuencia, la fecundidad de las hembras a lo largo de toda su vida también puede presentar variaciones considerables.

Las poblaciones partenogenéticas predominan en los lagos salados. Sin embargo, también se han encontrado algunas poblaciones bisexuales, algunas de las cuales

pertenecen a las especies *Artemia sinica* y *A. amati*, mientras que para otras aún no se ha determinado completamente su condición de especie bisexual (Van Stappen *et al.*, 2009; Shadrin y Anufriieva, 2012; Litvinenko *et al.*, 2015, 2018; Asem *et al.*, 2023).

Procedimientos de recolección/procesamiento y política de explotación

La recolección de *Artemia* ha estado regulada en la Federación de Rusia desde 2002. El seguimiento de las reservas de quistes de *Artemia* se realiza cada año, tal y como se describe a continuación, lo que da como resultado una previsión de las cantidades recolectables para el año siguiente.

En lagos poco profundos, la recolecta de quistes es realizada principalmente de forma manual en la zona costera; solo en el lago Bolshoe Yarovoe la cosecha se hace desde la superficie del agua usando botes y bombas (Figura 19). El lavado primario de los quistes con salmuera del lago se lleva a cabo en la costa inmediatamente después de la cosecha, luego los quistes son puestos en bolsas y enviados a almacenamiento en frío (con temperaturas entre 0 y -20 °C) para su posterior procesamiento. La duración del almacenamiento en frío puede depender del momento en que se realicen los siguientes procedimientos de procesamiento, pero generalmente los quistes se mantienen por cerca de 6 meses en una bodega fría para asegurar la finalización de la diapausa (=acondicionamiento). Durante este período, se monitorea regularmente la calidad de la eclosión, tras lo cual se decide el procesamiento posterior, el cual incluye el lavado en agua dulce, la desinfección (tratamiento con hipoclorito) y el secado (Figura 19). Sin embargo, además de la exportación de quistes secos, la mayoría son enviados a los países consumidores como quistes lavados con salmuera. De estos, China es el más importante. En la Federación de Rusia, la recolección y el comercio de *Artemia* están controlados y regulados por la Agencia Federal de Pesca (Rosrybolovstvo), que en 2009 reconoció oficialmente los recursos nacionales de *Artemia* como un tipo valioso de recursos biológicos. Rosrybolovstvo supervisa el control de las poblaciones pesqueras (incluida *Artemia*) y también expide licencias de recolección y exportación. La institución científica subordinada a Rosrybolovstvo es el Instituto Federal Ruso de Investigación Pesquera y Oceanográfica (VNIRO), que supervisa las poblaciones de quistes de *Artemia*, formula recomendaciones para evaluar las poblaciones y determina los volúmenes de recolección recomendados (Litvinenko *et al*., 2019). La esencia de esta metodología de evaluación consiste en determinar la población total de quistes en todo el ecosistema lacustre (incluido el fondo, la columna de agua, las acumulaciones costeras y los quistes dentro de los sacos de cría de las hembras, con una extrapolación para las etapas más jóvenes observadas durante el período de seguimiento). Las fórmulas para calcular la población total y las cantidades explotables tienen en cuenta el número de generaciones que se esperan en ese año y condiciones como la salinidad y la profundidad del agua. El volumen explotable recomendado se establece para el año siguiente y se define como la diferencia entre la población total estimada y la población de quistes necesaria para la reproducción de *Artemia* durante el año siguiente.

El período de cosecha es regulado por el Ministerio de Agricultura. En Siberia occidental, la cosecha de quistes está prohibida desde diciembre hasta mayo/junio. La cosecha de la biomasa de *Artemia* está prohibida desde agosto a octubre. Si bien la cosecha sin permiso está prohibida, la pesca ilegal es importante, ya que los lagos salados de Siberia occidental están en zonas escasamente pobladas que se extienden cerca de 1 400 km. Sin embargo, a raíz de la inclusión de los quistes en la lista de recursos biológicos estratégicamente importantes mediante un decreto por parte del gobierno de la Federación de Rusia, recientemente se ha reforzado la aplicación de la legislación y ha disminuido la pesca ilegal.

LÁMINA 19

Cosecha de quistes de *Artemia*

Desde la costa (a, b) o en bote(c); separación en salmuera con agua del lago y tamizado (d, e); almacenamiento de los quistes en frío (f); lavado y limpieza de los quistes en agua dulce (g); centrifugado del agua (h), secado(i) y empaquetamiento (j)



© Arsal LLC

RECUADRO 2

Cómo los cambios ecológicos en los lagos salados interiores pueden crear oportunidades para la explotación de *Artemia*

por *Philippe Léger* y *Eddy Naessens*

Durante la década de 1980 y la primera mitad de la década de 1990, casi todas las necesidades de quistes de *Artemia* para el emergente mercado de criaderos de camarones y peces marinos fueron satisfechas por el Gran Lago Salado (GSL), Utah, Estados Unidos de América (Lavens y Sorgeloos, 2000). En el invierno de 1994/95, la cosecha de *Artemia* en el GSL sufrió un descenso constante hasta menos de la mitad de la cosecha de la temporada 1991/92, lo que amenazaba el cumplimiento de las crecientes necesidades del mercado. La situación llevó a INVE Acuicultura Bélgica, a explorar nuevas fuentes de *Artemia*. Como primer paso, la empresa creó un grupo de trabajo dedicado a *Artemia*. Su misión era identificar los lugares de producción natural de *Artemia*, caracterizar el producto, evaluar su potencial comercial, investigar la ecología de los recursos y evaluar los parámetros para una recolección sostenible, así como establecer la infraestructura y los equipos locales para la recolección y el procesamiento del producto local.

En enero de 1995, el grupo de trabajo INVE *Artemia* identificó un inmenso depósito de salmuera (18 000 km²) conocido como Kara-Bogaz Gol en Turkmenistán, como un potencial nuevo recurso de *Artemia*. El golfo (traducido como "garganta oscura") está conectado con el Mar Caspio a través de un canal natural en el istmo que separa estas dos masas de agua (ver Lámina A). Dado que el nivel del agua en el mar es más alto que en el golfo, se creía que esta abertura era la razón por la que el nivel del mar Caspio estaba bajando desde la década de 1930. Como solución, en 1980 se cerró la abertura entre el mar Caspio y el golfo con una represa. La consecuencia de esta intervención fue que el golfo, situado en un clima extremadamente árido, se secó por completo (ver láminas de la página 37), mientras que las tormentas de sal provocaron causaron problemas medioambientales y de salud en toda la región. En 1992, cuando el nivel del mar Caspio volvió a subir, se abrió la presa. La entrada de agua en el golfo provocó la disolución

RECUADRO 2 (CONTINUACIÓN)

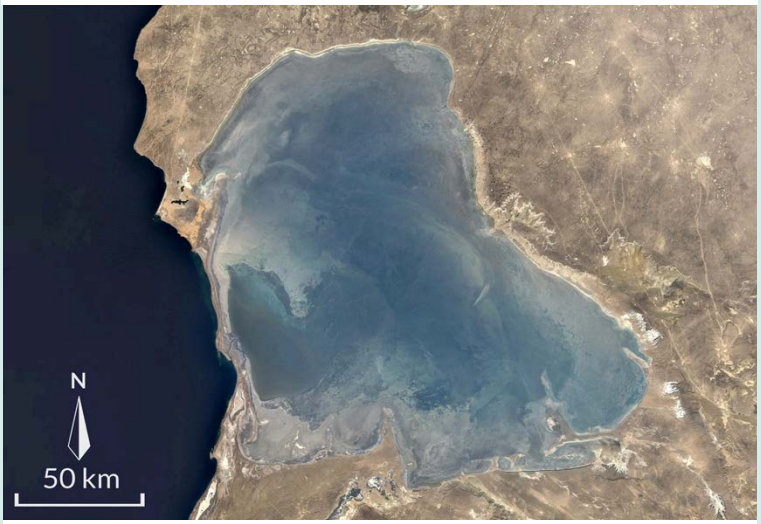
gradual de la enorme costra de sal. En enero de 1995, cuando el lugar entró en escena para la exploración de *Artemia*, los niveles de agua a ambos lados de la presa eran casi iguales y la salinidad del golfo era de unos 180 g/L. Esto propició el desarrollo de una población de *Artemia* y, durante unos años, el Grupo de Trabajo de *Artemia* del INVE pudo recolectar y procesar varios cientos de toneladas de producto crudo al año. No obstante, la ventana de oportunidad era muy estrecha ya que el flujo del agua al mar Caspio disminuyó, la costra salina del fondo se disolvió y la salinidad volvió a aumentar hasta niveles en los que la población de *Artemia* dejó de reproducirse; en consecuencia, las cosechas se detuvieron a principios de siglo.

Vistas satelitales (2020) con la ubicación de Kara-Bogaz-Gol como un golfo del Mar Caspio (a) con el istmo que los separa (b) y el canal que los conecta (c)



Fuente: Google Earth visto en Febrero 2020.

Vista satelital de Kara-Bogaz-Gol seco en 1987



Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en estos mapas.

Fuente: Google Earth visto en Junio 1987.

Durante su presencia en Turkmenistán, el mismo grupo de trabajo también exploró otros sitios en las costas del mar Caspio, y finalmente también exploró el mar de Aral, a unos 500 km al noreste de Kara-Bogaz Gol. En un momento dado, a mediados del siglo XX, el mar de Aral, que era el mayor lago salobre interior y zona de pesca de la entonces Unión Soviética, sufrió un cambio catastrófico como consecuencia del desvío de sus ríos afluentes para fines de riego agrícola. A lo largo de décadas, el mar de Aral se secó gradualmente y su salinidad aumentó (Mirabdullayev *et al.*, 2004; Aladin *et al.*, 2018). En 1997 se inició la exploración de *Artemia* y su presencia se documentó por primera vez en 1998 (Arashkevich *et al.*, 2009). El INVE llevó a cabo un estudio ecológico (como ya había hecho en Kara-Bogaz Gol), en colaboración con la Academia de Ciencias de Uzbekistán, el Instituto Karakalpak de Bioecología y la Universidad de Gante, al que siguió un programa financiado por la OTAN sobre la explotación sostenible de los recursos de *Artemia* del mar de Aral (Marden *et al.*, 2012). En la actualidad, todavía se cosechan más de 100 toneladas de producto crudo al año.

El cambio de *Artemia* "solo del Gran Lago Salado" a *Artemia* de Kara-Bogaz Gol, del mar de Aral y de otros recursos también implicó un cambio del uso de *Artemia franciscana* a una variedad de cepas partenogenéticas con características de calidad a veces muy diferentes. En consecuencia, esto requirió, en ocasiones, la elaboración de distintos procedimientos de procesamiento y aplicación. Es innegable que la exploración y el uso de recursos de *Artemia* distintos de GSL han aumentado, diversificado y estabilizado significativamente el suministro mundial de quistes desde principios de la década de 2010.

RECUARDO 3

Pasado, presente y futuro de *Artemia* en el lago Urmia, en la República Islámica del Irán

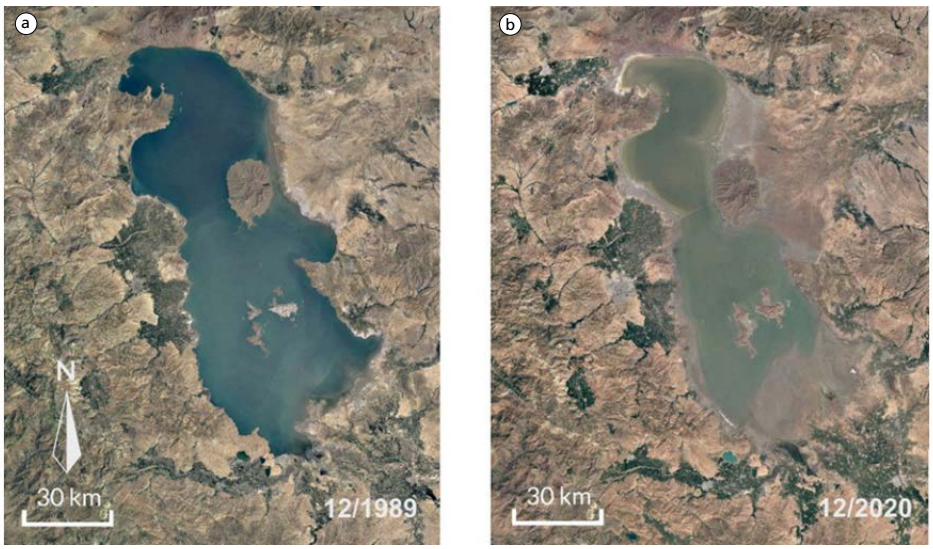
por *Naser Agh*

Ubicado al noroccidente de la República Islámica del Irán, el lago Urmia tiene una superficie de 5 500 km² y es hogar de *Artemia urmiana*, la cual coexiste con una población partenogénica local (Agh *et al.*, 2007). El área es un humedal único para miles de aves migratorias y aves locales, y está inscrito como un sitio Ramsar (Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas) y es conocida como Reserva de la Biósfera de la UNESCO. Según un estudio de evaluación de la población realizado a mediados de la década de 1990, la producción natural de quistes de *Artemia* solía superar unos pocos miles de toneladas de producto bruto al año, por lo que se consideraba un importante recurso natural de *Artemia*, especialmente para la acuicultura en el país y la región (Van Stappen, Fayazi y Sorgeloos, 2001).

No obstante, hacia el fin de la década de 1990, los efectos del cambio climático y la intervención humana empezaron a mostrarse, causando daños severos al lago y sus ecosistemas. El ingreso de agua dulce disminuyó cada año, mientras que la evaporación incrementó gradualmente, lo que dio lugar a que el lago se redujera en aproximadamente 10 % de su volumen anterior de agua (ver las láminas de la página 39). Una nueva evaluación del recurso, llevada a cabo a inicios de la década del 2000, estimó que la producción anual había disminuido 30 veces en comparación con la década de 1990. El agua del lago se saturó en salmuera y la población de *Artemia* desapareció totalmente por unos 10 años. Finalmente, el total de sólidos disueltos del agua del lago subió a niveles por encima de 500 g/L, ya que el principal componente salino del lago cambió de NaCl a cloruro de magnesio ($MgCl_2$). Miles de millones de toneladas de sal se precipitaron al lecho del lago, cambiando su geomorfología y convirtiéndolo en una playa poco profunda.

Con el aumento del flujo de agua dulce a partir de 2019, atribuido principalmente al aumento de las precipitaciones, los quistes de *Artemia* enterrados en la sal comenzaron a eclosionar de nuevo y, desde entonces, se ha vuelto a observar una población relativamente densa de *Artemia* en el lago. Sin embargo, la esperanza de vida de estas *Artemia* se ha reducido a entre tres y cuatro meses debido a la rápida evaporación en la temporada estival y a la concentración de sal en el agua, que sigue siendo relativamente alta. Durante 2019-2020, la producción anual de quistes de *Artemia* en el lago Urmia se estimó en unas 200 toneladas de producto bruto, pero no se permitió la recolección comercial. La producción de *Artemia* se recolecta del lago con un ecosistema que se ha vuelto sensible y frágil, y depende en gran medida de la entrada anual de cantidades suficientes de agua dulce para reducir temporalmente la salinidad del agua, lo que permite a los animales completar su ciclo de vida.

Vista satelital del lago Urmia en 1989 (a) y 2020 (b)



Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en estos mapas.

Fuente: Google Earth visto en diciembre 1989 (izquierda) y diciembre 2020 (derecha).

RECUADRO 3 (CONTINUACIÓN)

El calentamiento global, la expansión poco científica y descontrolada de las actividades agrícolas y la extracción incontrolada de aguas subterráneas están provocando que la República Islámica del Irán sufra graves crisis hídricas que afectan al medio ambiente y a muchos de sus humedales, incluido el lago Urmia. El futuro del ecosistema del lago y de sus poblaciones de *Artemia* es muy incierto y depende en gran medida de la política futura del gobierno y de los métodos que adopte para resolver este problema. En 2006, en una conferencia internacional organizada en la Universidad de Urmia, un grupo de expertos científicos propuso conjuntamente una estrategia para el manejo adaptativo y la rehabilitación del lago, tratando de restaurar uno de menor tamaño (unos 2 800 km^2), similar a lo que se ha realizado en una zona del antiguo lago Aral, en Kazajistán, creando un ala sur y un ala norte. Si se aplica el plan, la salinidad en el ala sur se mantendrá en unos 120 g/l, mientras que el ala norte seguirá saturada de salmuera. Este programa facilitaría una producción anual estimada de unas 1 000 t de quistes de *Artemia* en bruto en el ala sur, y el ala norte podría utilizarse como una enorme fuente de extracción de NaCl y otros minerales.

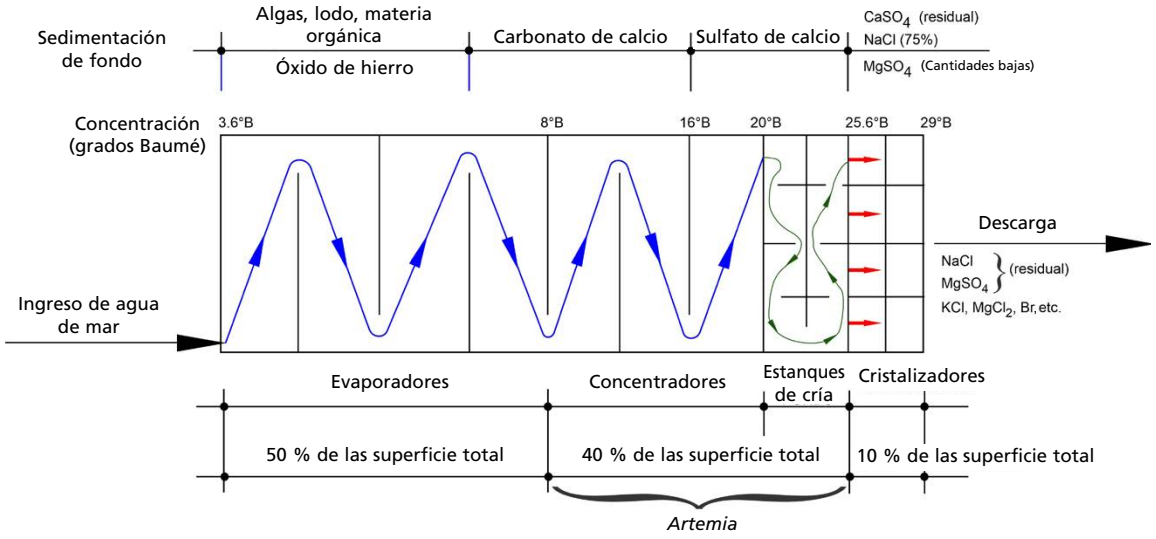
2.1.2. Operaciones permanentes de salinas solares (por *Hector Teruel*)

2.1.2.1. Principios de la producción solar de sal

Las salinas solares son empresas en las cuales el agua de mar u otra con alta salinidad, como el agua salada subterránea, es introducida en una serie de estaques interconectados, sea por bombeo o gravedad (debido a las diferencias de marea a diferentes niveles) a una serie de estanques interconectados, dónde la salinidad del agua incrementa a través de la evaporación por el sol. Estos estanques son llamados evaporadores, concentradores, pre cristalizadores (o estanques de cría) y cristalizadores, dependiendo del grado de salinidad que se mantenga en estos compartimentos del sistema (Figura 16).

En consecuencia, las sales disueltas comienzan a precipitarse (cristalizarse) según su solubilidad específica en un proceso conocido como precipitación fraccionada (Figura 17). A medida que aumenta la salinidad, las sales con baja solubilidad, como los carbonatos y los sulfatos, precipitan primero. Una vez que el agua de mar se ha evaporado hasta aproximadamente una décima parte de su volumen original y ha alcanzado el "punto de salinización", la denominada "salmuera madre" se bombea a los

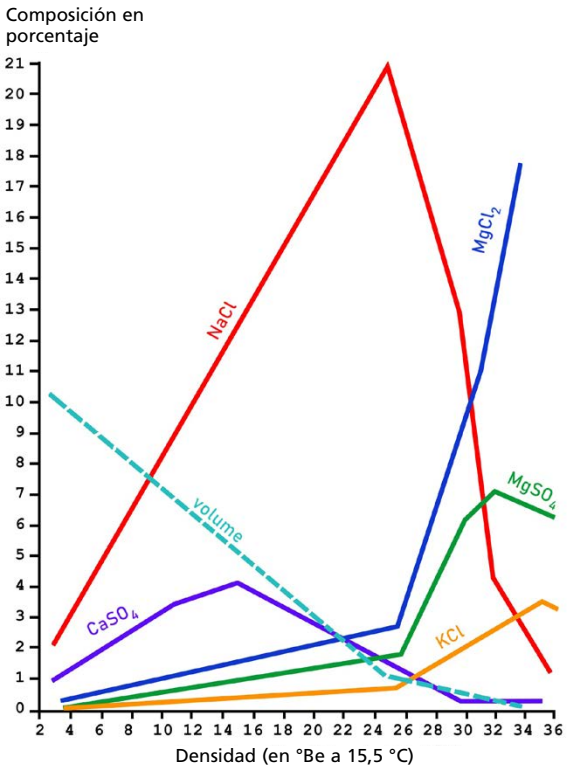
FIGURA 16
Diseño general de las salinas solares



Fuente: Bradley, H.L. y Venkatesh Mannar, M.G. 1984. *Guidelines for the establishment of solar facilities from seawater, underground brines and salted lakes*. UNIDO/IS.330/REV.1. https://downloads.unido.org/ot/47/93/4793176/10001-15000_12271.pdf

cristalizadores, donde se precipita el NaCl. Esta sal representa el 79 % del total de sales por litro de agua de mar, siendo el $MgCl_2$, el sulfato de magnesio ($MgSO_4$), el cloruro de potasio (KCl), el cloruro de calcio ($CaCl_2$), los carbonatos de calcio ($CaCO_3$) y los bromuros las otras sales más importantes (Bradley y Venkatesh Mannar, 1984).

FIGURA 17
Cristalización fraccionada de sales



Fuente: Bradley, H.L. y Venkatesh Mannar, M.G. 1984. *Guidelines for the establishment of solar facilities from seawater, underground brines and salted lakes*. UNIDO/IS.330/REV.1. https://downloads.unido.org/ot/47/93/4793176/10001-15000_12271.pdf

2.1.2.2. El funcionamiento permanente de las salinas solares

Se encuentran salinas solares permanentes en áreas geográficas donde las condiciones climáticas permiten su operación todo el año. Los factores más favorables son poca precipitación anual, vientos fuertes, suelos impermeables y una salinidad apropiada a la entrada del primer estanque de evaporación (Bradley y Venkatesh Mannar, 1984). Los salares permanentes son generalmente altamente mecanizados y pueden ser clasificados de acuerdo con su tamaño, desde pequeñas (10 000-50 000 toneladas de producción de sal/año), medianas (50 000-100 000 t/año), y grandes; por ejemplo, las salinas de Australia, Brasil y Francia, que producen más de un millón de toneladas de sal de alta calidad al año). En este tipo de salinas, el tamaño de los estanques puede variar de unas pocas hectáreas a varios cientos de hectáreas, cada uno con una profundidad de entre 0,5 m y 1,5 m.

Las características geométricas de estas operaciones son variables, pero generalmente siguen una serie de reglas que permiten optimizar la estructura de las superficies de evaporación y, por lo tanto, alcanzar la máxima eficiencia. Los estanques de evaporación, que tienen la salinidad más baja, suelen ser los más grandes del circuito, ya que el agua con menor salinidad tiene una mayor tasa de evaporación debido a su menor tensión superficial en comparación con el agua de mayor salinidad. Las dimensiones de los estanques y su organización espacial (Lámina 20) están diseñadas de tal manera

LÁMINA 20
Salinas de Salin-de-Giraud, Francia (a), y salinas en Bonaire, San Eustaquio y Saba (b): estanques de baja salinidad en verde; y cristalizadoras en rojizo



Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en estos mapas.

Fuente: Google Earth visto en Marzo 2022.

que el agua se ve obligada a fluir a lo largo de la ruta más larga posible por unidad de superficie, en la que la salida de cada estanque del circuito mantiene una salinidad y un desbordamiento constante. Este flujo continuo es lo que distingue a una salina permanente de una salina que opera estacionalmente. Después de pasar por la zona de evaporación y la zona de concentración posterior, el agua de alta salinidad, o salmuera, ha alcanzado concentraciones cercanas a la saturación de cloruro de sodio. A lo largo del recorrido del agua, se han precipitado fraccionalmente sales como carbonatos, óxidos de hierro y yeso (sulfato de calcio dihidratado, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), y la salmuera contiene ahora entre 270 y 285 g/L de sales totales (o, convertido a los llamados grados Baumé, que expresan la densidad: 22-23 ºBé; ver Anexo 1. En este punto, la salmuera se bombea a estanques de cría más profundos, donde se deja el yeso varios días para que se supersature y precipite lo máximo posible. Cuando la salmuera alcanza el punto máximo de saturación (25.6 ºBé o 314 g/L) e inicia la precipitación del cloruro de sodio, esta se drena por gravedad a los estanques de cristalización, donde se forman "pisos de sal" que están listos para la recolección. Esta zona de cristalización suele ocupar el 10% o más de la superficie total de la salina, según la salinidad inicial del agua de mar que entra en el primer estanque evaporador. Los estanques de cristalización son de forma regular y con un fondo sólido para facilitar las operaciones de cosecha y las maniobras de los pesados equipos de cosecha y transporte. Cuando la capa de sal del fondo del cristalizador alcanza un determinado espesor (que depende del clima) y la salmuera tiene una densidad de hasta 29 ºBé (375 g/L de sales totales), esta última se drena hacia el mar o hacia estanques de salmuera, cuando no es posible o no está permitido el drenaje directo de las salmueras residuales al medio marino. La costra de sal se recoge mecánicamente y se transporta a la fábrica para su lavado y procesamiento. Luego del lavado, la pureza final del cloruro de sodio puede alcanzar hasta el 99.5 %, con cantidades mínimas de iones de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y sulfatos (SO_4^{2-}) en el producto.

2.1.2.3. Aspectos biológicos de salinas solares y el rol de Artemia

Las salinas no deben considerarse únicamente como una fábrica de sal, sino también como un ecosistema que debe gestionarse con mucho cuidado para lograr un estado saludable permanente (Davis, 2000, 2009). Un manejo adecuado garantiza que cada zona, compuesta por estanques con una salinidad similar, desarrolle una flora y fauna específicas e interactivas evitando desequilibrios hidrobiológicos que podrían afectar negativamente a la producción de sal en términos de cantidad y/o calidad.

En una salina que funciona de manera óptima, las alfombras bentónicas formadas por conglomerados de algas unicelulares contribuyen a mantener la oxigenación de la columna de agua, controlan el pH para evitar la acidez del entorno biológico y ayudan a sellar el fondo de los estanques evitando fugas de salmuera a través del subsuelo. En la columna de agua, el fitoplancton se desarrolla normalmente en monocultivos de una sola especie o de pocas especies, dependiendo de la salinidad y otras condiciones del estanque, y estas prevalecen sobre otras especies debido a la competencia por los nutrientes, lo que contribuye a las diferencias de color de los distintos estanques del sistema. La alta densidad de células de algas favorece la coloración de la salmuera, lo que aumenta la tasa de evaporación mediante una mayor absorción calórica y una menor reflexión de los rayos solares.

Artemia es otro factor vital para el equilibrio de este sistema: es la especie de zooplancton más abundante o la única que suele aparecer de forma natural en las salinas permanentes, normalmente con una salinidad de entre 12 y 21 ºBé (aproximadamente 120-240 g/L). En las salinas, *Artemia* no debe considerarse únicamente como un valioso producto secundario. La presencia de *Artemia* también influye en la calidad y la cantidad de la sal. Por lo tanto, el control y el manejo adecuados de las poblaciones de camarones de salmuera son importantes para mantener el equilibrio ecológico del sistema de producción de sal y, por lo tanto, mejorar la rentabilidad de la explotación

salina, incluso en situaciones en las que la biomasa de *Artemia* y el rendimiento de los quistes son relativamente bajos (Davis, 2000, 2009). En primer lugar, debido a su comportamiento de filtrado no selectivo, *Artemia* ingiere microalgas que podrían convertirse en un factor desequilibrante si sus poblaciones no se regulan mediante la alimentación de *Artemia*. En las salinas, las proliferaciones de algas son comunes, sobre todo debido al aumento de la concentración de nutrientes por la evaporación. La presencia de algas en estanques de baja salinidad es beneficiosa, ya que su coloración favorece la evaporación. Sin embargo, a salinidades elevadas, si están presentes en grandes cantidades, las algas y, más concretamente, sus excreciones orgánicas disueltas y productos de descomposición, impedirán la precipitación temprana del yeso debido al aumento de la viscosidad del agua. En este caso, el yeso, que se precipita demasiado tarde en los cristalizadores junto con el cloruro de sodio, contaminará la sal, reduciendo así su calidad. Además, las acumulaciones de algas moribundas, que se vuelven negras cuando se oxidan, también pueden contaminar la sal y ser la causa de la producción de pequeños cristales de sal. En situaciones extremas, la viscosidad del agua puede llegar a ser tan alta que la precipitación de la sal se inhibe por completo y los copos de sal se acumulan en la superficie del agua.

Adicionalmente, las fecas de *Artemia* se hunden hasta el fondo del estanque, donde favorecen el crecimiento de las alfombras del fondo. Los metabolitos de *Artemia* y la biomasa en desintegración, luego de la mortalidad por falta de alimento o choques osmóticos cuando *Artemia* entra con el flujo de agua a los precristalizadores y cristalizadores (22-25 °Bé o cerca de 260-310 g/L sales totales), son un sustrato para la proliferación de poblaciones de arqueas halofílicas y bacterias, tales como las pertenecientes al género Halobacterium. Esta microbiota colorea el agua de estos estanques de un intenso color rosa-anaranjado, debido a la alta concentración de carotenoides como, por ejemplo, la bacterioruberina, en las vacuolas de su citoplasma. Esta coloración permite una mayor absorción calórica que aumenta la temperatura del agua generalmente entre 7-8 °C, pero a veces hasta 15 °C. Esto estimula la evaporación a pesar de la alta tensión superficial del líquido. Sin este color intenso, la evaporación se ralentizaría, reduciendo la producción en la zona de cristalización. La proliferación de esta microbiota halófila también reduce las concentraciones de materia orgánica disuelta en la salmuera. Esto, a su vez, conduce a niveles de viscosidad más bajos, lo que favorece la formación de cristales de sal más grandes y, por lo tanto, mejora la calidad de la sal (Davis, 2000, 2009).

La densidad poblacional de *Artemia* depende generalmente de las condiciones locales del momento, tales como la disponibilidad de alimento, la temperatura y la salinidad (ver Recuadro 4). La disponibilidad de instalaciones de bombeo y canales de entrada podría permitir la manipulación de la ingesta de nutrientes y la salinidad y, en ocasiones, la fertilización puede aumentar los rendimientos. No obstante, dado el tamaño de estas operaciones, este tipo de manipulación puede tener un efecto limitado en el tiempo o en el espacio, y normalmente el número de animales por unidad de volumen o de superficie es bajo. Además, las condiciones bastante estables que prevalecen en los estanques de estas salinas suelen dar lugar a poblaciones estables de *Artemia*, en las que predomina el modo de reproducción ovovivíparo, lo que conduce a una disminución del rendimiento de los quistes, como se describe, por ejemplo, en las salinas del noreste de Brasil (ver Recuadro 5). *Artemia* también se puede cultivar utilizando recursos hídricos no convencionales, como las aguas subterráneas saladas, como se hace en la República Islámica del Irán (ver Recuadro 6).

RECUADRO 4

Manejo biológico de la salina Sama Salt Company, Al Aryam, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos

por *Hector Teruel*

Debido a las condiciones oligotróficas del agua del Golfo Pérsico, especialmente en los entornos locales de "sabkha" (marismas costeras), las salmueras de los cristalizadores permanecían completamente transparentes, lo que impedía una evaporación y cristalización óptimas como consecuencia de la intensa tensión superficial y la reflexión de un alto porcentaje de la radiación incidente sobre el fondo salino blanco.

Mediante la fertilización con urea y superfosfato triple, con una proporción N:P (nitrógeno/fósforo) de 5:1, se desarrollaron microalgas en los primeros evaporadores. Cuando su concentración fue suficiente, el agua se transfirió por rebosamiento a los evaporadores, donde la salinidad del agua era de 110 g/L o más (10 °Bé). En estos evaporadores, también se realizó una inoculación repetida de nauplios de *Artemia franciscana* de la cepa Vinh Chau (Viet Nam), que al cabo de un mes se convirtieron en una densa población compuesta por adultos, juveniles y también nauplios de segunda generación mediante reproducción ovovivípara. Esta población se dispersó hacia los otros evaporadores hasta alcanzar una salinidad de 23-24 °Bé (280-290 g/L), donde no puede sobrevivir debido a la presión osmótica y la falta de alimento. En estos estanques, la descomposición de *Artemia* contribuyó al desarrollo de una intensa coloración rosa, producto de la proliferación de la arquea *Halobacterium*.

Por último, los cristalizadores, anteriormente transparentes, se mancharon de forma muy significativa, lo que mejoró la evaporación debido a un aumento de la temperatura de hasta 7-8 °C en comparación con los 34 °C medidos cuando la salmuera era transparente. El seguimiento de la tasa de evaporación tras esta intervención biológica mostró un aumento del 100 %, lo que se tradujo en un mayor crecimiento del espesor de los suelos salinos, con una media de 1,6 mm/día.

Salinas de Sama Salt Company, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos: antes (a) y después (b) del manejo biológico



© H. Teruel, UNIDO
© H. Teruel, UNIDO

RECUADRO 5

Historia de *Artemia* y prácticas regulares en Brasil

por *Marcos Rogerio Camara*

Las salinas permanentes son una parte importante de los sistemas de humedales costeros en la zona semiárida del noreste de Brasil. Los salares más grandes de Brasil (con un tamaño que oscila entre 775 y 3 000 ha) se encuentran en el estado de Rio Grande do Norte (ver la lámina), donde se dan las condiciones ideales para esta actividad, como largas estaciones secas (junio a enero), vientos fuertes, alta incidencia solar y altas tasas de evaporación. La superficie total asociada a la industria de la sal marina en Rio Grande do Norte asciende a 41 718 ha, de las cuales 30 642 ha se explotan para actividades de producción de sal. El resultado es que la producción de sal marina en Brasil (6 millones de toneladas en 2017) procede en su mayor parte de Rio Grande do Norte (>95 %).

RECUADRO 5 (CONTINUACIÓN)

Las poblaciones de *Artemia franciscana* se encuentran en el noreste de Brasil como resultado de las inoculaciones realizadas en las salinas de Macau (Rio Grande do Norte) en 1977 con quistes procedentes de una población de la bahía de San Francisco (California, Estados Unidos de América). En los años siguientes, las *Artemia*s introducidas se dispersaron a las salinas vecinas por los trabajadores locales (con fines acuícolas y para ayudar en la producción de sal), por el viento y por las aves acuáticas (Camara, 2001).

Una parte importante de los quistes de *Artemia* disponibles en Brasil se recolecta actualmente en las salinas de Río Grande do Norte como subproducto de la industria de la sal marina. Cada año, una parte sustancial (aproximadamente el 20 %) de las 20 toneladas de quistes que utiliza la industria acuícola brasileña se recolecta en los campos de sal locales. La cosecha de quistes de *Artemia* generalmente es llevada a cabo por empresarios y familias. No hay manejo regulado de la cosecha formal de quistes.

En ocasiones se realiza una repoblación rudimentaria, inoculando nauplios o trasplantando biomasa recolectada en estanques con mayor salinidad a estanques con menor salinidad.

Ubicación geográfica de las salinas de Rio Grande do Norte en Brasil



Nota: Véase el descargo de responsabilidad en la página sobre los derechos de autor para obtener más detalles sobre los nombres y las fronteras que figuran en estos mapas.

Fuente: Google Earth visto en Noviembre 2021.

La baja productividad y las fluctuaciones en el rendimiento de los quistes son características intrínsecas de esta forma artesanal (y básicamente no regulada) de acuicultura extractiva. Los quistes de *Artemia* flotan y se acumulan en puntos concretos de los estanques de evaporación. Una vez que se encuentra un punto con quistes, los pescadores trabajan intensamente en la zona con redes y baldes para sacar los quistes del agua, recogiéndolos también en la costa (ver Lámina a). Los quistes recolectados se llevan a plantas de procesamiento locales (ver Lámina b) para su posterior uso en criaderos locales de camarones (*Litopenaeus vannamei*) (Wainberg *et al*., 2011). También se recolecta la biomasa de *Artemia* que luego se congela, se liofiliza o se convierte en comida en forma de copos para larvas y post larvas de camarón.

La recolección de quistes en las salinas brasileñas (para su uso en la acuicultura local) ha ejercido una presión selectiva sobre *A. franciscana* durante más de cuatro décadas y es probable que la recolección haya afectado a las poblaciones de *Artemia* de múltiples maneras (tamaño de la población, fenotipos,

Quistes y producción de biomasa de *Artemia franciscana* en las salinas de Brasil nororiental

(a) Colectando los quistes en la costa; (b) lavando los quistes cosechados con salmuera



© M. Rogerio Camara, FURGN

© M. Rogerio Camara, FURGN

RECUADRO 5 (CONTINUACIÓN)

componentes de aptitud física y variación genética, por nombrar algunas). En general, se ha producido un cambio reproductivo hacia la ovoviviparidad (producción directa de nauplios de vida libre) en las poblaciones locales (Camara, 2020). La recolección sostenible de quistes de *A. franciscana* en las salinas brasileñas es fundamental para la supervivencia a largo plazo de sus poblaciones, pero también por razones sociales y económicas. El manejo cuidadoso de este recurso esencial requiere un enfoque científico que tenga en cuenta los posibles efectos de la explotación antes de que afecte gravemente a la viabilidad de esta forma emergente de acuicultura extractiva.

RECUADRO 6

Cultivo de *Artemia* utilizando recursos hídricos no convencionales

por *Naser Agh*

La producción de *Artemia* el sureste asiático utilizando agua marina evaporada data de la década de 1980. Este tipo de producción se expandió rápidamente a otros países en Asia, Africa y América Latina. En la República Islámica del Irán, la producción de *Artemia* en estanques empezó hace cerca de 25 años, hacia el fin del siglo XX, en salinas costeras a lo largo del golfo Pérsico. Más tarde, el cultivo de *Artemia* se introdujo en otros recursos hídricos, en regiones lejos del mar abierto. Hay varios recursos hídricos que pueden ser usados para el cultivo de *Artemia*: agua subterránea salada, efluentes de desalinización y de tratamiento de aguas y de agricultura, mezclados con agua salina subterránea o superficial. Algunos de estos recursos pueden ser más pobres en nutrientes y también tener una composición de iones diferente que el agua de mar. Ante esto, el uso de estas fuentes de agua para *Artemia* requiere manejo adaptativo para la alimentación y la fertilización del estanque. Antes de empezar cualquier operación a gran escala, se deben hacer exámenes de cultivo en laboratorio utilizando estas aguas de diferentes fuentes, o luego de mezclarlas con agua salada disponible localmente. Esto permitirá investigar si el medio es el propicio para el cultivo de *Artemia* en términos de composición iónica y ausencia de compuestos tóxicos

Un ejemplo del uso de este sistema para el cultivo de *Artemia* es un estanque de 25 ha construido mediante la construcción de una presa en un sistema de drenaje agrícola en la provincia de Kerman, en la zona central de la República Islámica del Irán. Para la producción de *Artemia* y sus quistes, se bombea agua salobre subterránea para mantener la salinidad entre 80 y 150 g/L durante varios meses del año. Adicionalmente, se construyó un estanque de 2 ha para la producción de agua verde, complementada con trigo fermentado y salvado de arroz para alimentar *Artemia*. Se agrega melaza de remolacha como fuente de carbono en proporciones adecuadas, para estimular la formación de biofloc como alimento adicional. Anualmente, en este lugar se producen 2 toneladas de quistes de *Artemia franciscana* crudos y cerca de 20 toneladas de biomasa para el consumo de los criaderos locales de camarones.

Se debe prestar atención especial a los efluentes de plantas desalinizadoras: anualmente, miles de millones de metros cúbicos de estos efluentes, con salinidad que fluctúa entre 50 g/L y 70 g/L son depositados en el mar, contaminando localmente los ecosistemas costeros con posible impacto biológico en el ciclo de vida, crecimiento y reproducción de corales, pastos marinos, invertebrados y peces. Muchas

Estanque de 25 ha construido en un sistema de drenaje agrícola en la provincia de Kerman, República Islámica del Irán



© N. Agh, AARI



© N. Agh, AARI

RECUADRO 6 (CONTINUACIÓN)

de estas plantas de desalinización están ubicadas en el área del Golfo Persico, dónde sus efluentes pueden causar incremento en la salinidad y significar una amenaza a la vida marina. Mover estos efluentes a humedales artificiales para el cultivo de *Artemia* puede ser una forma de reciclarlos, contribuyendo a garantizar el crecimiento de la industria acuícola en la región, mediante la creación de empleo, y mejorando el nivel de vida de las comunidades rurales locales. En países áridos, como la República Islámica del Irán, la creación de este tipo de humedales puede reemplazar los humedales interiores secos y en proceso de desecación que son utilizados por aves acuáticas locales y migratorias para alimentarse y pasar el invierno.

2.1.3. Operaciones estacionales de salinas solares (por *Nguyen Van Hoa* y *Gilbert Van Stappen*)

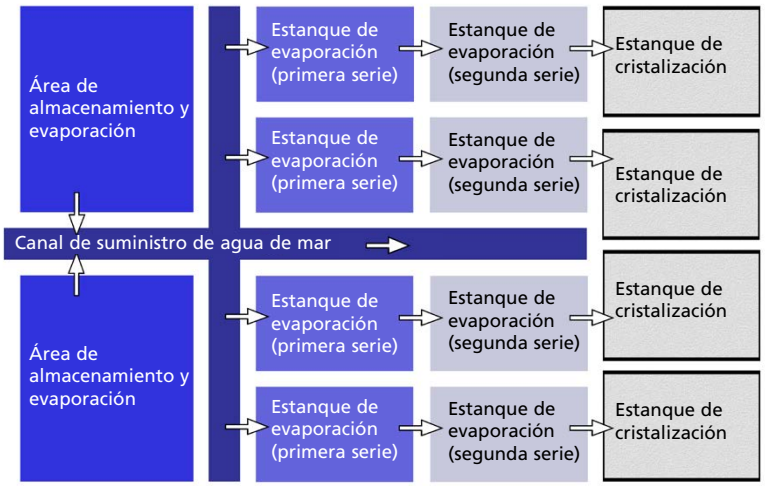
En esta sección se analizan las pequeñas salinas artesanales (también conocidas como campos de sal, granjas de sal o calles de sal) del cinturón tropical-subtropical que solo funcionan durante la estación seca. En estas salinas artesanales, los estanques tienen solo unos pocos cientos de metros cuadrados y suelen tener una profundidad de entre 0,1 y 0,6 m. La Figura 18 muestra el diseño de una salina artesanal típica (Cooperativa Salina Vinh Tien, Viet Nam). La mayoría de las granjas salinas solo funcionan durante unos pocos meses al año, cuando el balance entre evaporación y precipitación es positivo. La producción de sal se abandona durante la estación lluviosa, cuando los estanques de evaporación se convierten a menudo en estanques para peces o camarones. Aunque la producción de sal en estas llamadas "calles de sal" se basa en los mismos principios químicos y biológicos que en las grandes salinas permanentes, los métodos de producción difieren ligeramente. En la Sección 2.2 se ofrece una visión general completa de todos los aspectos de la producción estacional en estanques de *Artemia*. No obstante, a continuación, se resume a grandes rasgos el proceso de producción.

Al inicio de la época de producción, todos los estanques se llenan con agua de mar. El agua proviene del flujo de mareas mediante bombas portátiles, molinos de viento y/o cucharas de agua (*water scoopers*) accionadas manualmente, lo que permite un mejor control de los niveles de agua y de la salinidad.

FIGURA 18

Diseño de una finca artesanal de sal (Vinh Tien, Viet Nam)

(1) Área de almacenamiento y evaporación = 0.4–1 ha y salinidad = 10–50 g/L; (2) estanque de evaporación (primera serie) = 0.2–0.5 ha y salinidad = 40–120 g/L; (3) estanque de evaporación (segunda serie) = 0.2–0.5 ha y salinidad = 80–160 g/L; (4) cristalizador = 0.2–0.5 ha y salinidad de 120 g/L hasta que toda el agua se evapora.



Fuente: CTU, Viet Nam.

El agua se evapora y, normalmente, justo antes de la siguiente marea alta, toda el agua, que ahora tiene una salinidad superior a la del agua de mar, se concentra en un estanque. Todos los demás estanques se rellenan con agua de mar, que vuelve a evaporarse y se concentra en un segundo estanque. Este proceso se repite hasta obtener una serie de estanques en los que la salinidad aumenta progresivamente, aunque no necesariamente de forma gradual. Durante el resto de la temporada, el agua se mantiene en cada estanque hasta que la salinidad alcanza un nivel predeterminado y luego se deja fluir al siguiente estanque, que contiene agua de mayor salinidad. Por lo tanto, la salinidad en los diferentes estanques no se mantiene constante, a diferencia de las salinas que operan de forma permanente. Ocasionalmente, para aumentar aún más la evaporación, los estanques no se rellenan inmediatamente, sino que se dejan secar durante uno o dos días. Durante ese tiempo, el fondo del estanque se calienta, lo que aumenta aún más la evaporación. Una vez que la salinidad alcanza los 260 g/L, el agua se bombea a los cristalizadores, donde se precipita el cloruro de sodio. *Artemia* prospera en estanques con salinidad suficientemente alta como para excluir a los depredadores (generalmente por encima de 80-90 g/L).

Dado que los sistemas estacionales suelen ser pequeños, son bastante fáciles de manipular. Por lo tanto, se pueden mantener niveles más altos de alimento y, por lo tanto, densidades más altas de *Artemia*. Además, los factores ambientales fluctúan, como la temperatura (en estanques poco profundos), el nivel de oxígeno (alta densidad de algas, uso de abono orgánico) y la salinidad (bombeo discontinuo), lo que crea un entorno inestable. Esto, junto con el hecho de que los ciclos de población se interrumpen anualmente, parece favorecer la reproducción ovípara.

También existen sistemas integrados en los que el cultivo de *Artemia* (en condiciones de alta salinidad) se combina con el de camarones o peces (criados en estanques con menor salinidad). El cultivo intensivo de *Artemia* en estanques también puede establecerse por separado de la producción de sal. Los estanques pueden llenarse con los efluentes de los criaderos de peces/camarones y/o de los estanques de engorde. Dado que la salinidad en estos sistemas suele ser demasiado baja para excluir a los depredadores (45 g/L a 60 g/L), el agua de entrada se filtra mediante bolsas filtrantes o tamices de flujo cruzado. Los residuos agrícolas, como el salvado de arroz y la harina de soya, pueden utilizarse como piensos complementarios. Para más detalles sobre el funcionamiento de la producción estacional de *Artemia* en estanques, ver Sección 2.2.

2.2. PRODUCCIÓN EN ESTANQUES (por *Nguyen Van Hoa* y *Gilbert Van Stappen*)

Aunque la producción de *Artemia* en estanques se practica en diferentes países y regiones, la información contenida en este manual se basa en gran medida en la metodología aplicada en las zonas de Soc Trang y Bac Lieu, en el delta del Mekong (Viet Nam). Es en esta zona donde se han elaborado protocolos de trabajo basados en la larga experiencia de la industria y de los investigadores, lo que ha demostrado su eficacia a largo plazo (Hoa y Sorgeloos, 2015; Van Stappen *et al*., 2019). Por lo tanto, muchos aspectos de la metodología son directamente aplicables a otras zonas. Sin embargo, en determinados puntos del texto se hace referencia explícita a las particularidades del contexto vietnamita, como sus condiciones climáticas, que pueden diferir de las de otros lugares. También hay que destacar que estos protocolos de producción se han elaborado para la cepa vietnamita (cepa Vinh Chau) de la especie *Artemia franciscana*, que tiene su origen en un inóculo de la cepa *A. franciscana* de la bahía de San Francisco en la década de 1980 (Quynh y Ngoc Lam, 1987; Clegg *et al*., 2000; Hoa, 2002; Kappas *et al*., 2004). Por consiguiente, varios de los factores descritos, como la tolerancia a la temperatura de la población de *Artemia*, el tiempo de maduración, la fecundidad y las estimaciones de los rendimientos de producción, no son aplicables tal cual cuando se utilizan otras cepas o especies de *Artemia* para la producción en estanques, especialmente cuando se trabaja en condiciones ambientales muy diferentes a las del delta del Mekong.

2.2.1. Selección de sitios

Integrar la producción de *Artemia* en una salina solar o en una granja de camarones/peces ya en funcionamiento será más rentable que construir un sistema de estanques para producir *Artemia* desde cero. Los estanques pueden construirse cerca de estanques de evaporación con la salinidad requerida, o se pueden modificar los ya existentes.

Si bien la siguiente sección no describe detalladamente todos los aspectos relacionados con la construcción de estanques y la selección del sitio, sí resume aspectos que deben aplicarse específicamente al cultivo de *Artemia* en estanques. Para obtener información más detallada, el lector debe consultar manuales especializados sobre la construcción de estanques, como los de De la Cruz, 1983; Kumar, 1992; FAO, 2017; y Sneyers e Ingawa, 2005.

2.2.1.1. Climatología

Es imprescindible disponer de cantidades suficientes de agua con un alto contenido salino, especialmente para mantener a los depredadores de *Artemia* fuera del sistema, aunque en los cultivos a corto plazo se pueden aplicar técnicas de filtración para impedir que los depredadores entren en los estanques de cultivo (filtración inferior a 70 µm). Por lo tanto, el cultivo de *Artemia* se encuentra principalmente en zonas donde las tasas de evaporación son superiores a las tasas de precipitación durante largos periodos del año (p. ej., una estación seca de más de cuatro meses en el cinturón tropical-subtropical). Las tasas de evaporación dependen de la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa. Especialmente cuando se integran estanques de *Artemia* en granjas de peces/camarones, los profesionales deben conocer las tasas de evaporación de la zona. Por otro lado, la presencia de salinas locales es un claro indicio de que el cultivo de *Artemia* en estanques es posible durante al menos parte del año.

Dado que la temperatura también influye directamente en la dinámica de la población, este factor climatológico debe recibir una atención especial. Las temperaturas demasiado bajas provocan un lento crecimiento y reproducción, mientras que las temperaturas altas pueden ser letales. Tenga en cuenta que las temperaturas óptimas de cultivo dependen de la cepa (ver Sección 1.4.4).

2.2.1.2. Topografía

El terreno en el que se construyen los estanques debe ser lo más plano posible para facilitar la construcción de estanques con formas regulares. Una pendiente gradual puede facilitar el flujo por gravedad en el complejo de estanques. La elección entre estanques excavados (totalmente excavados) y estanques nivelados (el fondo del estanque aproximadamente a la misma profundidad que el terreno circundante y el agua retenida por diques o presas) dependerá del tipo de estanques que ya se utilicen. Se recomienda ubicar los estanques de *Artemia* más bajos que las demás, por cuanto en la producción de *Artemia* el flujo de agua hacia los estanques es mucho más significativo y frecuente que el flujo de salida; por lo general, los estanques solo se drenan al final de la temporada de cultivo. Aprovechar la gravedad o las corrientes de marea para llenar los estanques, aunque sea parcialmente, reducirá los costos de bombeo

2.2.1.3. Condiciones del suelo

Dado que se necesitan largos tiempos de evaporación para producir agua con alta salinidad, las tasas de fuga o infiltración deben ser mínimas. Por lo tanto, los suelos arcillosos pesados con un contenido mínimo de arena son el sustrato ideal (Hoa, 2014). Dado que las fugas son uno de los problemas más comunes en las piscifactorías y criaderos de camarones, e incluso en las grandes salinas, la construcción de una pequeña unidad piloto en el emplazamiento seleccionado, antes de embarcarse en la construcción de grandes complejos de estanques, podría evitar costosos errores.

Otro problema puede ser la presencia de suelos ácidos sulfatados, que suelen encontrarse en zonas de manglares o pantanos. A veces se observan partículas

amarillentas o de óxido en las capas superficiales de los suelos ácidos sulfatados. Cuando se exponen al aire, estos suelos forman ácido sulfúrico, H_2SO_4, lo que disminuye el pH del agua. Con un pH bajo, es muy difícil estimular la proliferación de algas. Dado que las algas constituyen una importante fuente de alimento para la población de *Artemia*, los rendimientos son bajos en estos estanques. El tratamiento de los suelos de sulfato ácido es posible, pero costoso (ver más adelante).

La presencia de mucha materia orgánica en el fondo del estanque también puede causar problemas. Especialmente cuando se utiliza para la construcción de diques ya que este tipo de suelo tiende a encogerse, reduciendo considerablemente la altura del dique. Además, también pueden surgir problemas de agotamiento del oxígeno en el fondo del estanque, donde el material orgánico se descompone. El usar esos suelos por varios años bajará el contenido orgánico, no obstante, durante los primeros años de operación este tipo de problemas puede persistir (Hoa, 2014).

2.2.1.4. Canales de abastecimiento de agua y drenaje

El principal canal, que se utiliza para la toma del agua de mar para el proceso de producción de sal y para almacenar pescado y camarones durante la temporada de lluvias, también trae agua salada al reservorio principal; un sistema de canales que distribuyen el agua a los estanques de evaporación y entre ellos, y finalmente a la zona de cristalización.

2.2.2. Modelos de producción de *Artemia*

2.2.2.1. Resumen de los modelos de producción de Artemia

Desde la década de 1980, se desarrollaron diferentes modelos de producción de *Artemia* en las salinas de Soc Trang y Bac Lieu en el delta del Mekong, Viet Nam, para así hacer frente a las fluctuaciones propias de la demanda del mercado y a la variable capacidad de inversión de los agricultores (Son, 2010; Hoa y Sorgeloos, 2015; Vinh *et al*., 2019). Los modelos incluidos en la Tabla 6 no son mutuamente excluyentes, sino que se definen en función del criterio considerado (Hoa *et al.*, 2011). Estos modelos son explicados en detalle en las siguientes secciones. Muchos de los principios y prácticas de manejo mencionadas en la Sección 2.2.2 serán explicadas con más detalle a partir de la Sección 2.2.3.

TABLA 6
Resumen de los modelos de producción de *Artemia*

Enfoque general	Grado de inversión	Manejo de estanques			Producto final
Monocultivo Cultivo integrado	Extensivo Intensivo	Estancado Con flujo	Un ciclo Varios ciclos	Siembra con nauplios Siembra con estados más avanzados	Quistes Biomasa

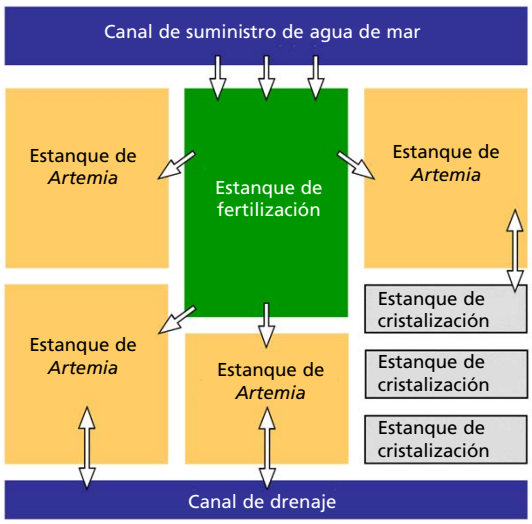
Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of Artemia culture in solar saltworks*. N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

2.2.2.2. Monocultivo versus modelos integrados

Modelo de monocultivo

El modelo de monocultivo está especialmente diseñado para el cultivo exclusivo de *Artemia*, incluyendo el sistema de estanques donde se lleva a cabo la producción de *Artemia*; el estanque de fertilización (que generalmente representa el 15-20 % de la superficie total del sistema) y el sistema de canales de suministro y drenaje. En este modelo, toda la superficie de la salina se transforma en zona de cultivo para *Artemia*. Para los pequeños agricultores, suele ser beneficioso estar conectados con otros agricultores de la misma ubicación, de modo que se pueda compartir el sistema de suministro de agua. Además, la zona de cristalización de la sal se puede convertir en estanques de *Artemia*, o se puede seguir utilizando para la producción de sal, con el agua residual de los estanques de *Artemia* (Figura 19).

FIGURA 19
Diseño general de un sistema de producción de *Artemia* con estanques con funciones específicas



Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of* Artemia *culture in solar saltworks*. N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

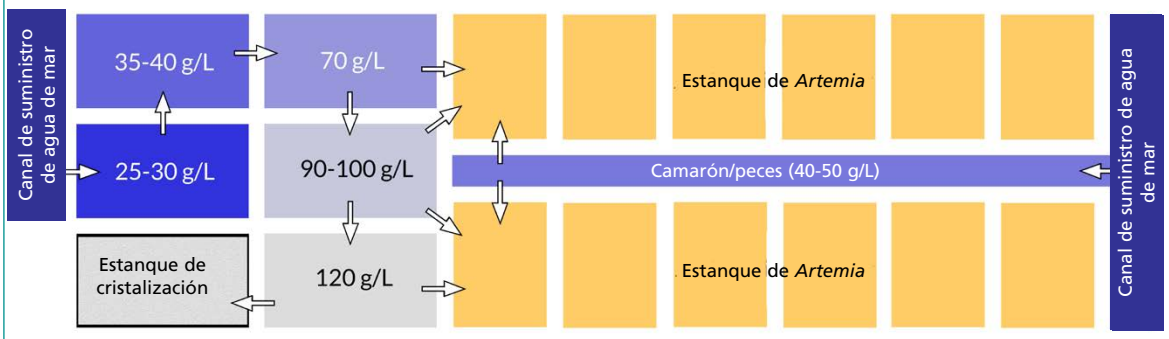
Modelo de cultivo integrado

El modelo de cultivo integrado se define como una combinación (simultánea) del cultivo de *Artemia* con otras actividades, por ejemplo, *Artemia*-sal, *Artemia*-camarones/pescado-sal, *Artemia*-ganado/aves-sal, de la siguiente manera:

- *Artemia*-sal: El agua salina procedente de la zona de producción de sal se utiliza para regular la salinidad de los estanques de *Artemia* y, a la inversa, los efluentes de estos estanques pueden utilizarse para producir sal. El efluente de los estanques de *Artemia* ha sido filtrado por *Artemia* (lo que reduce las concentraciones de microalgas, materia orgánica, etc.). En consecuencia, la sal producida a partir de estos efluentes, debido a la reducción de la viscosidad del agua, puede ofrecer una mejor calidad.
- *Artemia*-camarón/peces-sal: La interacción entre *Artemia* y el componente salino es la descrita anteriormente, mientras que los camarones/peces se cultivan en condiciones de menor salinidad en el mismo sistema de cultivo (Figura 20). Por ejemplo, la tilapia se puede cultivar en el estanque de fertilización, los camarones/peces se pueden alimentar con piensos granulados y los fertilizantes pueden estimular la producción primaria. En consecuencia, el agua de estos estanques de cultivo de camarones/peces recibirá muchos nutrientes, lo que estimulará el crecimiento de algas, y dicha agua puede utilizarse como fuente de alimento para *Artemia*. Por otra parte, la biomasa fresca de *Artemia* (de diferentes tamaños según sea necesario) puede utilizarse para cultivo de camarones/peces en diferentes etapas (Bengtson, Léger y Sorgeloos, 1991). La combinación de *Artemia* con camarones-peces ofrece la posibilidad de usar *Artemia* como un "biofiltro" por su habilidad para "limpiar" el ambiente acuícola (p. ej., acuicultura extractiva; ver Kongkeo y Wilkinson, 2005).
- *Artemia*-ganado/aves de corral-sal: Una integración similar de sal de *Artemia* se lleva a cabo como se describe anteriormente, mientras que el ganado y las aves de corral pueden criarse en jaulas o construcciones situadas directamente sobre los estanques de fertilización de *Artemia*. Los restos de alimento y los residuos que se liberan de las jaulas caen en los estanques, estimulan la proliferación de algas y también sirven como fuente de alimento. Al mismo tiempo, la biomasa recogida de los estanques de *Artemia* se considera una fuente de proteínas y puede mezclarse

con el alimento del ganado bovino y las aves de corral. Sin embargo, en este sistema integrado es importante tener en cuenta que cualquier compuesto médico profiláctico o curativo administrado al ganado bovino o a las aves de corral puede acabar en las heces y, por lo tanto, entrar en la cadena alimentaria acuática.

FIGURA 20
Ejemplo de un modelo integrado de cultivo de *Artemia*-camarón/peces-sal



Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of* Artemia *culture in solar saltworks*. N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

2.2.2.3. Modelos de cultivo intensivo vs extensivo

Modelo de cultivo extensivo

Como en otros modelos extensivos de acuicultura, este modelo requiere menos inversión; solo aprovecha el agua altamente salina que está disponible en la salina al final de la época seca y que se utiliza para otro propósito en acuicultura. En estas condiciones, hay una gran cantidad de materia orgánica y/o microalgas disponibles y no se aplica fertilizante ni se adapta la salina para el cultivo de *Artemia*. Los acuicultores simplemente inoculan (repueblan) *Artemia*, usando los nauplios recientemente eclosionados o transfiriendo parte de la biomasa de *Artemia* adulta de otros estanques. La población de *Artemia* se desarrollará y reproducirá. En este modelo de cultivo, debido a los menores esfuerzos de manejo, el estanque es más susceptible a contaminación con depredadores de *Artemia* y/o competidores de alimento, dando lugar una densidad de *Artemia* baja. Esta baja densidad, junto con la ausencia de alimentación suplementaria, da lugar a una productividad baja e inestable, la cual fluctúa, por ejemplo, entre 10-20 kg de quistes húmedos por ha/estación o unos pocos kilogramos de biomasa húmeda.

Modelo de cultivo intensivo

En comparación con el modelo de cultivo extensivo, este modelo intensivo se diferencia en:

- La infraestructura es a gran escala, con un mayor suministro de agua y de drenaje, funciona toda la temporada y es menos afectada por las fluctuaciones ambientales, tales como temperatura y salinidad.
- Los sistemas son operados por personal técnico calificado y con experiencia, y se dispone de suficiente mano de obra y maquinaria (bombas y aireadores).
- La producción es más estable. Los estanques pueden operar por largo tiempo, garantizando suficiente alimento para la población de *Artemia* (microalgas y/o alimento suplementario).
- La fertilización se maneja de acuerdo con un protocolo que asegura una proporción y contenido adecuado de N:P para estimular el crecimiento de microalgas adecuadas para *Artemia* (p. ej., diatomeas - Bacillariophyta).
- La tecnología *Biofloc*, si bien garantiza la proporción óptima de C:N, puede aplicarse para aumentar la cantidad de alimento en el estanque y estabilizar el medio ambiente.

Obviamente, los sistemas de producción pueden diferir en su grado de intensificación y, por lo tanto, pueden ser semi-extensivos o semi-intensivos. Dada la escala y los requisitos para el manejo activo, el costo de operación de los sistemas intensivos es significativamente más alto (normalmente entre 1,5 y 2 veces) que en el modelo extensivo. Por otro lado, el modelo de cultivo intensivo suele tener una productividad al menos dos o tres veces superior, con rendimientos que oscilan entre 50 kg y 70 kg de quistes húmedos/ha durante una temporada de cuatro meses en condiciones semi intensivas y rendimientos de hasta 200 kg de quistes húmedos por hectárea en los sistemas intensivos.

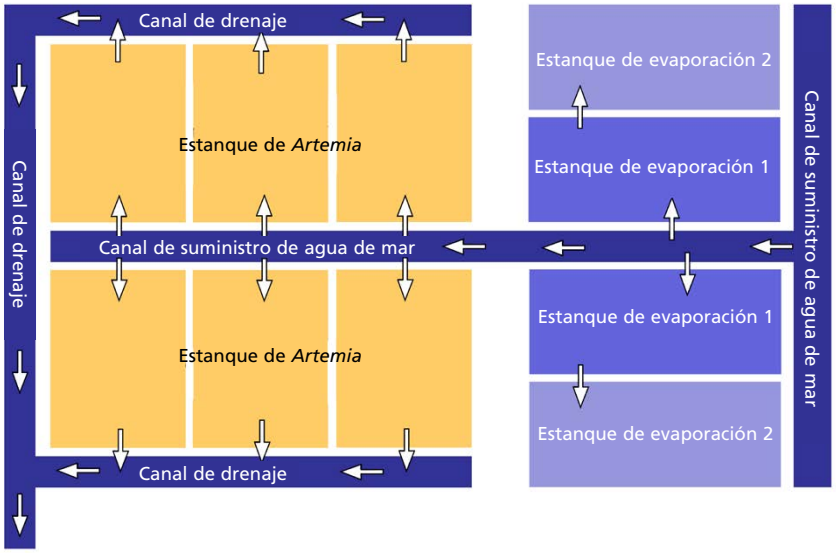
2.2.2.4. Modelo de cultivo estancado frente al modelo de cultivo de flujo continuo

Modelo de cultivo estancado

Generalmente, en este modelo, el manejo de cada estanque es hecho independientemente, y el repoblamiento del estanque no afecta a los demás. Cuando surge algún problema en un estanque, como por ejemplo una baja tasa de supervivencia, predadores invasivos y la aparición de fitobentos, el funcionamiento de los otros estanques no es afectado, aunque compartan el mismo sistema de suministro de agua y drenaje (Figura 21). Este sistema es adecuado para las zonas de salinas que se han convertido recientemente en estanques de cultivo de *Artemia* y cuando no se tiene la intención de convertirlas en granjas intensivas especializadas en *Artemia*. Dado que cada estanque participa en la producción, la superficie de cultivo se amplía al máximo; sin embargo, la experiencia práctica demuestra que solo el 50-60 % de la superficie de cultivo de *Artemia* es económicamente rentable. La limitación obvia del sistema de cultivo estancado es la separación espacial de cada estanque, de modo que cada uno pueda gestionarse por separado. Este modelo de cultivo también requiere más mano de obra directa para el manejo de los estanques.

FIGURA 21

Ejemplo de un modelo de monocultivo estancado de *Artemia*, asociado con la evaporación del área para incrementar la salinidad en los estanques de cultivo



Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of* Artemia *culture in solar saltworks*. N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

Modelo de cultivo de flujo continuo

Este modelo difiere del modelo estancado en lo siguiente:

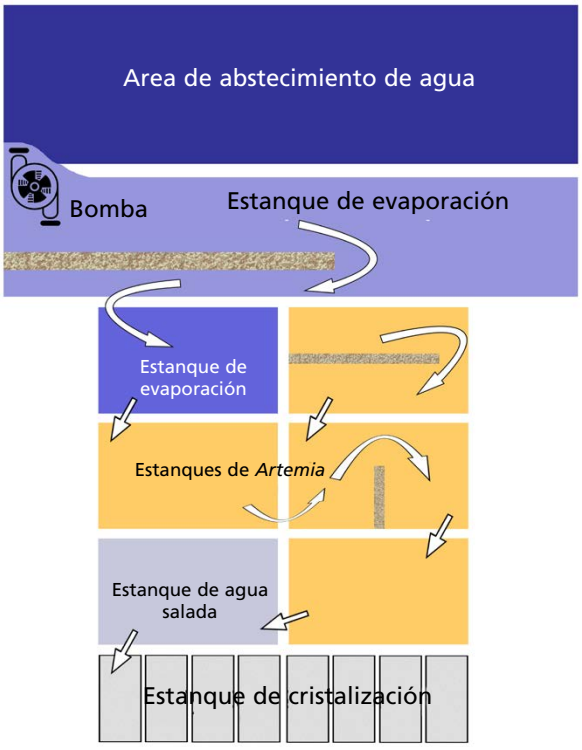
- Es a gran escala, adecuada para la producción integrada; incluye muchos estanques conectados que operan en conjunto.

- Se necesita mayor inversión, p. ej., para la construcción, un sistema de diques más resistentes y bombas de alta capacidad.
- Su funcionamiento general requiere conocimientos y experiencia sustanciales.

El diseño y el flujo de agua en este modelo son completamente diferentes al modelo de cultivo estancado (Figura 22): las estaciones de bombeo suministran agua a todo el sistema y el nivel de agua y la salinidad varían entre los estanques del sistema, siendo el primer estanque el que tiene la salinidad más baja y el último el que está cerca de la saturación y listo para la cristalización.

En este modelo, la proporción entre la superficie dedicada al cultivo de *Artemia* y la superficie total de la granja es baja, ya que el cultivo de *Artemia* solo puede realizarse en zonas con una salinidad entre 80 g/L y 100 g/L. La ventaja es el mayor rendimiento de quistes/biomasa (por unidad de superficie) en comparación con el sistema estancado, gracias al frecuente suministro de agua verde, lo que da lugar a una alta densidad de hembras reproductoras. Dado que el sistema requiere mayores costes de construcción, no es adecuado para sistemas que puedan volver a convertirse en salinas en algún momento (ya que esto requeriría costes de construcción adicionales).

FIGURA 22
Ejemplo de cultivo de flujo continuo de *Artemia*



Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of* Artemia *culture in solar saltworks*. En: N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

2.2.2.5. Modelo de cultivo de ciclo único frente a modelo de cultivo de ciclos múltiple

Modelo de cultivo de ciclo único

En este contexto, ciclo se refiere al tiempo y las actividades necesarias para la renovación del estanque, la preparación del agua altamente salina, la inoculación (repoblación) de *Artemia*, manejo de estanques, cosecha y finalización de la producción desde el inicio hasta el fin de la época seca. Este modelo de cultivo requiere personal altamente experimentado para manejar los estanques de manera que la población de *Artemia* se mantenga en un estado estable y altamente productivo, con un equilibrio

constante entre los diferentes componentes de edad (nauplios, juveniles, sub adultos y adultos) hasta el final del cultivo, es decir, el final de la estación seca (4-5 meses). En una población estable, los adultos pueden morir después de haberse reproducido, pero la siguiente generación surgirá y sustituirá a la anterior. Sin embargo, si el entorno se vuelve desfavorable, por ejemplo, cuando el acceso a los alimentos es escaso o inestable, lo que crea problemas porque la eficiencia alimentaria de las larvas de *Artemia* es menor que la de los adultos, entonces el reclutamiento de la siguiente generación se ve comprometido, lo que eventualmente conduce a una disminución de la población y a un menor rendimiento si estas condiciones alimentarias persisten.

Modelo de cultivo de ciclos múltiple
En condiciones favorables, la actividad reproductiva de *Artemia* tiende a aumentar gradualmente en un plazo de dos a tres semanas desde el repoblamiento, produciendo altos rendimientos de quistes o biomasa durante un determinado período, y luego disminuye gradualmente. Cuando la reducción de las cantidades cosechadas afecta a la rentabilidad de la explotación, los acuicultores pueden detener el cultivo, renovar los estanques, repoblarlos con *Artemia* y gestionar una nueva población reproductora (= segundo ciclo/cosecha) mientras dure la estación seca. También se puede iniciar un segundo ciclo cuando casi todas las hembras han pasado a la reproducción ovovivípara y cuando el interés principal se centra en los quistes. Dependiendo de la duración de la estación seca y de las condiciones meteorológicas en general, y suponiendo que el agricultor tenga un control total sobre las poblaciones de *Artemia* de los ciclos sucesivos, los rendimientos de quistes o de biomasa durante toda la temporada serán significativamente más altos que en el modelo de un solo ciclo (Baert *et al.*, 1997).

2.2.2.6. Modelos de inoculación

Modelo de cultivo con nauplios de Artemia recién eclosionados (modelo de eclosión)
Lo ideal es iniciar el cultivo mediante la eclosión de quistes en condiciones estandarizadas, lo que da como resultado una alta eclosión de nauplios de estadio I de buena calidad. Sin embargo, en la práctica, las condiciones de eclosión en los sitios de campo pueden estar por debajo del estándar, lo que se traduce en una menor eficiencia de eclosión. Mientras que un gramo de quistes de *Artemia* de buena calidad de Vinh Chau puede producir entre 300 000 y 320 000 nauplios en condiciones estándar, en la práctica esta eficiencia de eclosión suele ser de entre 250 000 y 280 000 nauplios. Basándose en el volumen de los estanques de cultivo y la densidad de población prevista (normalmente 100 nauplios/L, pero a veces hasta 150 nauplios/L), el acuicultor debe estimar o calcular el número de quistes que deben eclosionar.

Modelo de cultivo: repoblación y crecimiento de Artemia por etapas (modelo de transferencia)
Cuando las condiciones son favorables en el estanque tras la repoblación, al cabo de 10-15 días *Artemia* (Vinh Chau), alcanza la etapa adulta y comienza a reproducirse, siendo las primeras crías normalmente nauplios (reproducción ovovivípara), lo que provoca un aumento repentino de la densidad de población. Aprovechando esta característica reproductiva, el acuicultor puede utilizar una red con una abertura a adecuada (1 mm) para mantener a los adultos dentro del estanque, permitiendo que solo los nauplios entren en un nuevo estanque cuando haya una diferencia en el nivel del agua entre el estanque de liberación y el estanque receptor.

La transferencia finaliza tan pronto como la densidad de larvas en el nuevo estanque es de aproximadamente 100 nauplios/L. Esta operación no debería afectar al estado de salud de la población original, salvo por algunos animales que chocan dentro de la red debido al drenaje por gravedad de un estanque a otro. La transferencia de parte de la población también se puede realizar en cualquier fase de desarrollo de la población si

la densidad en el primer estanque es demasiado alta. La ventaja de este modelo es que no solo ahorra quistes para repoblar los estanques, tiempo, mano de obra y electricidad para la incubación, sino que repoblar los estanques con ejemplares en etapas más avanzadas acorta el tiempo de desarrollo de la población y se alcanza más rápidamente la fase de reproducción.

2.2.2.7. Modelo de producción de quistes vs de biomasa

Modelo de producción de quistes
En el periodo inicial de la producción de *Artemia* (desde la década de 1980) en las salinas del delta del Mekong, el objetivo era producir quistes para abastecer a los criaderos de acuicultura (Rothuis, 1987). En teoría, para estimular a las hembras de *Artemia* a producir quistes, deben cumplirse tres condiciones: (1) agua muy salina (>80 g/L); (2) contenido fluctuante de oxígeno en el agua; y (3) disponibilidad suficiente de hierro (derivado de la clorofila de las microalgas). La práctica (tanto en estanques como en el laboratorio) demuestra que la actividad reproductiva de las hembras suele comenzar con la reproducción ovovivípara, para luego pasar a la oviparidad (aunque la ovoviviparidad también puede continuar), mientras que el ciclo de vida termina de nuevo con la reproducción ovovivípara (Lavens y Sorgeloos, 1984, 1987a; Hoa y Hong Van, 2019). Existe una clara correlación entre, por un lado, un entorno lleno de alimento con hembras sanas en la población y, por otro, una fecundidad muy alta (más de 100 quistes o nauplios/camada). Dependiendo del grado de intensificación, el acuicultor puede obtener entre 30 y 50, 70 y 120 o 150 y 200 kg de quistes húmedos por hectárea/cosecha de 3 a 4 meses en sistemas de cultivo extensivos, semi intensivos e intensivos.

Modelo de producción de biomasa
En este modelo, los acuicultores cosechan principalmente biomasa en diferentes etapas (tamaños) para abastecer a viveros, criaderos o granjas de reproductores. Se han desarrollado protocolos para gestionar la población una vez que ha alcanzado la etapa reproductiva, con el objetivo de cosechar biomasa periódicamente (Baert *et al.*, 2002). El procedimiento más eficaz consiste en recolectar cada tres días 30 kg de biomasa fresca por hectárea (Anh, 2009; Anh *et al.*, 2010). Además, en este modelo, los agricultores pueden recolectar quistes como producto secundario, a razón de aproximadamente 30 kg de quistes húmedos por hectárea y cosecha. Así, en función del valor de venta y del beneficio esperado de la producción de quistes frente a la de biomasa, los agricultores pueden elegir libremente entre uno u otro modelo de cultivo.

2.2.3. Preparación y adaptación de los estanques

2.2.3.1. Requerimientos generales
Después de elegir un modelo de cultivo adecuado (ver Sección 2.2.2), el siguiente paso es diseñar el sistema para la producción de *Artemia*, que puede incluir diferentes componentes: (1) el reservorio o embalse; (2) el estanque de agua verde o de fertilización (en el que se estimula la floración de algas); (3) el área de cultivo de *Artemia*; y (4) el área de cristalización de la sal. Estos componentes se ubican junto al sistema de entrada y drenaje de agua correspondiente. La superficie relativa y las proporciones de estos componentes se diseñan para aprovechar al máximo el área de producción (normalmente, la superficie de agua destinada a la producción de *Artemia* alcanza un máximo del 75-80 % de la superficie total). Dependiendo del modelo aplicado, es decir, cultivo intensivo o semi intensivo, el sistema de producción de *Artemia* puede diseñarse con o sin estanque de fertilización (Tabla 7). En ausencia de un estanque de fertilización, los acuicultores pueden fertilizar el embalse o el canal de suministro de agua y luego bombear el agua verde a los estanques de *Artemia*. La superficie del

TABLE 7
Ejemplo de la superficie de estanques de cultivo y de fertilización de *Artemia* de acuerdo con el modelo de producción (Cooperativa de Camarón-Sal en Vinh Phuoc, Vinh Chau, Soc Trang, Viet Nam)

Tipo de estanque	Semi intensivo		Intensivo	
	Area (ha)	Porcentaje	Area (ha)	Porcentaje
Estanque de cultivo	3,2	100	3,70	78
Estanque de fertilización	-	0	1,05	22
Total	**3,2**	**100**	**4,75**	**100**

Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of Artemia culture in solar saltworks*. En: N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

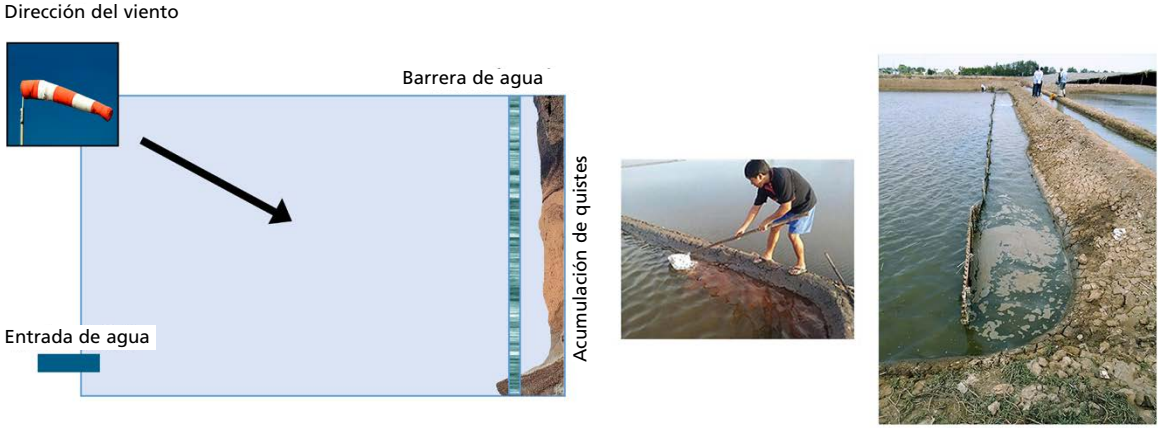
estanque de fertilización en el caso de los sistemas de cultivo intensivo depende del perfil y la fertilidad del suelo, así como de la disponibilidad de nutrientes en el agua de mar natural. Por lo general, este estanque ocupa aproximadamente el 20-25 % de la superficie de agua.

2.2.3.2. Tamaño, diseño y orientación de los estanques de cultivo de Artemia

Los estanques individuales con una superficie de entre 0,5 ha y 1,0 ha son los más adecuados para el cultivo de *Artemia* en un modelo extensivo o semi intensivo por razones de conveniencia en el manejo de los estanques y la limitación del costo de mano de obra, especialmente para el modelo de cultivo estancado. En el caso de los estanques intensivos, el tamaño adecuado de un estanque individual es de aproximadamente 0,3 ha, debido a los mayores requisitos que exigen las técnicas de manejo específicas (p. ej., en relación con los protocolos de suministro y drenaje de agua, los procedimientos de alimentación y el tipo de aireación instalado). En el sistema intensivo, a menudo se utiliza un estanque de agua verde para suministrar alimento a los estanques de cultivo de *Artemia* (ver, por ejemplo, la Figura 20). Los estanques suelen construirse con forma rectangular, con una longitud entre 3 y 4 veces superior al ancho.

Varias actividades de la producción en estanques se ven afectadas por la dirección de los vientos predominantes en su superficie, por ejemplo, la dispersión de los nauplios en el momento del repoblamiento, la dispersión de fertilizantes y alimentos y, lo que es más importante, la acumulación de los quistes flotantes en una esquina para facilitar la recolección. Por lo tanto, al construir un estanque, el lado largo del rectángulo debe coincidir, más o menos, con la dirección predominante del viento (Figura 23). Sin embargo, debido a que los vientos fuertes a menudo crean espuma cerca de la orilla en la superficie del agua salina del estanque, los quistes quedan fácilmente atrapados en ella. Si el viento arrastra fuera de los estanques la espuma con los quistes atrapados, estos se pierden. La producción de espuma puede reducirse mediante la construcción

FIGURA 23
Ejemplo de un modelo de cultivo integrado de *Artemia*-camarón/peces-sal



Fuente: Hoa, V.N. y Van, N.T.H 2019. *Principle of Artemia culture in solar saltworks*. En: N.V. Hoa y P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

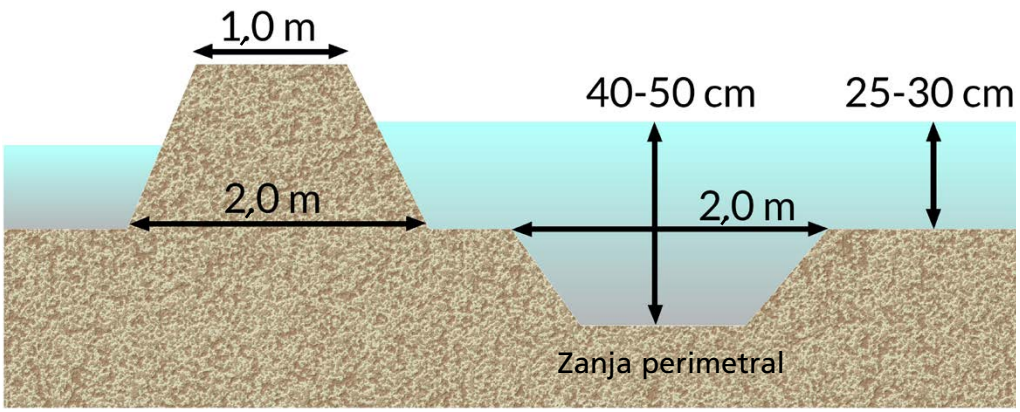
de obstáculos (las llamadas "barreras de quistes") utilizando hojas de coco o palos de bambú en la esquina del estanque o a lo largo de su lado más corto. Estas barreras de quistes también son eficaces para reducir la altura de las olas detrás de la barrera, lo que facilita la acumulación y la recolección de los quistes (Figura 23).

2.2.3.3. Profundidad del estanque

En salinas tradicionales, el nivel del agua en el estanque es generalmente muy bajo, es decir, entre 10 cm y 20 cm, por lo que la temperatura fluctúa muy rápido y más allá del nivel de tolerancia de *Artemia* (>40 °C en el día más caliente en el delta del Mekong). Adicionalmente, el nivel bajo de agua en el estanque y la alta transparencia de la columna de agua estimulan el crecimiento de algas bentónicas (fitobentos). El desarrollo del fitobentos no es deseable, ya que es demasiado grande para que *Artemia* lo ingiera y evita el desarrollo normal de las microalgas (las macroalgas eliminan los nutrientes del agua del estanque de manera más eficiente que las microalgas). El fitobentos flotante reduce las tasas de evaporación y dificulta la recolección de quistes (ver Sección 2.2.5.5).

Para reducir el estrés térmico y la proliferación de algas en el fondo y optimizar la producción de *Artemia*, los estanques deben tener suficiente profundidad (Figura 24). Se recomienda excavar el estanque de producción de sal existente y elevar el dique del estanque, lo que permite mantener un nivel de agua de al menos 50 cm por encima del fondo del estanque. Además, especialmente cuando los estanques son menos profundos (p. ej., 30 cm), se deben excavar zanjas periféricas (de 2 m a 3 m de ancho y al menos 20 cm a 30 cm, pero normalmente 50 cm o incluso más de profundidad) no solo para ayudar a aumentar el volumen del estanque, sino también para proporcionar refugio a la población de *Artemia* cuando se producen temperaturas más altas en la capa superficial del agua al final de la estación seca. En cualquier caso, el estanque y/o sus zanjas periféricas deben proporcionar una profundidad de agua superior a 50 cm. La tierra excavada de las zanjas puede utilizarse para elevar los diques. Por otra parte, también hay que tener en cuenta que los estanques no deben excavarse a demasiada profundidad (p. ej., más de 1 m), ya que las tasas de evaporación dependen de la relación entre la superficie del estanque (en m^2) y el volumen del estanque (en m^3); en los estanques más profundos, una relación menor conduce a un aumento más lento de la salinidad, ya que la temperatura suele ser más baja en las capas inferiores que en la superficie (es decir, estratificación). Además, se necesita más agua para llenar los estanques más profundos. En las regiones en las que no se dispone de reservas permanentes de agua muy salina, todo esto retrasa el proceso de evaporación, lo que prolonga el tiempo necesario para obtener agua con una salinidad suficientemente alta para la inoculación de *Artemia*

FIGURA 24
Sección transversal de un estanque de cultivo de *Artemia*, una zanja periférica y un dique con las dimensiones recomendadas



Fuente: CTU, Viet Nam.

(es decir, en Viet Nam se necesita más de un mes adicional para llenar completamente los estanques con una zanja periférica profunda) y, por lo tanto, retrasa la cosecha. Alternativamente, se puede reducir el área para el cultivo de *Artemia* y aumentar el área destinada a la evaporación.

Sin embargo, si la disponibilidad de agua salada no es un factor crítico, se recomiendan estanques más profundos, ya que permiten rendimientos de producción de *Artemia* mucho más altos. Además, en estanques profundos (como los que se utilizan en varias granjas de *Artemia* en Tailandia, con una profundidad de agua de 1,5 m), es más fácil mantener una alta salinidad durante la estación seca.

En ocasiones, los productores de sal interesados en la producción de *Artemia* pueden desear no convertir sus salinas en un sistema de cultivo de *Artemia* que funcione de manera óptima y, por lo tanto, no realizar cambios sustanciales en el diseño de sus salinas, descrito anteriormente, en toda su extensión. Este enfoque puede estar inspirado en varios objetivos (Vinh *et al*., 2019):

- Mantener la libertad de cambiar la estrategia de producción entre *Artemia* y sal en cualquier momento, en función de la demanda del mercado, el margen de beneficio estimado según el modelo de producción, etc.
- Ahorrar gastos y tiempo necesarios para la construcción/adaptación óptima de los estanques: la explotación de estanques de *Artemia* más profundos requiere más agua salina, como se ha descrito anteriormente, y, por lo tanto, un tiempo de preparación más largo que, por ejemplo, el periodo de unos 30 días en el delta del Mekong, que normalmente es suficiente para obtener agua salina de 80-100 g/L cuando se trabaja con agua poco profunda (como es el caso del proceso de producción de sal). Este factor se agrava aún más en el contexto del cambio climático, con la aparición cada vez más frecuente de fenómenos meteorológicos extremos: un período de preparación más largo acorta el período de producción de *Artemia* y lo retrasa hasta la estación seca. Sin embargo, las temperaturas adecuadas para el cultivo de *Artemia* se dan generalmente a principios de la temporada. Más adelante, en la estación seca, se registran con mayor frecuencia temperaturas extremadamente altas, lo que provoca una mayor mortalidad y una menor reproducción de *Artemia*.

2.2.3.4. Piso de los estanques y diques

Es fundamental evitar las fugas en los estanques. El estanque debe ubicarse en un lugar con suelo arcilloso, y su fondo y diques deben compactarse cuidadosamente durante la construcción (Lámina 21). Al elevar los diques, a menudo aparecen grietas en la estructura del suelo que son fuentes de fugas. Para minimizar esto, primero es necesario humedecer la superficie antigua del dique, añadir tierra nueva encima y compactarla de nuevo. A continuación, se puede utilizar óxido de calcio (CaO) y suelo arcilloso no solo para rellenar los agujeros y grietas, sino también para matar los cangrejos y peces que viven en esas grietas. Además, para limitar la erosión excesiva, el dique debe construirse con una pendiente que se corresponda con una relación superficie-base de 1:2 (Figura 24). En lugar de la compactación manual, el uso de maquinaria permite una construcción más firme y resistente. Al inicio de la

LÁMINA 21
Diques compactados manualmente



© CTU

época seca, y antes de llenar el estanque con agua, se recomienda raspar la capa de lodo del fondo y dejar que ésta se airee por 2-3 días para estimular la actividad de bacterias aeróbicas en el fondo del estanque. Estas bacterias descomponen la materia orgánica, liberan nutrientes del sustrato, y remueven compuestos tóxicos tales como el sulfuro de hidrógeno(H_2S) y el amoníaco (NH_3).

2.2.3.5. Liming (tratamiento con cal)

Normalmente, los estanques utilizados para el cultivo de *Artemia* no necesitan hacer el tratamiento con cal (*liming)*. El agua altamente salina suele tener una dureza superior a 50 mg de carbonato cálcico ($CaCO_3$) por litro (debido a la presencia de carbonatos). El *liming* de estanques con tal grado de dureza del agua no mejorará el rendimiento. Sin embargo, se puede considerar cuando el agua de cultivo tiene un pH inferior a 7,5 y cuando es difícil estimular la floración de algas.

Los productos químicos utilizados para el *liming* son los óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y magnesio. Las sustancias de *liming* más utilizadas en la acuicultura son el carbonato cálcico agrícola ($CaCO_3$), el CaO (cal viva) y el hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$), o cal hidratada. El uso de cal aumentará rápidamente el pH del entorno del estanque, hasta aproximadamente 10, y puede matar los patógenos y organismos que sobreviven en el fondo. Después de unas tres semanas, el pH disminuye a 7,5 y se produce una mineralización normal. Las dosis recomendadas varían entre 500 kg y 1 000 kg de $CaCO_3$ por hectárea. La necesidad de cal es mayor en fondos arcillosos, fondos ácidos y cuando el agua del estanque tiene una baja concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+}.

Si bien el secado puede ser beneficioso para la mayoría de los suelos, no ocurre lo mismo con suelos sulfato-ácidos (ver más arriba), que suelen encontrarse en las zonas de manglares. Cuando se exponen al aire, la pirita de estos suelos se oxida y forma ácido sulfúrico (Hoa, 2014). Es posible el *liming* de estos suelos, pero se necesitan grandes cantidades de cal. Un método más sencillo para reducir la acidez consiste en enjuagar los estanques repetidamente después de la oxidación (exponiendo el suelo al aire). Sin embargo, este procedimiento puede llevar mucho tiempo. Por lo tanto, este tipo de fondo suele mantenerse sumergido y se añaden capas adicionales de suelo oxidado sin ácido sobre el sustrato original. En general, debe evitarse el cultivo de *Artemia* en regiones con suelos sulfato-ácidos.

2.2.3.6. Control de predadores

Los depredadores de *Artemia* son aves zancudas, crustáceos como el cangrejo y peces como la tilapia. Además, los insectos acuáticos (Corixidae) y una variedad de organismos zooplanctónicos, como los copépodos ciclópoides, los rotíferos y el protozoo ciliado *Fabrea salina* (Lámina 22), pueden actuar como competidores alimenticios o depredadores de los nauplios de *Artemia*.

La depredación por aves se puede evitar mediante el uso de espantapájaros instalados en el estanque. Dado que los estanques a menudo no pueden drenarse por completo, puede ser necesario controlar a algunos depredadores antes de llenarlos. Los peces y crustáceos depredadores que quedan en los charcos pueden eliminarse usando rotenona (0.05 mg/L a 2.0 mg/L); torta de semilla de té (15 mg/L); una combinación de urea e hipoclorito (5 mg/L urea y 24 h más tarde 5 mg/L hipoclorito de calcio $Ca(OCl)_2$,); o raíz de la planta leguminosa derris (1 kg/150 m^3). El Dipterex® (2 mg/L) mata a los depredadores más pequeños, como los copépodos, pero también es muy tóxico para los camarones. La degradación de la rotenona y el cloro a formas no tóxicas es bastante rápida (24-48 h). Si, por el contrario, se utilizan tortas de semillas de té o Dipterex®, los estanques deben enjuagarse antes de introducir *Artemia*.

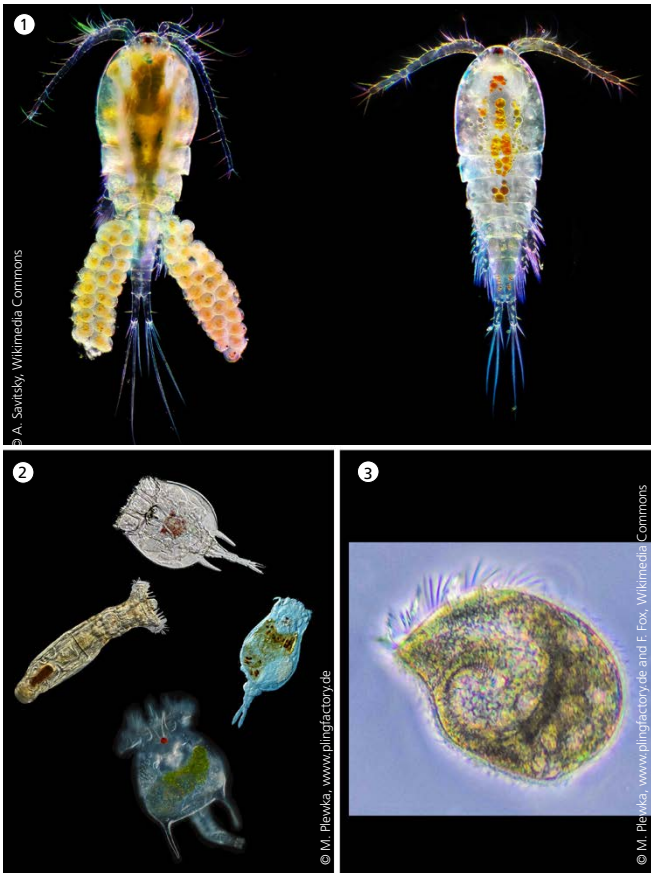
Durante el funcionamiento del estanque, se puede evitar la presencia de depredadores acuáticos filtrando el agua de entrada, instalando un drenaje ("*monk*") (Lámina 23), a través de una rejilla, lo que impide que los huevos y las larvas de peces o crustáceos

entren en el sistema. En caso de que los estanques se manejen de forma independiente (estanques estancados, cada uno con un sistema de entrada y salida independiente), se debe instalar una rejilla de filtro delante de cada toma de agua. En un sistema de flujo continuo en el que el agua de diferentes estanques se gestiona mediante un suministro común y canales de drenaje con estaciones de bombeo, normalmente se instala una red de pesca fina (red de cerco) en la primera estación de bombeo (Lámina 23). Para restringir la presencia de competidores alimenticios y depredadores, se pueden usar cajas de filtrado de malla de acero inoxidable (con una obertura de malla de 120 µm) para filtrar el agua a la entrada. No obstante, este tipo de filtro generalmente tiene un alto costo y es menos eficaz cuando se utiliza en entradas grandes o en fuentes de agua que contienen mucho material en suspensión, como algas de gran tamaño, zooplancton y partículas orgánicas. Por lo tanto, la forma más eficaz de prevenir y/o eliminar estos organismos es aumentar el nivel de salinidad del estanque hasta 80-100 g/L o más en los días previos a la inoculación de *Artemia*, o utilizar raíz de derris o rotenona; 24 horas después de su aplicación, se puede inocular el estanque.

LÁMINA 22

Depredadores y competidores alimenticios de *Artemia*

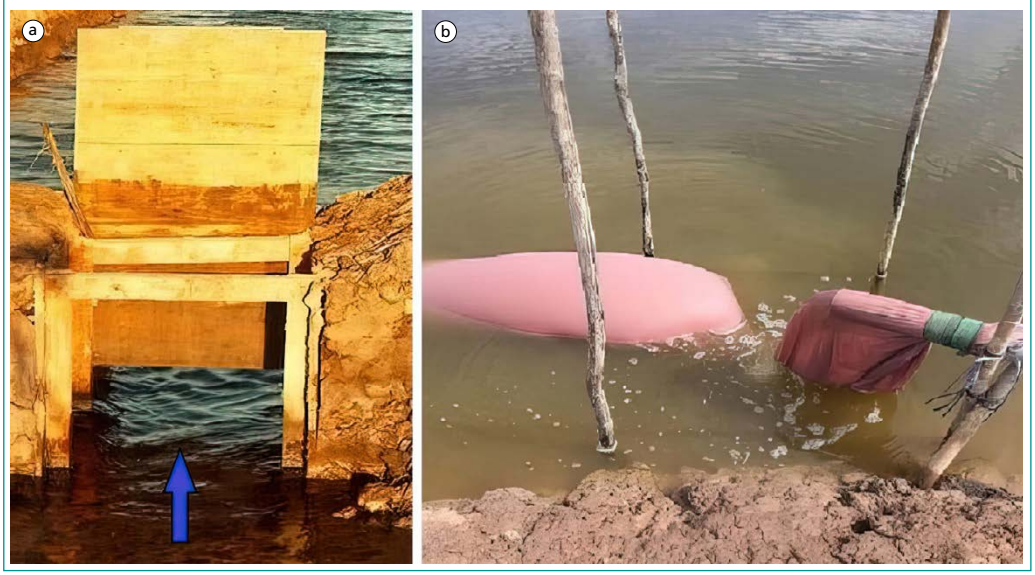
(1) Copépodos; (2) Rotíferos (en el sentido del reloj, empezando por arriba:*Platyias quadricornis*[1], *Euchlanis deflexa*[1], *Brachionus quadridentatus*[2], *Rotaria citrina*[1]; (3) *Fabrea salina*



Fuente: (1) A. Savitsky, Wikimedia Commons.
(2) [1] M. Plewka, www.plingfactory.de and [2] F. Fox, Wikimedia Commons. (3) B.T. Larson, University of California, San Francisco, Estados Unidos de América.

LÁMINA 23

Drenaje (monk) ubicado en el ingreso de agua (la flecha indica la dirección del agua) (a); una malla de peces/una bolsa de tela para atrapar a peces que entran (b)



© CTU

2.2.3.7. Producción de agua de alta salinidad

Procedimientos generales para la evaporación de agua de mar
Una vez completada la adaptación/renovación del estanque, todo el sistema de producción se llena con agua de mar para su evaporación mediante la acción del viento y la energía solar, con el objetivo de obtener agua salina de al menos 80 g/L. La preparación del agua salina tiene alta prioridad, ya que este período se considera como "tiempo de espera". La duración de este proceso de evaporación depende de las condiciones meteorológicas, la superficie de agua expuesta a la luz solar, la salinidad inicial y el volumen de agua salina necesario para el proceso de producción.

Dependiendo de la experiencia del productor y de las características geográficas locales, los productores del delta del Mekong, por ejemplo, tienen protocolos para operar a través de una "capa de agua fina" (es decir, agua poco profunda) o una "capa de agua gruesa" (es decir, agua profunda). Además, se suele rastrillar con frecuencia para crear turbulencias en el agua y acelerar así la velocidad de evaporación. En las condiciones climatológicas de las salinas de Vinh Chau-Soc Trang, la preparación del agua salina lleva al menos un mes, y hay varios factores que pueden interferir negativamente en el proceso de evaporación:

- Fin tardío de la temporada de lluvia.
- La toma de agua de mar, que suele estar situada cerca de los estuarios, generalmente recibe una mezcla de agua dulce y agua de mar. En consecuencia, la salinidad en la primera entrada del sistema de producción es muy baja, normalmente entre 12 y 15 g/L, al comienzo de la temporada de producción.
- En determinadas zonas (en el delta del Mekong), el comienzo de la estación seca suele coincidir con un régimen de vientos fríos (es decir, el monzón del noreste), lo que reduce la temperatura del agua y, por lo tanto, ralentiza el proceso de evaporación.

Por consiguiente, con el fin de acelerar el proceso de evaporación y, por lo tanto, avanzar en el proceso de producción de *Artemia*, se han elaborado una serie de adaptaciones de los protocolos de producción, tal y como se describe a continuación.

Uso de salmuera saturada para obtener agua con alta salinidad
El uso de agua salada para acortar el tiempo necesario para la evaporación es un método que se ha aplicado ampliamente en la producción de sal en muchos países del mundo, un procedimiento que se lleva a cabo de la siguiente manera: Al final de la cosecha de *Artemia*, el agua de los estanques de cultivo o de evaporación que aún tiene una alta salinidad puede recogerse y almacenarse para la siguiente temporada en un depósito, es decir, un estanque con una profundidad mínima de 1 m, que no tenga fugas ni contaminantes. Para retener el agua salada durante la temporada de lluvias, se debe instalar una salida de rebose para drenar la capa superficial de agua de lluvia y minimizar así el riesgo de que el agua de lluvia diluya el agua salina. La experiencia adquirida en las zonas de Soc Trang y Bac Lieu muestra que, cuando se utiliza un estanque con una profundidad de 1-1,2 m para almacenar agua salina con una salinidad inicial de 100-120 g/L, la salinidad del agua desciende a 45-5 g/L tras 5-6 meses de almacenamiento en la temporada de lluvias. En función de la salinidad y el volumen total del embalse, se puede adaptar el tamaño de la zona de cultivo de *Artemia* para la siguiente temporada. Mezclar esta agua con agua de mar natural o agua de los estanques de evaporación puede garantizar que se alcance rápidamente la salinidad objetivo de 80-100 g/L para la inoculación de *Artemia*.

Cuando se utiliza agua salada para producir agua salada de 80-100 g/L, hay que tener en cuenta si la salinidad es demasiado alta, se han precipitado varias sales, lo que cambia la composición química del agua salada (ver Sección 2.1.2). Dado que la tolerancia de las diferentes cepas de *Artemia* a estos desequilibrios químicos no siempre está bien

documentada, se recomienda que el agua salada utilizada para este proceso no tenga una salinidad superior a 120 g/L.

LÁMINA 24
Sal sin refinar ("negra") (derecha) puede ser usada para acelerar el incremento de la salinidad en estanques de *Artemia*



© CTU

Uso de sal sin refinar para obtener agua con alta salinidad

El productor de *Artemia* también puede aumentar la salinidad añadiendo sal sin refinar al estanque de evaporación o directamente a los estanques de cultivo de *Artemia*, pero esto solo debe hacerse utilizando productos salinos de baja calidad (también conocidos como "sal negra", Lámina 24), que son baratos y tienen una baja demanda en el mercado.

La experiencia práctica en el delta del Mekong muestra que para un área de cultivo de *Artemia* de 1 800 m² y añadiendo cerca de 30 t de sal al agua de mar con una salinidad inicial de 30 g/L, el tiempo necesario para preparar 80 g/L de agua salada en un estanque de 10 cm de profundidad puede ser reducida de las 3-4 semanas usuales a 1-2 semanas. Como se menciona arriba, la eficiencia económica de esta práctica debe ser considerada tomando en cuenta la inversión adicional. En condiciones en las que la sal es barata y no se puede comercializar, valorizar este producto para adelantar el tiempo de almacenamiento de *Artemia* y, por lo tanto, prolongar la temporada de producción de *Artemia* puede ser rentable.

2.2.4. Manejo del alimento

2.2.4.1. Tipos de alimento provisto y monitoreo del estado nutricional de la población de Artemia

Artemia es un organismo filtrador continuo no selectivo, y hay varios factores que pueden afectar su tasa de filtración, de digestión y de asimilación incluyendo la calidad y cantidad del alimento usado, la etapa de desarrollo, el estado fisiológico de los animales y las condiciones abióticas de cultivo. Un alimento apropiado para *Artemia* debe cumplir los siguientes criterios:

- Se puede adquirir fácilmente en el mercado o producir con facilidad.
- Su costo de producción o compra es bajo.
- Tiene el tamaño adecuado (partículas <50 µm para adultos de *Artemia*).
- Es altamente digerible y tiene una composición nutricional adecuada, dando lugar a una tasa de conversión alimentaria favorable.
- Se puede almacenar sin perder su calidad (para alimentos que no sean microalgas vivas).
- Tiene baja solubilidad o lixiviación de los componentes nutricionales (para alimentos que no sean microalgas vivas).

Si bien existen protocolos de alimentación estándar para el cultivo de *Artemia* en laboratorio con microalgas u otros tipos de alimentos, el manejo de la alimentación para el cultivo en estanques requiere observación diaria y, si es necesario, ajustes.

En el cultivo de *Artemia* en estanques, las microalgas se utilizan principalmente como alimento, creciendo directamente en el estanque de *Artemia* o suministradas a través del agua verde del estanque de fertilización (Le *et al.*, 2019; Van Stappen *et al.*, 2019). Sin embargo, dado que la disponibilidad de microalgas suele fluctuar en función de las fuentes de nutrientes proporcionadas y de los parámetros abióticos del agua, como la temperatura y la salinidad, lo que a menudo conduce a un desarrollo inestable de las algas en el estanque de fertilización, se suele proporcionar alimento adicional

como factor clave para garantizar la productividad. Otras fuentes de alimento utilizadas para el cultivo de *Artemia* suelen ser fertilizantes orgánicos, como el estiércol de cerdos u otros animales terrestres. Además, para mantener un nivel de alimentación estable en el estanque de *Artemia* (especialmente cuando el suministro de agua verde no satisface las necesidades de *Artemia*), se añaden como alimentos suplementarios en los estanques residuos del aditivo alimentario glutamato monosódico ("*ami-ami*", Ajinomoto en Ecuador) o los subproductos de la transformación agroindustrial (transformación de arroz, maíz, soya, leche, etc.) (Le *et al*., 2019; Van Stappen *et al*., 2019).

Los suplementos alimenticios suelen ser objeto de trabajos experimentales en estanques (Hoa *et al*., 2013) para investigar cómo se puede aumentar el rendimiento (y los beneficios) aplicando, por ejemplo, la fermentación de productos agrícolas baratos como el salvado de arroz, o mediante el uso o la suplementación con alimento para camarones y harina de pescado, administrados directamente en el estanque (Anh *et al*., 2009; Hoa y Van 2019). Además, la Universidad de Can Tho, en Viet Nam, ha producido un alimento seco formulado para *Artemia* (ver Sección 2.2.4.4), que puede utilizarse como suplemento alimenticio en el cultivo en estanques cuando hay escasez de agua verde. Asimismo, la tecnología biofloc puede aplicarse en el cultivo de *Artemia* en estanques (Hoa y Hong Van, 2019) añadiendo una fuente de carbono barata al estanque de fertilización para alcanzar una relación C:N de 10 o más, o directamente al estanque de cultivo de *Artemia* , para estimular el desarrollo de bacterias heterotróficas: técnica que ayuda a estabilizar el medio ambiente al convertir los productos de desecho nitrogenados en biomasa bacteriana que puede ser utilizada como alimento por *Artemia* , lo que permite ahorrar en costos de otras fuentes de alimento. Cuando se alimenta bien, tanto en cantidad como calidad, *Artemia* alcanza la etapa adulta en un plazo de 10 a 15 días, aumentando su masa corporal unas 500 veces respecto de los nauplios recién nacidos.

Si bien existen varias formas de satisfacer las necesidades nutricionales de *Artemia* en el estanque, la clave está en supervisar y evaluar si la fuente de alimento utilizada es adecuada para su crecimiento. Esta evaluación se basa en la observación de individuos o de la población en su conjunto:

- Están las heces bien llenas? Esto se puede comprobar manteniendo a algunos animales en un recipiente con agua de estanque, recogiendo las heces del fondo y examinándolas con un microscopio. ¿Las heces son cortas o los animales tienen heces largas en forma de cola (Lámina 26)? Si se observan "bolitas con cola" junto con bolitas solo parcialmente llenas, los animales están desnutridos. Si se observan bolitas con cola, pero las bolitas y las vísceras están bien llenas, la comida no se digiere correctamente, lo que puede deberse a una sobrealimentación o a la presencia de algas inadecuadas.

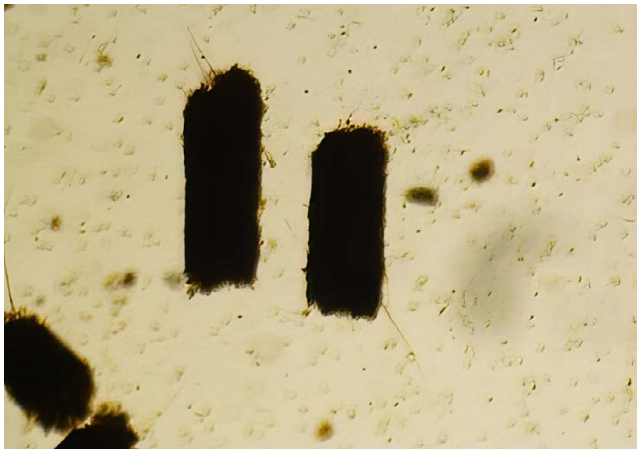
LÁMINA 25
***Artemia* con el intestino lleno (a) y desnutrida (b)**



© LAARC

- ¿Tienen los individuos de la población de *Artemia* un tamaño uniforme? ¿Qué color se observa comúnmente (colores vivos, opacos, pálidos, etc.)?
- ¿*Artemia* nada activamente? ¿Nadan en grupos o solos, cerca de la superficie del agua o del fondo? (Cuando carecen de alimento, *Artemia* tiende a permanecer cerca del fondo del estanque, alimentándose de la capa inferior de algas).
- ¿Muestra la población un tiempo normal de desarrollo y madurez sexual? ¿Cuándo se observan parejas acopladas? (En el caso de *Artemia* de Vinh Chau, la reproducción debería comenzar entre 10 y 15 días después de la inoculación).
- ¿Cómo es la fecundidad de las hembras (según se observa al diseccionar los ovarios)? ¿Muestran una alta fecundidad (tamaño de la camada) o no? ¿Los ovarios son de color brillante u oscuro? ¿Cuál es la proporción de hembras con ovarios vacíos?
- ¿Cuál es el equilibrio entre las diferentes clases de edad de la población, es decir, nauplios, juveniles, sub adultos y adultos? (ver Sección 2.2.5.4.)
- ¿Hay *Artemia* muerta acumulada en la esquina a sotavento?

LÁMINA 26
Bolas fecales cortas y compactas



© LAARC

Una observación correcta depende en gran medida del interés y la experiencia del acuicultor; una observación completa y correcta permite realizar ajustes en el manejo del estanque cuando es necesario, lo que conduce a un período de cultivo más largo, con una productividad más alta y estable.

2.2.4.2. Producción de agua verde

Principios generales de la producción de agua verde

Artemia cultivada en estanques necesita recibir microalga como su principal alimento, mediante un uso combinado de fertilizantes orgánicos e inorgánicos pero manteniendo una proporción de N:P ≥3:1 (Geider y La Roche, 2002; Khoi, Guong y Merckx, 2006a). Estas microalgas provienen de dos fuentes: (1) de la fertilización del estanque, lo que se considera "fertilización indirecta" y la cual es generalmente también la principal fuente de agua verde; y (2) cultivadas en los estanques de cultivo a través de "fertilización directa" de los estanques. Cada estrategia de fertilización tiene sus ventajas y desventajas. En la práctica, la cantidad de fertilizante y estiércol aplicado al estanque de fertilización son mucho más altos que la cantidad aplicada a los estanques de *Artemia*, lo que puede resultar en la acumulación de sedimentos y de nutrientes sedimentados en el estanque de fertilización. Si bien la densidad de las algas es importante, también lo es su composición; en la práctica, los protocolos de fertilización tienen como objetivo la proliferación de algas verdes y diatomeas (Hoa y Nhi, 2020; Hoa y Le, 2021).

Los protocolos para la producción de agua verde se han desarrollado de forma empírica y, por lo tanto, también tienen algunas limitaciones:

- El agua verde se produce a partir de especies de microalgas locales que entran en el sistema de producción a través de la entrada de agua de mar. Por consiguiente, puede ser difícil inducir la proliferación de especies adecuadas para la producción de *Artemia* (p. ej., las diatomeas).

- La composición de las algas también se ve afectada por factores ambientales, como temperatura, salinidad, luz, estacionalidad y nutrientes del suelo. En condiciones adversas, aparecen algas filamentosas o de mayor tamaño (macroalgas), que no son adecuadas como alimento para *Artemia* y que, además, compiten con las microalgas por los nutrientes disponibles.
- La salinidad en el estanque de fertilización se mantiene baja (<50 g/L), lo que es adecuado para el desarrollo de microalgas. Sin embargo, con esta salinidad relativamente baja, a menudo están presentes depredadores de *Artemia*, como camarones y peces (la tilapia, en particular, puede crecer bien en el entorno del estanque de fertilización). Además, los competidores de *Artemia* (rotíferos, copépodos, Fabrea salina, etc.) pueden crecer y abundar en el estanque de fertilización de baja salinidad.
- El estanque de fertilización ocupa parte del área que podría utilizarse para el cultivo de *Artemia*. En caso de un menor desarrollo de algas, se requiere un área más grande para utilizarla como estanque de fertilización, por ende, se reduce el área de cultivo de *Artemia*.

La fertilización directa en el estanque de *Artemia* (sin utilizar un estanque de fertilización) no tiene algunas de las desventajas mencionadas anteriormente: se puede maximizar el área de producción de *Artemia* y la mayor salinidad de los estanques (>80 g/L) limita la invasión de depredadores y competidores. Sin embargo, estas condiciones también presentan algunas limitaciones: la fertilización con alta salinidad es menos eficaz, ya que solo unos pocos tipos de microalgas pueden adaptarse al agua muy salina (a menudo, la producción de microalgas no satisface las necesidades de la población de *Artemia*). Además, la fertilización directa en los estanques de *Artemia* provoca la acumulación de sustancias orgánicas, lo que requiere importantes costos de mano de obra para el rastrillado frecuente (Lámina 27) con el fin de mantener las partículas orgánicas en suspensión como alimento para *Artemia*. Cuanto más transparente sea el agua, más intenso será el rastrillado necesario. Por lo general, un enfoque eficaz consiste en: (1) aplicar fertilizantes inorgánicos en el estanque de fertilización o en su canal de entrada; y (2) aplicar fertilizantes orgánicos directamente en el estanque de fertilización o en los estanques de cultivo de *Artemia*. Suministrar agua verde a los estanques de *Artemia* no solo proporciona alimento, sino que también repone el agua perdida y evaporada. En los estanques de *Artemia* de Vinh Chau, el agua verde se suministra habitualmente cada dos días, lo que eleva el nivel del agua unos centímetros (equivalente al 10-15 % del volumen del estanque de *Artemia*), según las condiciones de cultivo.

LÁMINA 27
Mezclando la columna de agua y removiendo las partículas sedimentadas mediante el rastrillado del estanque de *Artemia*



© CTU

Medición de la densidad de algas y determinación de su composición de especies

La forma más fácil de estimar la abundancia de algas es midiendo la turbidez, lo cual se puede hacer fácilmente con un disco Secchi (Lámina 28). Este disco se sumerge en el agua hasta cuando el contraste entre las secciones blanca y negra (o roja) desaparece, momento en que se mide la profundidad. Después de bajar un poco más el disco, se vuelve a subir lentamente hasta que el contraste vuelve a ser visible, y se vuelve a registrar esta profundidad; el promedio de ambos valores de profundidad registrados es

la turbidez medida. La turbidez también fluctúa durante el día y suele ser más alta por la tarde. El viento (concentración de algas en las esquinas a sotavento) y los sólidos en suspensión (p. ej., partículas de arcilla) pueden afectar a las lecturas de turbidez. En los estanques de *Artemia*, las lecturas de turbidez entre 25 y 35 cm son óptimas. A niveles de turbidez más bajos (= valores de profundidad más altos medidos con el disco Secchi), es necesario bombear agua rica en nutrientes. A niveles de turbidez más altos (= valores más bajos), existe un mayor riesgo de agotamiento del oxígeno, especialmente al amanecer. La sobrealimentación, relacionada con una mayor turbidez puede ser un problema, especialmente para los nauplios y juveniles, lo que da lugar a una baja supervivencia y crecimiento; gracias a su capacidad de filtrado más eficiente, es menos problemático para las etapas adultas.

LÁMINA 28
Uso de un disco Secchi para medir turbidez



© U.S. Geological Survey

Si se dispone de tiempo y equipo, la densidad de algas también puede estimarse mediante el análisis de la concentración de clorofila (Takahashi, 2019; Jing-Yan, Li-Hua y Zhen-Hui, 2021; Solovchenko *et al.*, 2022) o mediante el recuento directo con una cámara de recuento de células sanguíneas (p. ej., Bürker). Sin embargo, estos métodos solo son válidos si se combinan con un programa de muestreo adecuado. Dado que las poblaciones de algas rara vez se distribuyen de manera homogénea por el estanque, se deben seguir las recomendaciones para el muestreo de *Artemia* (ver Sección 2.2.5.4).

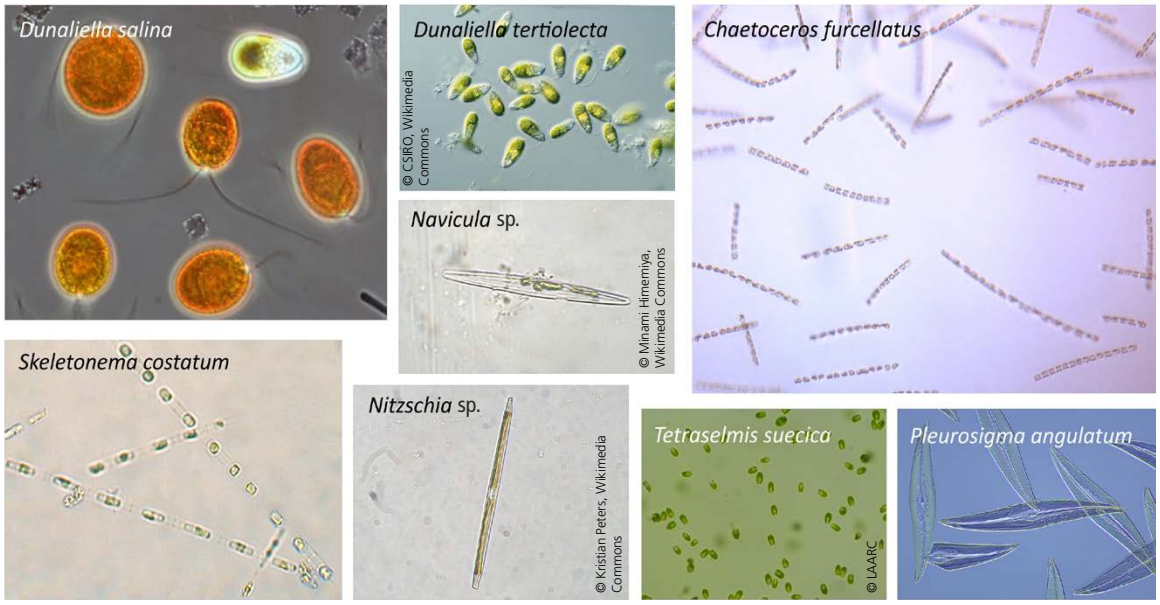
Además, el color del agua (Tabla 8) puede proporcionar información útil sobre el tipo y la concentración de partículas y microalgas presentes en los estanques de cultivo. Si se detectan problemas con el rendimiento de *Artemia*, se recomienda realizar un análisis más exhaustivo de las muestras de algas. El color verde suele indicar la presencia de clorófitas (algas verdes), y el color azulado, la presencia de cianófitas (algas verdeazuladas). Los colores marrones son indicativos de bacillariophytas (diatomeas), mientras que el color rojo es típico de aguas muy salinas con la microalga *Dunalliela salina* o con arqueas halófilas como *Halobacterium* (Hoa y Hong Van, 2019). La composición de las algas no solo afecta al crecimiento y la reproducción de *Artemia*, sino que también afecta al valor nutricional de la biomasa y los quistes (p. ej., el perfil de ácidos grasos). En Viet Nam, las diatomeas pertenecen al género *Nitzschia*, *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Navicula* y *Pleurosigma* han demostrado ser beneficiosas para la producción de *Artemia*, tales como los géneros de algas verdes *Chlamydomonas*, *Tetraselmis* y *Dunaliella* (Lámina 29). Las pruebas realizadas en estanques en Viet Nam también han intentado aumentar la producción de *Chaetoceros*

TABLA 8
Color del agua en relación con los diferentes tipos de partículas en suspensión

Color	Tipos de partículas y microalgas esperadas
Transparente	Pocos organismos presentes/nivel bajo de nutrientes.
Gris/blanco	Alta cantidad de partículas en suspensión, probablemente arcilla/yeso, especialmente luego de lluvia.
Verde	Algas, probablemente algas verdes. Una vez familiarizado con el sitio, se pueden asociar diferentes tonos de verde con diferentes tipos de algas verdes.
Marrón	Algas, posiblemente diatomeas.
Rojo	Si hay una alta salinidad, *Dunalliela* sp. o *Halobacterium* sp.

Fuente: Elaboración de los autores (LAARC).

LÁMINA 29
Especies de microalgas adecuadas para la producción de *Artemia*



© Mike Dyall-Smith, Wikimedia Commons
© CSIRO, Wikimedia Commons
© Richard A. Ingebrigtsen, Wikimedia Commons
© Minami Himeniya, Wikimedia Commons
© Minami Himeniya, Wikimedia Commons
© Kristian Peters, Wikimedia Commons
© LAARC
© Frank Fox, Wikimedia commons

en estanques separados revestidos de plástico de 15 m³, con el objetivo de producir un cultivo al aire libre de esta especie, que finalmente se utilizará como agua verde rica en *Chaetoceros*. Otras especies, como *Nannochloropsis* y *Chlamydomonas*, pueden ser difíciles de digerir debido a sus gruesas paredes celulares. La composición de algas en el estanque de fertilización depende de la población natural de algas en la entrada de agua: por lo general, las algas más dominantes presentes en la entrada de agua también serán las más dominantes en el estanque de fertilización. No obstante, puede haber cambios en la abundancia de especies dependiendo del esquema de fertilización y las condiciones ambientales del estanque (Hoa y Hong Van, 2019)

Fertilizantes y estrategias de fertilización

Los fertilizantes usados para inducir el crecimiento de microalgas en el estanque de fertilización pueden ser de dos tipos: orgánicos e inorgánicos.

(a) Fertilizantes inorgánicos

Fertilizantes nitrogenados – Fuente de nitrógeno (N)

Los más comunes son:

- Fertilizante de amonio: $(NH_4)_2SO_4$ (contiene un 20 % de nitrógeno);
- Fertilizante de nitrato de calcio (15-16 % nitrógeno): tiene un efecto rápido en la inducción del agua verde; y
- Fertilizante de urea y amida (46 % nitrógeno): se disuelve fácilmente, pero su efecto es más lento.

Fertilizantes fosfatados amida – Fuente de fósforo (P)

Los más comunes son:

- Superfosfato: $Ca(H_2PO_4)_2{\cdot}H_2O$ (16–20 % P_2O_5), alta solubilidad;
- Fosfato dicálcico: $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ (35–48 % P_2O_5), baja solubilidad;
- Superfosfato triple: $Ca(H_2PO_4)_2{\cdot}H_2O$ (42-48 % P_2O_5), buena solubilidad;
- Polifosfato sódico: 46 % P_2O_5, en forma liquida; y
- Ácido fosfórico: 54 % P_2O_5, en forma líquida.

Una cantidad considerable de fosfato se precipita en el agua salada, y el fósforo también se adsorbe rápidamente en el fondo del estanque (Khoi, Guong y Merckx, 2006a).

Es importante minimizar las pérdidas de fósforo por precipitación o la adsorción mediante el uso de una estrategia adecuada de fertilización con fósforo. Por ejemplo, se recomienda seleccionar fertilizantes fosfatados con partículas de tamaño fino, altamente solubles en agua y aplicarlos con frecuencia en pequeñas cantidades para maximizar su efecto (Hoa y Le, 2021).

La combinación de fertilizantes fosfatados y nitrogenados es la base para mejorar el crecimiento de las algas. La variación de estos dos componentes también afectará a la composición bioquímica de las algas. Los fertilizantes deben disolverse primero en agua dulce, incluso cuando se utilice un fertilizante líquido; a continuación, esta solución puede esparcirse por el estanque. La disolución en agua dulce aumenta la solubilidad y facilita la distribución uniforme del fertilizante por todo el estanque. La fertilización no debe realizarse en días nublados, ya que el desarrollo de las algas se ve limitado por la baja intensidad de la luz. Los fertilizantes son más eficaces cuando se aplican en agua con menor salinidad (<50 g/L); por esta razón, no deben aplicarse en estanques de *Artemia* con alta salinidad. Por último, las condiciones del estanque de fertilización deben mantenerse lo más estables posible (salinidad, nivel del agua, etc.) para favorecer el crecimiento de las algas. Unos días después de la fertilización, el agua adquirirá un color marrón o verde, lo que provocará una alta turbidez. A continuación, el agua verde del estanque de fertilización se bombea a los estanques de *Artemia*.

Las cantidades de fertilizantes necesarias varían y dependen de las condiciones naturales del lugar y de la composición de las especies de microalgas locales (Hoa y Nhi, 2020; Hoa y Le, 2021). Por lo tanto, los fertilizantes deben optimizarse a nivel local. En el delta del Mekong, el nitrógeno se aplica generalmente en una concentración de 1 mg/L (para aguas ricas en nutrientes) a 10 mg/L (para aguas pobres en nutrientes). Por ejemplo, para aumentar el contenido de nitrógeno en la columna de agua en 1 mg/L, un estanque con un volumen de 1 000 m^3 requiere 1 000 g de nitrógeno, lo que corresponde a 2 174 g de urea (ya que la urea contiene un 46 % de nitrógeno). Si después de dos días las algas aún no se desarrollan, se debe suministrar una segunda dosis superior a 1 mg/L hasta que aparezca el agua verde y la transparencia alcance aproximadamente 15-20 cm. Normalmente, la relación N:P recomendada (en peso) para estimular el desarrollo de las algas verdes y diatomeas deseadas es de 10:1 (Geider y La Roche, 2002). Sin embargo, dado que el fósforo se disuelve más lentamente en el agua salada y es adsorbido rápidamente por el fondo del estanque, una proporción de N:P = 3-5:1 (Khoi, Guong y Merckx, 2006a, 2006b) puede ser más adecuada en condiciones de campo. La proporción N:P también desempeña un papel importante en la composición química de las algas: En pruebas de laboratorio, la proporción N:P influyó no solo en la densidad celular, sino también en la estructura celular y la composición bioquímica de *Tisochrysis lutea* y *Nannochloropsis oculata*, con un mayor contenido de ácidos grasos en N:P 20:1 y 30:1 en comparación con 5:1 y 10:1 (Rasdi y Qin, 2015). Por otro lado, la aplicación de demasiados fertilizantes fosfatados, especialmente cuando se combina con altas temperaturas (>28 °C) y una alta transparencia del agua (hasta el fondo del estanque), estimulará el crecimiento de algas bentónicas (Cyanophyta). El crecimiento de cianofitas como *Lyngbya* y *Oscillatoria* también se ve favorecido por un alto contenido de fósforo combinado con una baja salinidad. Estas algas son demasiado grandes para las *Artemia*, que pueden quedar atrapadas en sus filamentos, provocando así el fenómeno de los "toracópodos pegajosos".

Una vez que se han desarrollado las poblaciones de algas, se debe seguir el mismo protocolo de fertilización al menos una vez por semana. Se recomienda fertilizar dos veces por semana cuando el desarrollo de algas es bastante bajo. Es esencial un suministro regular de agua para aumentar el contenido de CO_2 en el agua. Incluso cuando se sigue un protocolo estricto, la producción primaria puede verse afectada por las condiciones ambientales, como la temperatura, la luz y la salinidad, así como por la composición y abundancia de especies de la población local de algas en la entrada.

(b) Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos se utilizan habitualmente en la acuicultura para estimular la producción de alimentos naturales en el cultivo de camarones y peces, y lo mismo se aplica al cultivo de *Artemia* (Le *et al*., 2019). Se pueden utilizar deshechos de pollo, codorniz y pato, así como estiércol de vaca, cerdo y cabra; sin embargo, el de vaca no es el más recomendable, ya que parece estimular el desarrollo de algas bentónicas filamentosas. Recientemente, la frecuente aparición de la gripe aviar y el uso relacionado de productos médicos que pueden permanecer en las heces han hecho que no sea recomendable el uso de estiércol de pollo, especialmente el producto fresco recogido en la granja.

En los estanques de *Artemia*, se suele utilizar una combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos: los fertilizantes inorgánicos estimulan el rápido desarrollo de algas y la mineralización de los fertilizantes orgánicos (de menor relación C:N), mientras que los fertilizantes orgánicos actúan como fuente directa de alimento para *Artemia* o mantienen un cierto nivel de nutrientes disponibles en el estanque, ya que liberan lentamente los nutrientes en la columna de agua. Los fertilizantes orgánicos contienen no solo nitrógeno y fósforo, sino también muchos oligoelementos, por lo que tienen un efecto positivo en el crecimiento de las algas; estimulan el crecimiento de flóculos bacterianos, que también sirven de alimento para *Artemia*. La harina de trigo y de arroz, el salvado de arroz y otros subproductos agrícolas también se utilizan como alimento complementario para *Artemia* (Anh *et al.*, 2009). Cuando se utilizan productos altamente solubles, como la harina de soya, primero deben tratarse añadiendo agua con fuerte aireación durante 1-2 h para permitir que todos los componentes solubles se disuelvan (produciendo una suspensión turbia). A continuación, se debe apagar la aireación para permitir que las partículas no disueltas se asienten. Este proceso puede repetirse varias veces hasta que la turbidez sea mínima; las partículas finas se recogen y pueden suministrarse al cultivo de *Artemia*. El salvado de arroz solo debe utilizarse si hay escasez de alimento para los estanques de cultivo, ya que es relativamente caro, tiene un tamaño de partícula inadecuado (demasiado grande para el aparato de filtrado de *Artemia*) y contiene mucha fibra no digerible, lo que provoca una mayor acumulación en el fondo del estanque. En los estanques de *Artemia*, los fertilizantes orgánicos y los productos complementarios solo deben utilizarse en cantidades adecuadas, preferiblemente en dosis pequeñas y frecuentes, y no cuando la temperatura es demasiado alta o cuando no hay viento. Al aplicar fertilizantes orgánicos, el agua del estanque puede enturbiarse (debido a las partículas de estiércol en suspensión), pero estas partículas se asientan rápidamente y estimulan el desarrollo de capas de algas bentónicas si no se rastrilla el estanque con la frecuencia suficiente. Dado que los fertilizantes orgánicos tienen un alto contenido en fósforo, también pueden estimular el crecimiento de algas verdeazuladas y el crecimiento bacteriano también conduce a un mayor consumo de oxígeno (y posiblemente a un aumento de la acidez del fondo). Por lo tanto, una sobredosis de estiércol puede alterar los procesos en el fondo del estanque, provocar el agotamiento de oxígeno y, en consecuencia, provocar la mortalidad masiva de la población de *Artemia*, especialmente después de una noche tranquila.

En la producción de *Artemia* en el delta del Mekong, la cantidad recomendada de fertilizante orgánico es de 0,5 a 1,25 toneladas por hectárea al inicio del cultivo como fertilización inicial, seguida de un programa de fertilización a una tasa de 100 a 200 kg por hectárea durante 2 a 3 días. Cuando se utiliza salvado de arroz o harina de soya, la tasa suele ser de 10 kg a 20 kg por hectárea por día. Sin embargo, la calidad y las características de los fertilizantes orgánicos no son estables (dependen del lote de animales y del alimento que se les suministra), y los procedimientos de tratamiento y almacenamiento también afectan su calidad. Esto hace que a veces sea difícil determinar la cantidad adecuada.

El problema más común en los estanques poco profundos de *Artemia* es la presencia de algas bentónicas y algas filamentosas que suelen flotar en la columna de agua. Como

se ha explicado anteriormente, ambos tipos de algas son alimentos inadecuados para *Artemia*. Su crecimiento puede limitarse manteniendo el agua del estanque turbia y el nivel del agua lo suficientemente alto. En los estanques de *Artemia*, se debe rastrillar el fondo diariamente (Lámina 27) para volver a enturbiar el agua del estanque mediante la resuspensión de partículas orgánicas y perturbar la formación de fitobentos. Además, el fitobentos también se puede eliminar del estanque mediante el rastrillado. Si se desarrollan algas filamentosas o fitobentos en el estanque, estas pueden propagarse rápidamente y afectar a la recolección de quistes. El rastrillado frecuente puede requerir mucho esfuerzo y suponer un coste elevado. Si, a pesar de estos esfuerzos, la producción (quistes/biomasa) en el estanque se reduce debido a la aparición de fitobentos o algas filamentosas, o si la población de *Artemia* tiene dificultades para recuperarse después de eliminarlas, lo mejor es terminar el cultivo, vaciar y secar el estanque, y comenzar un nuevo ciclo de producción.

2.2.4.3. Cultivo de Artemia *en estanques usando bioflocs*

La tecnología biofloc en acuicultura

Los *bioflocs* se definen como un conjunto de materia orgánica y una variedad de microorganismos, entre los que se incluyen microalgas, bacterias y pequeños metazoos como rotíferos, protozoos y copépodos, y están presentes en todos los ecosistemas acuáticos. La tecnología de bioflocs (BFT, por sus siglas en inglés) se aplica ampliamente en el cultivo de varias especies acuícolas, como el camarón de patas blancas y la tilapia, ya que se considera una tecnología respetuosa con el medio ambiente y muy eficaz para reciclar nutrientes, idealmente con poco o ningún intercambio de agua (de Schryver *et al*., 2008; Avnimelech, 2009; Hargreaves, 2013; Hoa *et al*., 2017). La BFT se basa en el desarrollo de microorganismos (principalmente bacterias heterotróficas) mediante la adición de una fuente de carbono para aumentar la relación C:N en el entorno de cultivo (normalmente por encima de 10:1). Estos microorganismos, contenidos en las partículas de *biofloc*, tienen varias ventajas, ya que mantienen la calidad del agua al asimilar compuestos nitrogenados, produciendo así proteínas bacterianas "in situ". En consecuencia, aumentan la eficiencia de las operaciones acuícolas al mejorar la relación de conversión alimentaria y reducir el costo de los piensos. Los *bioflocs* proporcionan una variedad de nutrientes a los animales cultivados y también se ha demostrado que tienen propiedades inmunoestimulantes (de Schryver *et al*., 2012a, 2012b).

Estudios de laboratorio han demostrado que las bacterias pueden utilizarse como complemento alimenticio adecuado para *Artemia*, especialmente cuando el suministro de microalgas es escaso (Toi *et al*., 2013, 2014). Sin embargo, aunque existen múltiples estudios sobre la aplicación de la BFT para animales de acuicultura de agua dulce, salobre y marina, la aplicación de esta tecnología en condiciones de alta salinidad (80-100 g/L), como en el cultivo de *Artemia*, se ha investigado menos, especialmente en condiciones de estanque (Sui *et al*., 2013; Ronald *et al*., 2013; Luo *et al*., 2017; Gao *et al*., 2015).

Tecnología biofloc en el cultivo de Artemia

En la tecnología *biofloc*, se añade una fuente de carbono barata (p. ej., salvado de arroz o harina de trigo) al estanque de fertilización o a los estanques de *Artemia* en una cantidad que mantenga una relación C:N ≥10:1 (teniendo en cuenta la cantidad de nitrógeno suministrada a través de los fertilizantes). Las relaciones C:N elevadas en la columna de agua estimulan la producción de bacterias heterotróficas y, por lo tanto, la de *biofloc*. En la producción en estanques de *Artemia*, el uso de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, el alimento suplementario y los metabolitos de *Artemia* provocan la acumulación de nutrientes en el agua. Al igual que en otras aplicaciones de la acuicultura, la tecnología de *biofloc* se considera una herramienta prometedora para reducir esta carga de nutrientes y como fuente de alimento adicional para *Artemia*,

según los resultados de los trabajos experimentales realizados en el laboratorio y, en cierta medida, también en estanques (Hoa *et al*., 2017; Van Stappen *et al*., 2019). Los experimentos de laboratorio han demostrado que, incluso con salinidades más elevadas (entre 60 y 100 g/L), *Artemia* puede crecer en *bioflocs* durante al menos unas semanas, con una supervivencia, un crecimiento y una fecundidad (producción de quistes) similares a los que se obtienen cuando se alimenta exclusivamente con microalgas vivas, aunque el éxito del cultivo puede variar en función de la producción de *bioflocs* y de las condiciones de cultivo de *Artemia* (Hoa y Nam, 2019).

También se han llevado a cabo experimentos de producción de biofloc en estanques con alta salinidad, estimulando su producción por un período de tres semanas a varias salinidades dentro del rango 35-100 g/L, utilizando estiércol de pollo (a razón de 1,5 kg/estanque de 150 m^2 o 100 kg/ha durante tres días) y harina de trigo (0,3 kg/estanque de 150 m^2 o 20 kg/ha durante tres días) como fuentes de carbono/fertilizantes y manteniendo una relación C:N >10:1. Sin embargo, es importante mencionar que muchos países han advertido contra el uso de estiércol de pollo debido al riesgo de contaminación con antibióticos.

Estos experimentos dieron lugar a las siguientes conclusiones sobre el efecto de la salinidad y del período de cultivo en la producción de microalgas y biofloc (Hoa y Nam, 2019):

- La diversidad de especies de microalgas disminuyó a medida que aumentaba la salinidad, y hacia el final del periodo de cultivo.
- El tamaño de los bioflocs puede presentar alta variación en cualquier condición de producción y también puede presentar diferencias a lo largo del tiempo. Sin embargo, el tamaño de partícula tiende a ser menor – con una fracción mayor dentro del rango de absorción de los adultos de *Artemia*, ej. <50 µm – a salinidad más alta (80-100 g/L) que a una más baja (35-60 g/L) (Tabla 9).
- La cantidad de *bioflocs* producida, expresada como volumen total (Figura 25), sólidos suspendidos totales o sólidos suspendidos volátiles, puede variar a lo largo del tiempo: normalmente, primero se produce un aumento gradual de la producción de bioflocs, seguido de una ligera disminución. Sin embargo, la salinidad ambiental no parece tener un efecto claro sobre el volumen total de bioflocs producidos.
- La composición nutritiva de los bioflocs puede mostrar ligeras diferencias a lo largo del tiempo de producción, pero el contenido de proteínas es generalmente bajo (p. ej., entre el 8 % y el 18 %), mientras que el contenido de cenizas es alto (entre el 70 % y el 85 %). A medida que aumenta la salinidad, el contenido de proteínas tiende a disminuir y de cenizas tiende a aumentar (Tabla 10).

Se observaron resultados similares cuando se estimuló la producción de biofloc utilizando la misma metodología en estanques a 80 g/L y 100 g/L, en los que se cultivó *Artemia* durante 6 semanas, junto con estanques en los que solo se estimuló la producción de microalgas como control (Hoa y Nam, 2019).

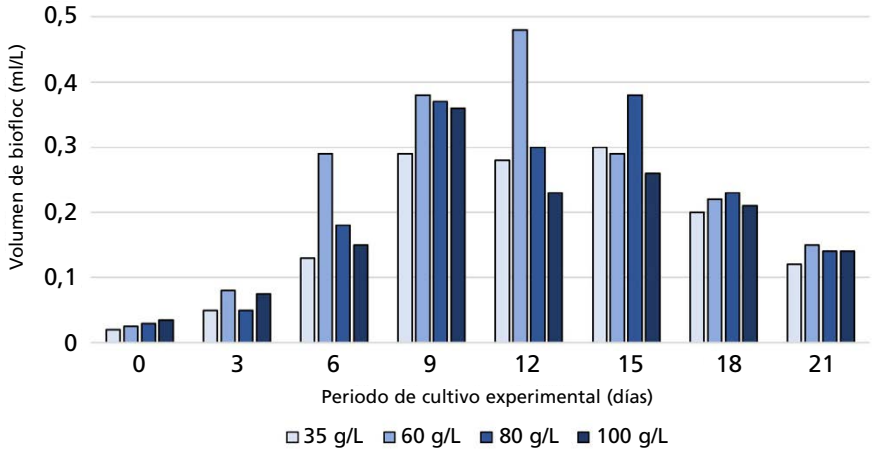
TABLA 9

Variación del tamaño (ancho-largo) de partículas de biofloc (promedio ± desviación estándar, µm) producidas en un período de cultivo de 3 semanas en estanques con diferentes salinidades

Día	Salinidad							
	35 g/L		60 g/L		80 g/L		100 g/L	
	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo
7	62,6 ± 30,2	93,6 ± 30,4	59,8 ± 25,9	76,7 ± 27,4	51,6 ± 28,8	81,4 ± 46,6	39,7 ± 11,4	74,5 ± 30,5
14	71,0 ± 20,4	105,3 ± 30,9	57,5 ± 22,3	102,6 ± 36,4	61,5 ± 30,5	97,9 ± 51,4	37,1 ± 26,1	61,3 ± 36,8
21	52,3 ± 18,7	98,2 ± 55,7	55,3 ± 19,4	80,6 ± 41,6	32,5 ± 19,6	66,3 ± 28,3	33,8 ± 15,8	49,7 ± 22,2

Fuente: Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of Artemia*. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa y D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

FIGURA 25
Fluctuación del volumen de biofloc producido en un periodo de cultivo de 3 semanas en estanques con diferentes salinidades



Fuente: Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of Artemia*. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa y D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

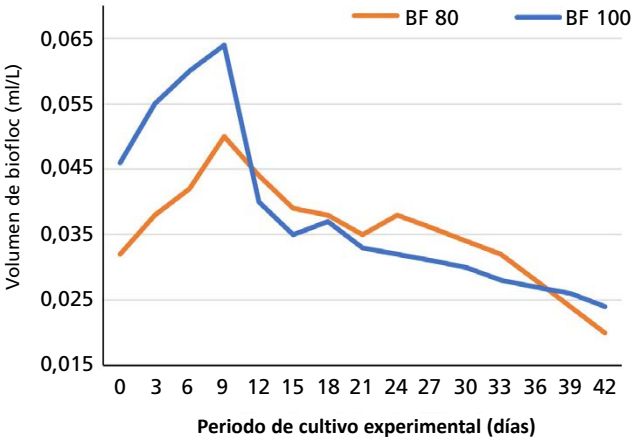
TABLA 10
Composición aproximada de los bioflocs (porcentaje de peso seco) producidos durante un periodo de cultivo de tres semanas en estanques con diferentes salinidades

Salinidad (g/L)	Día 7			Día 14			Día 21		
	Proteína	Lípidos	Ceniza	Proteína	Lípidos	Ceniza	Proteína	Lípidos	Ceniza
25	12,2	0,80	69,9	17,4	1,05	67,1	9,3	0,65	86,4
60	10,5	0,89	76,2	16,4	0,92	70,4	12,4	1,02	74,8
80	9,8	0,77	80,6	15,6	1,08	69,9	10,4	0,83	81,0
100	8,5	0,70	82,2	15,9	0,94	71,7	9,6	0,91	78,9

Fuente: Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of Artemia*. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa y D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

- El volumen de *biofloc* aumentó gradualmente al principio en todos los tratamientos y luego disminuyó gradualmente hasta el final del experimento (Figura 26).
- La fecundidad de las hembras (número de quistes/cría) fue mayor en los tratamientos con *biofloc*, lo que se tradujo en un rendimiento de quistes entre un 30 % y un 50 % mayor con BFT que con el sistema convencional de cultivo en agua verde (Figura 27).

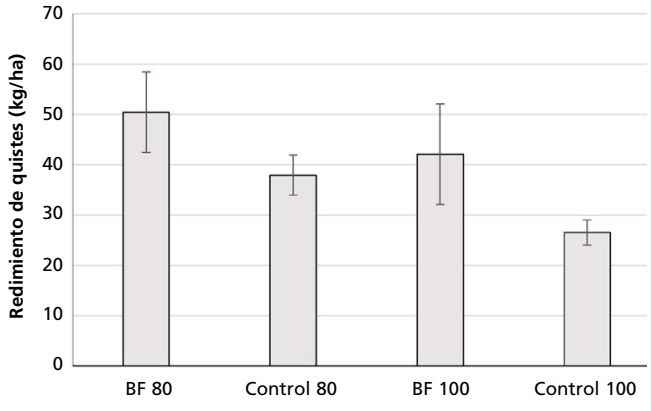
FIGURA 26
Fluctuaciones del volumen de *biofloc* (ml/L) producidos a lo largo de un periodo de cultivo de seis semanas en estanques de *Artemia* a diferentes salinidades (80 g/L y 100 g/L)



Fuente: Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of Artemia*. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa y D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

Además, el trabajo experimental en estanques demostró que para obtener un efecto alimenticio máximo, tanto de las microalgas como de los bioflocs, es necesario medir con frecuencia y manipular continuamente tanto la relación N:P (para la producción de algas) como la relación C:N (para los *bioflocs*) en los estanques a los que se suministran los productos fertilizantes, con el fin de favorecer el desarrollo simultáneo y equilibrado de las

FIGURA 27
Rendimiento de quistes (kg/ha) producidos a lo largo de un periodo de cultivo de seis semanas en estanques de *Artemia* de diferentes salinidades (80 g/L y 100 g/L) usando *bioflocs* o agua verde (control)



Fuente: Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of Artemia*. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa y D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

microalgas y los *bioflocs*. Mantener la densidad de algas y el volumen de bioflocs dentro de un rango adecuado no solo aumenta la producción de *Artemia* , sino que también mantiene condiciones ambientales estables. Al igual que en la producción de agua verde, el rastrillado del fondo del estanque es importante para la formación y distribución de las partículas de bioflocs en suspensión: el rastrillado regular evita que éstas se depositen en el fondo del estanque, lo que las hace más disponibles para la filtración por parte de *Artemia*.

2.2.4.4. Uso de alimento formulado para Artemia

Investigadores en la Universidad Can Tho en Viet Nam, recientemente desarrollaron un alimento comercial para *Artemia* usando diferentes ingredientes (Tabla 11). Este alimento formulado puede ser usado tanto para producción a pequeña escala (ej. cultivo en laboratorios) y a gran escala o producción en estanques (Le *et al.*, 2019; Van Stappen *et al*., 2019).

TABLA 11
Composición aproximada (porcentaje de peso seco) de ingredientes usados para el alimento comercial de *Artemia* de la Universidad Can Tho

Compuesto	Harina de pescado	Harina de soya	Salvado de arroz	Harina de trigo
Proteína cruda	60,04	47,18	15,11	1,96
Grasas crudas	7,82	1,24	14,63	0,20
Ceniza	27,68	7,12	9,17	0,34
Fibra	0,47	2,35	7,24	0,14
Carbohidratos	3,99	42,10	53,84	97,36
Agua (%)	9,89	10,03	11,59	11,76

Fuente: Elaboración de los autores (CTU, Viet Nam).

Utilizando estos ingredientes y otros complementarios (aceite de calamar, lecitina, premezcla de vitaminas), se han formulado y probado en condiciones de laboratorio diferentes alimentos experimentales con niveles de proteína comprendidos entre el 20 % y el 45 % y de lípidos entre el 5 % y el 13 %. Dentro de estos rangos, los alimentos que mostraban una combinación de niveles intermedios de proteínas (30-35 %) y un nivel de lípidos del 9 % dieron como resultado la mejor supervivencia, crecimiento y fecundidad de las hembras (Tabla 12 y Tabla 13 muestran, respectivamente, los ingredientes y la composición aproximada de estas dietas experimentales).

El alimento formulado se produce moliendo primero mecánicamente todos los ingredientes hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 50 µm. A continuación, estos materiales molidos se pesan y se mezclan en las proporciones correctas, tras lo cual se añade la carboximetilcelulosa como aglutinante. Se añade agua en una proporción del 30-50 % de la mezcla, tras lo cual la pasta se prensa mediante una peletizadora y se deja secar. Estos gránulos secos se muelen finamente con un molino hasta obtener partículas de menos de 50 µm. El producto final se envasa y se almacena en el refrigerador.

TABLA 12
Ingredientes (porcentaje de peso seco) de varios tipos de alimento comercial experimental para *Artemia* de la Universidad Can Tho University

Ingrediente	30% proteína	35% proteína	9% lípido
Harina de pescado Ca Mau	29,00	35,43	29,00
Harina de soya	18,45	22,54	18,45
Salvado de arroz	22,45	18,06	22,74
Harina de trigo	24,93	18,71	22,68
Aceite*	1,17	1,27	3,13
Premezcla de vitaminas**	2,00	2,00	2,00
CMC***	2,00	2,00	2,00
Total	100	100	100

* Aceite de calamar y lecitina: proporción de 1:1.

** Premezcla de vitaminas – unidades internacionales (IU, por sus siglas en ingles) o g por kg: vitamina A (400 000 IU); vitamina D3 (80 000 IU); vitamina E (1 g); vitamina K3 (2.4 g); vitamina B1 (1,6 g); vitamina B2 (3 g); vitamina B6 (1 g); niacina (1 g); vitamina B9 (0.8 g); vitamina B12 (0,004 g); ácido fólico (0,032 g); biotina (0.17 g); vitamina C (60 g); colina (4,8 g); inositol (1,5 g); etoxiquina (20.8 g); cobre (10 g); sulfato ferroso (20 g); magnesio (16.6 g); manganeso (2 g); zinc (11 g).

*** Carboximetil celulosa o goma de celulosa.

Fuente: Elaboración de los autores (CTU, Viet Nam).

TABLA 13
Composición aproximada (porcentaje de peso seco) de varios tipos experimentales de alimento formulado para *Artemia*

Compuesto	Control*	30% proteína	35% proteína	9% lípido
Proteína cruda	42,12	30,58	35,52	31,14
Grasas crudas	6,88	7,06	7,22	8,96
Ceniza	13,57	12,80	13,34	12,80
Fibra	2,24	2,10	2,11	2,12
Carbohidratos	35,19	47,46	41,81	44,99
Energía (kcal/g)**	4,50	4,39	4,45	4,31
Agua (%)	9,58	10,83	10,68	9,04

* Alimento comercial de *Penaeus monodon*.

** La energía cruda se calcula en base a lo siguiente (kcal/g): proteína = 5.65; lípidos/grasas = 9.45; carbohidratos = 4.20.

Fuente: Elaboración de los autores (CTU, Viet Nam).

2.2.5. Monitoreo y manejo del sistema de cultivo

2.2.5.1. Artemia *de Inoculación*

Selección de la cepa de Artemia

Como se menciona en la Sección 1.4, las cepas de *Artemia* se diferencian ampliamente en su rango de tolerancia ecológica y en sus características para su uso en la acuicultura. Por ende, la selección de la cepa mejor adaptada para las condiciones ecológicas del sitio o más apropiada para su próxima aplicación en la acuicultura es muy importante. La introducción de una cepa no local de *Artemia* debe considerarse con mucha cautela, especialmente en aquellos entornos en los que ello daría lugar al establecimiento de una población permanente, como en las salinas del noreste de Brasil (ver Recuadro 5); y la inoculación de cepas alóctonas en condiciones en las que puedan competir con las cepas locales y, por lo tanto, amenazar la biodiversidad local, debe desaconsejarse enérgicamente. La selección de la cepa puede basarse en datos de la bibliografía sobre el crecimiento, las características reproductivas y, especialmente, la tolerancia a la temperatura y la salinidad (Vanhaecke, Siddall y Sorgeloos, 1984). En resumen, se debe seleccionar una cepa que presente un crecimiento máximo y tenga una alta producción reproductiva en el régimen de temperatura/salinidad predominante en los estanques. Por lo general, se prefieren las cepas que producen quistes y nauplios pequeños, a menos que el objetivo principal sea la producción de biomasa (Baert *et al.*, 2002).

En este último caso, se recomienda seleccionar una cepa de crecimiento rápido con reproducción ovovivípara dominante.

Etapa de desarrollo utilizada para los procedimientos de inoculación y eclosión
Es esencial almacenar o inocular *Artemia* en la etapa de nauplio I, ya que almacenar etapas más avanzadas (metanauplios, juveniles, adultos) puede dar lugar a una menor supervivencia en las primeras 24 h debido al choque salino, resultado de la gran diferencia de salinidad entre el entorno de incubación de la eclosión (generalmente 20-35 g/L) y la salinidad del estanque (al menos 80 g/L). Debido a la presencia de una glándula salina, los nauplios en estadio I suelen sobrevivir al traslado directo de una salinidad baja a un alta, lo que no ocurre en estadios posteriores, en los que la boca y el ano están abiertos. Los nauplios en estadios posteriores también pueden sufrir un choque térmico. Por lo tanto, se deben utilizar quistes de eclosión sincrónica, lo que dará lugar a una población homogénea de estadio I tras un tiempo de incubación de eclosión estándar. Si no se dispone de quistes de esta calidad, las *Artemia* que se vayan a almacenar deben aclimatarse gradualmente a la salinidad y la temperatura del estanque antes de su almacenamiento.

Para la eclosión, se deben seguir los procedimientos estándar en la medida de lo posible, tal y como se describe en la Sección 3.1.5. Dado que las condiciones de eclosión en situaciones de campo suelen ser subóptimas, se deben observar al menos las siguientes instrucciones:

- Los recipientes de eclosión deben ser ubicados en lugares con sombra para prevenir zonas de excesivo calor a causa de la luz directa del sol.
- El agua de eclosión debe ser filtrada, preferiblemente con un filtro de 1 µm.
- Si el agua sigue turbia luego del filtrado, se debe reducir la salinidad del medio de eclosión a 20 g/L y los quistes deben eclosionar a una densidad máxima de 1 g/L.
- Se debe proporcionar suficiente aire e iluminación a los recipientes de eclosión, especialmente cuando los quistes están siendo incubados hacia la última hora de la tarde o por la noche.

La cantidad de quistes necesaria para obtener el número de nauplios requerido para la inoculación (ver más adelante), y teniendo en cuenta una mortalidad del 30 % en el momento del almacenamiento, se calcula a partir del volumen del estanque y la eficiencia de eclosión del lote seleccionado. Además, dado que las condiciones de eclosión pueden no ser óptimas, la eclosión podría ser inferior a la esperada (a menudo solo el 75 % de la eficiencia de eclosión del lote utilizado).

Densidad de inoculación
La densidad de población de los estanques viene determinada por las condiciones nutricionales (color y turbidez del agua causados por el desarrollo de algas) y por la temperatura de los estanques de cultivo. Por ejemplo, se recomienda una densidad de población de 100 individuos por litro con una turbidez del estanque de entre 15 cm y 25 cm. Cuando la densidad de población es mayor, el contenido de oxígeno puede verse limitado, especialmente cuando la temperatura del agua es alta y después de una noche tranquila. Con una mayor transparencia (>25 cm), que se corresponde con una menor disponibilidad de alimento, la densidad de población debe reducirse a 50-70 individuos por litro.

Basado en observaciones empíricas, se piensa que el cultivo en alta densidad favorece la producción de quistes en las hembras, y por ende es el preferido. No obstante, el cultivo en alta densidad no debe resultar en limitación en alimentos, por cuanto esto da lugar a una producción baja en general por un crecimiento más lento y maduración, y baja fecundidad. Por lo tanto, se debe evitar especialmente la combinación de alta densidad con limitación de alimentos, alta temperatura y estrés por oxígeno. Por otro lado, la cría a menor densidad parece promover la producción de nauplios en las

hembras (es decir, ovoviviparidad), pero esto puede conducir a un rápido aumento de la densidad de población y a una rápida maduración en presencia de alimentos suficientes. Por lo tanto, una baja densidad de población inicial puede ayudar a reducir la cantidad de quistes necesarios como inóculo, pero se necesitará más tiempo (es decir, el tiempo necesario para que las generaciones posteriores alcancen la edad adulta) para aumentar la densidad de población antes de alcanzar una alta productividad.

2.2.5.2. Resumen de los procedimientos de manejo

Desde el momento de la inoculación en adelante, es necesario un manejo activo y diario de los estanques de *Artemia* durante toda la fase de producción (el "cultivo"). Al inicio del cultivo e inmediatamente después del repoblamiento, los estanques de *Artemia* suelen presentar el fenómeno de "floración del agua" durante los primeros 7-10 días, causado por los nutrientes disponibles en la fuente de agua o por los liberados por la mineralización del fondo del estanque. En este periodo inicial, *Artemia* aún no ha alcanzado la fase adulta; el aparato filtrante aún no es muy eficaz y la demanda de alimento es relativamente baja. En consecuencia, la población de *Artemia* aún no es capaz de controlar el desarrollo de algas en el estanque. Por lo tanto, se recomienda no fertilizar en este periodo, o hacerlo de forma muy escasa y cuidadosa, o realizar la fertilización solo en el estanque de fertilización, ya que su agua verde estará lista para su uso solo unos días más tarde.

Después de la inoculación del estanque, las actividades de rutina incluyen el manejo del nivel del agua; el control de la salinidad y la temperatura; el control del color del agua y la disponibilidad de alimentos; la supervisión de la composición por edades, el comportamiento, el aspecto y el estado nutricional de la población (es decir, observar si los intestinos están completamente llenos y oscuros frente a vacíos o llenos de forma discontinua y/o pálidos; Lámina 30). Además, se debe comprobar periódicamente el estado reproductivo de las hembras, por ejemplo, el número de fases de los huevos presentes en el proceso reproductivo. Los huevos deben estar presentes simultáneamente en los ovarios, el oviducto y el saco de cría (= tres fases) y, si no es así, esto puede deberse a las condiciones de alimentación o al envejecimiento de la población. Además, se debe supervisar el número total de hembras portadoras de quistes frente a las portadoras de nauplios.

Paralelamente, los estanques de agua verde deben ser monitoreados y mantenidos para asegurar la disponibilidad de la suficiente cantidad de agua verde con la mezcla apropiada de alga para la alimentación de *Artemia.* La salinidad en el estanque de agua verde es también importante, no solo para asegurar el mayor desarrollo de algas, sino también porque una salinidad muy baja en el ingreso del agua verde puede causar que disminuya la salinidad en los estanques de *Artemia.* Dado que el cultivo en estanques es un cultivo abierto, las condiciones meteorológicas anormales o imprevistas pueden tener un efecto negativo en la supervivencia y el desarrollo de *Artemia.* Por ejemplo, al comienzo de la temporada de *Artemia,* las lluvias anormales, las bajas temperaturas y la baja intensidad solar pueden tener un impacto negativo, al igual que las altas temperaturas, las lluvias tempranas, la alta salinidad o la proliferación de fitobentos hacia el final de la temporada. Anticiparse a la

LÁMINA 30
Observación diaria de la población de *Artemia*



© CTU

interferencia negativa de estas condiciones ayudará a gestionar el estanque y a garantizar la supervivencia y el desarrollo de *Artemia* con costos de producción suficientemente bajos y un margen de beneficio suficientemente alto.

En las condiciones de Vinh Chau, y cuando se trabaja con *Artemia franciscana* de Vinh Chau, normalmente las primeras parejas reproductoras pueden observarse entre 7 y 10 días después de la inoculación; la reproducción puede comenzar a partir del día 10-15 en adelante. Por lo general, las primeras crías se producen de forma ovovivípara (es decir, producción de nauplios), pero al cabo de un tiempo parte de la población pasa a producir quistes (es decir, modo ovíparo). Cuando el objetivo es la producción de quistes, la recolección de estos puede comenzar cuando *Artemia* tienen entre 15 y 20 días de edad y cuando los quistes aparecen en la esquina a sotavento. En la producción de biomasa, la recolección de biomasa podría comenzar a partir del día 12-15. A partir de la tercera semana (es decir, unos 20 días después del repoblamiento), la actividad reproductiva se estabiliza en un nivel alto si hay un buen manejo de la población: las claves para el éxito de la productividad de *Artemia* son condiciones nutricionales y temperatura del agua estables. Otros factores, como la salinidad y el oxígeno, o la aparición de fitobentos, también pueden afectar a la productividad, pero su impacto es menos decisivo: incluso cuando estos factores no son óptimos, el rendimiento de los quistes/biomasa se mantendrá estable o incluso aumentará si se gestionan bien los niveles de nutrientes y la temperatura.

2.2.5.3. Manejo de los parámetros abióticos

Control de la salinidad y de la profundidad del agua

Como se describe anteriormente, las salinas funcionan con niveles de agua bajos (aproximadamente 15-20 cm) para facilitar la evaporación. Por lo tanto, para convertir una salina en un sistema de cultivo de *Artemia*, es necesario realizar algunas adaptaciones (ver Sección 2.2.3); gracias a estas adaptaciones, es posible convertir un campo de sal en un sistema de cultivo de *Artemia* mediante diques sólidos, compactados y elevados, y con la máxima capacidad para retener el agua.

Se ha observado que *Artemia* se encuentra en la naturaleza en un amplio rango de salinidad; sin embargo, en el cultivo en estanques, la salinidad se controla a lo largo de todo el cultivo a un nivel que permite que la población de *Artemia* crezca y se multiplique (generalmente entre 80 g/L y 120 g/L), que resulta prohibitivo para sus depredadores y competidores. Una salinidad demasiado alta (>250 g/L) también puede ser mortal para *Artemia*. Cuando la salinidad es demasiado alta, es necesario diluir el agua con agua salobre o incluso agua dulce, después de drenar el agua salina y antes de añadir agua de baja salinidad. La dilución no debe realizarse de forma demasiado brusca para evitar un choque de salinidad a la población de *Artemia* (es decir, 20-30 g/L al día como máximo). La cantidad de agua que se debe suministrar, en función de la salinidad del estanque de cultivo y la salinidad del agua de suministro, se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{(V_1 \times S_1) + (V_2 \times S_2)}{(V_1 + V_2)}$$

Dónde:
S = salinidad en el estanque después de la dilución (g/L)
V_1; S_1 = volumen (m^3); salinidad (g/L) en el estanque antes de la dilución
V_2; S_2 = volumen (m^3); salinidad (g/L) del agua a ser usada para la dilución

La mejor forma de medir la salinidad es mediante un refractómetro calibrable para diferentes temperaturas. Dado que la concentración de algas y otros materiales en suspensión influyen en el índice de refracción, se recomienda filtrar la muestra antes de realizar la medición.

Como se menciona en la Sección 2.2.3.7, debido a la baja salinidad del agua de mar a lo largo de la costa de las zonas de Soc Trang y Bac Lieu hacia el final de la temporada de lluvias, es decir, en noviembre y diciembre, la salinidad de la entrada al comienzo de la temporada de producción de *Artemia* es generalmente de solo 12-15 g/L. Por lo tanto, el proceso de preparación para alcanzar un agua salina de aproximadamente 80 g/L dura alrededor de un mes (pero a veces más). Esta fase puede prolongarse cuando se producen vientos fríos y/o lluvias anormales. Para acortar el tiempo de preparación del agua salina, los acuicultores pueden añadir sal cruda o salmuera almacenada del año anterior a los estanques de evaporación y/o de *Artemia*. El proceso de evaporación también puede acelerarse creando turbulencias en el agua con frecuencia (p. ej., rastrillando).

Teniendo en cuenta lo anterior y con el fin de maximizar la duración del período de producción, los acuicultores pueden comenzar a inocular cuando el nivel del agua del estanque se encuentre a unos 10 cm de la plataforma (el fondo), que es de al menos 40 cm en las zanjas periféricas, y la salinidad oscile entre 60 g/L y 70 g/L aproximadamente. A continuación, se suministra agua salina a los estanques inoculados para aumentar gradualmente el nivel del agua hasta 20-30 cm (es decir, al menos 50 cm en las zanjas), la cual se mantiene hasta el final de la cosecha. Debido a la evaporación, la salinidad aumentará hasta 80-100 g/L. Sin embargo, la repoblación cuando el nivel del agua aún es bajo provocará una diferencia significativa de temperatura del agua entre el día y la noche. Además, al inocular aguas poco profundas, los nauplios pueden ser arrastrados por el viento y quedar atrapados en las esquinas del estanque, lo que provoca una pérdida significativa de la población inicial. Las aguas poco profundas también facilitan que las aves acuáticas se alimenten de *Artemia*, especialmente porque las *Artemia* tienen la costumbre de nadar lentamente, flotando en la superficie del agua, sobre todo después de una noche tranquila, lo que las convierte en una presa fácil para las aves acuáticas. Una amenaza relacionada con la población en condiciones de salinidad inferior a 80 g/L es la presencia de copépodos, que invaden rápidamente los estanques y superan a las *Artemia*, otros organismos zooplanctónicos (p. ej., rotíferos, el protozoo ciliado *Fabrea salina*) y peces (principalmente tilapias) que compiten por el alimento (ver Sección 2.2.3.6).

Tras la inoculación, la salinidad del estanque seguirá aumentando debido a la evaporación por encima de 80 g/L; las temperaturas más altas hacia el final de la estación seca también desempeñan un papel crucial en el aumento de la evaporación, a un ritmo de 2-5 g/L por día. En condiciones específicas (p. ej., disponibilidad limitada de agua con menor salinidad como resultado del ciclo de las mareas, sol intenso, condiciones sin viento), la salinidad puede aumentar hasta 150-180 g/L con una temperatura del agua superior a 40 °C. Esto se convierte en una situación letal para la población de *Artemia*, y también tiene un efecto negativo en la densidad y la composición de especies de las microalgas en el estanque de agua verde. El suministro de agua verde a los estanques de *Artemia* suele ser insuficiente en estas condiciones. Además, en los estanques poco profundos, la luz solar penetra fácilmente hasta el fondo y estimula el crecimiento de algas filamentosas que compiten con las microalgas por los nutrientes y se convierten en masas de algas que cubren rápidamente el fondo del estanque cuando hay suficientes nutrientes y luz solar disponibles. Después de alcanzar una fase de crecimiento estable, estas algas mueren y se descomponen en trozos más pequeños que flotan en la superficie del agua atrapados con burbujas de aire. Estas pueden ser arrastrados por el viento y acumularse en las esquinas del estanque, donde pueden volver a depositarse en el fondo, descomponerse en condiciones anaeróbicas y liberar gases tóxicos (p. ej., H_2S, metano [CH_4], dióxido de nitrógeno [NO_2]) en la columna de agua. Estas condiciones tóxicas pueden causar una mortalidad masiva en la población de *Artemia*. Además, el fitobentos que aparece en la columna de agua actúa como trampa para los individuos de *Artemia* y los quistes, que se adhieren a los filamentos de algas y al moco, lo que complica la recolección de quistes y reduce el rendimiento.

En resumen, el manejo de la salinidad, junto con la profundidad del agua, es muy importante en el proceso de cultivo de *Artemia*, ya que una salinidad demasiado baja (en una fase temprana) o demasiado alta (hacia el final del cultivo) tiene un impacto negativo en la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de *Artemia* y, por lo tanto, en la cosecha. El manejo adecuado de la salinidad en el estanque contribuirá significativamente a prolongar el cultivo, aumentando así la productividad

Control de temperatura

La temperatura afecta al cultivo de *Artemia* directamente a través del desarrollo y la reproducción de la población, o indirectamente a través de la tasa de evaporación, la salinidad, la calidad del agua y el crecimiento de algas (Vanhaecke *et al*., 1984; Vanhaecke y Sorgeloos, 1989). Por lo tanto, la temperatura del estanque debe mantenerse a un nivel adecuado según la cepa de *Artemia* utilizada. La fluctuación de la temperatura del agua está influenciada por la salinidad, la profundidad, la transparencia, la velocidad del viento y las condiciones estacionales en general. Durante el ciclo de 24 h, las temperaturas del agua en las zonas de Soc Trang y Bac Lieu oscilan entre 20 °C y 40 °C, mientras que, por ejemplo, la temperatura óptima para el crecimiento de *Artemia* tipo Vinh Chau se sitúa entre 28-32 °C. En marzo y abril, en estanques con niveles de agua poco profundos (menos de 20 cm desde el fondo del estanque), la temperatura más alta del agua se alcanza por la tarde y suele oscilar entre 37 y 38 °C. Las temperaturas del agua superiores a 35 °C no son adecuadas para el cultivo óptimo de *Artemia* y pueden provocar una mortalidad masiva a medida que la temperatura sigue aumentando. Además, puede formarse una termoclina en un estanque profundo, especialmente después de una noche tranquila, cuando la temperatura en las capas inferiores de la columna de agua es más alta y la concentración de oxígeno es menor. En caso de una población densa de *Artemia*, esto también puede provocar una mortalidad masiva. Las temperaturas excesivas pueden evitarse: (1) evitando que la salinidad del estanque supere los 120 g/L; (2) manteniendo una profundidad de agua suficiente mediante la profundización de las zanjas periféricas y/o el aumento del nivel del agua; y (3) manteniendo una turbidez estable (es decir, una mayor transparencia favorece el aumento de la temperatura). El rastrillado regular del fondo del estanque para mezclar adecuadamente la columna de agua ayudará a disminuir el impacto de la termoclina. Además, los acuicultores pueden utilizar materiales locales baratos, como hojas de palmera, para cubrir parcialmente la superficie del estanque y proporcionar refugio a *Artemia* durante las horas más calurosas del día. A medida que la temperatura aumenta gradualmente hacia el final de la estación seca, se debe prestar atención a la temperatura del agua al repoblar *Artemia* en el estanque, por ejemplo, para iniciar un cultivo adicional al final de la temporada: Mientras que al principio de la temporada la temperatura aún es relativamente baja y, por lo tanto, la repoblación puede realizarse con un nivel de agua de entre 10 y 15 cm (desde el fondo del estanque), es necesario realizar un ajuste gradual al repoblar hacia el final de la temporada (p. ej., marzo-abril). En este caso, se necesita una profundidad de al menos 20 cm, seguida de un aumento continuo del nivel del agua a medida que avanza la estación seca.

Control del oxígeno disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto en los estanques de cultivo de *Artemia* deben ser superiores a 2,5 mg/L; los niveles inferiores a 2 mg/L tienen un efecto negativo en la producción de *Artemia* . El contenido de oxígeno suele ser mayor en la capa superficial del agua, especialmente cuando los estanques están estratificados. El contenido de oxígeno suele estar relacionado con la acción del viento y la densidad de algas y también presenta ciclos diarios. Las concentraciones son más bajas al amanecer (respiración de las algas), especialmente después de una noche tranquila y más altas por la tarde (fotosíntesis de las algas). Si se prevén problemas con el oxígeno, las mediciones deben realizarse al amanecer y cuando se detectan niveles de oxígeno más bajos, es

necesario suministrar agua nueva y mezclar la columna de agua. El bombeo adicional, la reducción de la concentración de algas, la interrupción de la fertilización (especialmente con estiércol) o la circulación del agua en el estanque también aumentarán los niveles de oxígeno.

El oxígeno se mide con un medidor de oxígeno portátil. Dado que los niveles de oxígeno cambian muy rápidamente una vez tomada la muestra, este parámetro debe medirse inmediatamente después de la toma de la muestra o, idealmente, directamente en el estanque. Durante la medición, la sonda debe moverse constantemente. El color y el comportamiento de las *Artemia* son buenos indicadores: cuando los animales sufren estrés por falta de oxígeno, se vuelven rojos, nadan lentamente, comienzan a nadar en la superficie y su crecimiento se retrasa. El agotamiento extremo del oxígeno puede causar una mortalidad masiva.

Control de pH

En su hábitat natural, *Artemia* se encuentra principalmente en un rango de pH entre 7,8 y 8,2, que a menudo se considera el rango óptimo, aunque la tolerancia al pH también depende de la cepa y algunas se adaptan a condiciones alcalinas (ver Sección 1.2). Por lo demás, los efectos del pH sobre el crecimiento y la reproducción no se han estudiado en detalle.

Las floraciones de algas pueden afectar al pH (el consumo de CO_2 aumenta el pH). Por lo tanto, en general, el pH más alto se alcanza por la tarde, mientras que el más bajo se produce cerca del amanecer. Dado que el agua de mar suele estar bien tamponada, los problemas con el pH son poco frecuentes, excepto en zonas con suelos sulfáticos ácidos.

2.2.5.4. Manejo poblacional e implicaciones estacionales

El estado de la población de *Artemia* se puede evaluar mediante un protocolo de muestreo apropiado.

Dos veces por semana se deben recoger varias muestras (p. ej., 10 muestras/ha) en los diferentes estanques de cultivo. Las muestras deben recogerse en estaciones de muestreo fijas situadas en tantos estratos diferentes como sea posible. Un hábitat puede dividirse en diferentes estratos, cada uno de los cuales tiene características ambientales ligeramente diferentes y, por consiguiente, diferentes densidades de *Artemia*: por ejemplo, en un estanque con una zanja periférica, la plataforma del estanque, la zanja y las esquinas pueden considerarse tres estratos diferentes, ya que la temperatura y la abundancia de algas pueden variar en estos tres lugares. Además, las etapas de desarrollo más tempranas tienden a acumularse en la sección del estanque situada a sotavento, mientras que las etapas más avanzadas se encuentran en lugares más tranquilos y a barlovento. Al tomar muestras en diferentes lugares, se reduce el riesgo de no encontrar *Artemia*, aunque esté presente en el estanque. En general, se recomienda tomar muestras a primera hora de la mañana, cuando la población está distribuida de forma más homogénea. Se recomienda utilizar los dos métodos de muestreo a continuación:

- En cada sitio de muestreo se filtran entre 5-10 L en un colador (100 µm).
- Se arrastra una red cónica a lo largo de una determinada distancia por el agua. El arrastre puede ser horizontal o vertical. Sin embargo, el tamaño de la malla y el diámetro de la red de muestreo dependen del volumen de agua que se vaya a muestrear, que a su vez depende de la densidad de población del estanque. Si la densidad de población es alta, se pueden utilizar redes con un diámetro de 30-50 cm y un tamaño de malla de 100 µm. En estanques grandes donde la densidad de población es baja, se arrastran redes más grandes (diámetro de hasta 1 m) a lo largo de una distancia mayor. Para evitar atascos, solo la parte distal de la red tiene un tamaño de malla pequeño (100 µm). El resto de la red puede tener un ojo de malla de 300-500 µm.

Se fijan las muestras con formalina/formol (4 %) y se examinan cuidadosamente, dividiendo a los animales en grupos. Tras la inoculación en la fase I, *Artemia* sufre 15 mudas hasta convertirse en adulta. Normalmente, se distinguen las siguientes fases: nauplios (ausencia de toracópodos), juveniles (toracópodos en desarrollo claramente visibles), sub adultos, adultos (diferenciación sexual aparente) y quistes.

La presencia relativa de cada fase recibe se califica de la siguiente manera:
- = ausente
+ = presente
++ = presente en alta densidad

Dependiendo de la frecuencia con la que se produzcan las diferentes etapas de desarrollo, la población puede clasificarse en diferentes etapas sucesivas (Tabla 14).

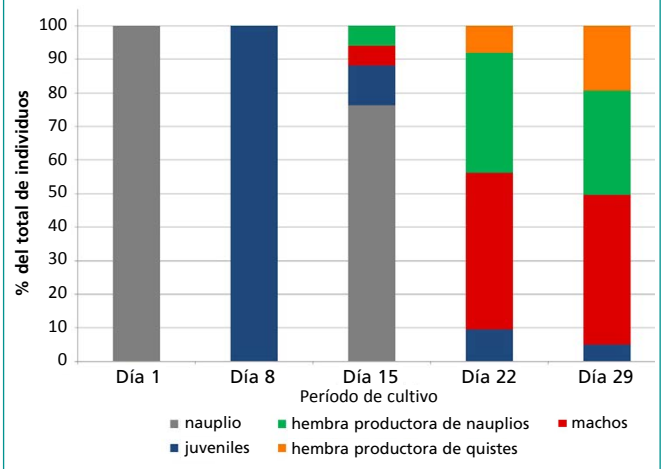
TABLA 14
Evolución de la composición de la población de Artemia en estanques de cultivo

Estado poblacional	Composición poblacional					Notas
	Nauplios	Juveniles	Subadultos	Adultos	Quistes	
A	++	-	-	-	-	Población al inicio.
B	-	-	+	++	-	Población en desarrollo a sub adulto y adulto.
C	++	-	-	+	-	Población con nauplios productores de hembras.
D	+	+	+	+	-	Continuación de C; estanques en buena condición.
E	+	-	-	++	-	Periodo luego de escasez de alimento; la población se estresa y cambiará rápidamente a F (en caso de escasez de alimentos la población tiene solo adultos y los estados tempranos morirán).
F	-	-	-	++	-	Población no tiene suficiente alimento para adultos.
G	-	-	-	++	+	La mayoría de las hembras empiezan a producción de quistes y la población cesa de incrementar en densidad.
H	+	+	+	+	+	Cuando el estanque está bien fertilizado, la población muestra todas las clases de edad y las hembras también producen quistes.

Notas: - = ausente; + = presente; ++ = present en gran densidad.

Fuente: Elaboración de los autores (LAARC).

FIGURA 28
Ejemplo de los grupos de edades de una población de *Artemia* luego de su inoculación en el estanque



Fuente: Hoa, V.N. 2002. *Seasonal farming of the brine shrimp Artemia franciscana in artisanal salt ponds in Viet Nam: effects of temperature and salinity.* de Universidad de Gante, Gante, Bélgica. PhD disertación. 184 pp.

Las puntuaciones de cada etapa de vida de todas las muestras tomadas en un estanque se suman y se representan gráficamente en el tiempo (Figura 28). Aunque estas estimaciones no son exactas (es decir, no dan el número exacto de animales por litro), son precisas (es decir, reflejan correctamente las variaciones en la abundancia). Estas figuras muestran cómo evoluciona una población y permiten adaptar los procedimientos de manejo. Además, la evaluación de la población incluye las características reproductivas de las hembras, es decir, si llevan quistes o nauplios, la fecundidad de las hembras (número de embriones por hembra), la presencia de hembras con ovarios vacíos y la proporción de sexos. En la práctica, la proporción relativa de las diferentes clases de edad puede fluctuar con el tiempo según las condiciones de

cultivo y el estado de la población, pero cuando las diferentes clases de edad muestran una proporción estable, el cultivo de *Artemia* puede considerarse en una fase estable, lo que generalmente está relacionado con la mayor productividad de quistes y/o biomasa (Hoa, 2002). La persistencia de un estado estable y saludable de la población depende de una serie de factores, como el control de los depredadores, la prevención mediante el mantenimiento de una determinada salinidad y evitando temperaturas letales. El alimento, en especial, juega un rol en aumentar la población y en mantenerla estable. Por otro lado, cuando falta de alimento, la población puede disminuir gradualmente, pero no desaparecer totalmente.

Según la bibliografía, basada en gran medida en cultivos de laboratorio de *Artemia*, las hembras tienden a liberar nauplios en las primeras crías, seguidas de la producción de quistes durante el resto de su vida reproductiva (Lavens y Sorgeloos, 1984, 1987a). Sin embargo, esto es mucho menos sencillo en condiciones de campo. En el cultivo en estanques, las hembras tienden a liberar quistes inmediatamente cuando la densidad de población es alta. Hacia el final de la estación seca, cuando la temperatura y la salinidad son elevadas, las hembras tienden a liberar más nauplios. Se han hecho pruebas para controlar el modo de reproducción de las hembras mediante el manejo de la salinidad y la comida, mostrando que 80-120 g/L generalmente favorecen la producción de quistes y una salinidad más baja, conjuntamente con la presencia de suficiente alimento para estimular la producción de biomasa.

En resumen, el manejo del cultivo de *Artemia* debe centrarse en la producción máxima y continua, lo que depende de la edad de la población, los alimentos disponibles y los factores ambientales, incluidas las condiciones meteorológicas. Dado que el estado de la población de *Artemia* fluctúa constantemente en función de estos factores, el manejo de los estanques debe centrarse en mantener una densidad estable de *Artemia* adultas, con los ovarios de las hembras siempre llenos. Debido a la variabilidad climática de los últimos años, la duración de la temporada de producción en las zonas de Soc Trang y Bac Lieu ha disminuido, a pesar de los esfuerzos de los acuicultores por acelerar la entrada de la población en la fase de producción de quistes y mantenerla en ese estado. El período pico para la producción de quistes en esta región actualmente se limita a enero, febrero y marzo (es decir, un máximo de 60 a 70 días en toda la temporada). En el período restante de la estación seca (de abril a junio), con temperaturas altas desfavorables, los acuicultores ahora generalmente solo cosechan biomasa. Si no hubiera mercado para la biomasa, se recomienda terminar el cultivo para evitar desperdiciar fondos y materiales si hay que mantener la población de *Artemia*, y para preparar el estanque para el cultivo de otras especies acuáticas tales como peces y crustáceos a medida que se acerca la temporada de lluvia.

2.2.5.5. Problemas de manejo y resolución de problemas

Blooms de algas

El suelo de los estanques de las salinas de Soc Trang y Bac Lieu es generalmente rico en nitrógeno biodegradable y materia orgánica, con un alto contenido en calcio y manganeso, pero bajo en hierro. Los estudios han demostrado que los altos niveles de nitrógeno biodegradable están correlacionados con los niveles de mineralización del nitrógeno (Khoi, Guong y Merckx, 2006b; Hoa y Hong Van, 2019). Por lo tanto, la determinación del nitrógeno biodegradable es un indicador para evaluar el grado de mineralización del nitrógeno en el suelo en el período inicial, cuando se suministra agua salina a los estanques. Cuanto mayor sea el nitrógeno biodegradable, más probable será que se produzcan floraciones de algas, pero el crecimiento excesivo de microalgas en los estanques en una etapa temprana inhibirá el crecimiento de *Artemia*. En general, el nivel de nitrógeno biodegradable en el suelo es un criterio para ajustar las dosis de fertilizantes inorgánicos y orgánicos a lo largo del proceso de cultivo y para evitar la proliferación excesiva y/o inoportuna de algas.

LÁMINA 31
Fitobentos en el fondo del estanque y en la columna de agua



© CTU

Presencia de Fitobentos Lab-Lab (algas bentónicas)

El fitobentos crece en estanques poco profundos con capas inferiores ricas en nutrientes o cuando se ha producido una fertilización excesiva (Lámina 31) (ver Sección 2.2.4.2). Cuando la densidad de microalgas es lo suficientemente alta o cuando el rastrillado frecuente mantiene una turbidez suficiente del agua, la luz solar no puede penetrar hasta la capa inferior, lo que impide la proliferación de algas filamentosas en el fondo. Cuando la transparencia del agua aumenta debido a la absorción de microalgas por parte de *Artemia* y a una mezcla insuficiente del agua, el Lab-Lab puede desarrollarse y cubrir el fondo del estanque en un plazo de 10 a 15 días si hay suficientes nutrientes (nitrógeno y fósforo). La remoción manual de Lab-Lab (p. ej., con rastrillos) consume mucha mano de obra y tiempo.

Mientras tanto, la población de *Artemia* se ve sometida a condiciones subóptimas y puede necesitar una semana o más para recuperarse, lo que reduce la productividad. Además, Lab-Lab puede morir al cabo de un tiempo (p. ej., cuando aumenta la salinidad o los nutrientes se vuelven limitados), y su proceso de descomposición puede crear condiciones aún más subóptimas, provocando la mortalidad de *Artemia* y, finalmente, la desaparición completa de la población de *Artemia*. Por lo tanto, además de prevenir la proliferación de Lab-Lab manteniendo la turbidez del agua, es importante eliminar Lab-Lab cuando su densidad aún es baja. En caso de crecimiento excesivo, se debe drenar el estanque y dejar secar el fondo hasta que el suelo se agriete. Entonces se puede iniciar un nuevo ciclo de producción.

Fenómeno de turbidez de arcilla

A veces es necesario prevenir la posible turbidez causada por partículas de arcilla en suspensión, de modo que la luz penetre lo suficientemente profundo en el estanque para el crecimiento del fitoplancton. Los niveles de sodio que superan los niveles de potasio, calcio y magnesio en el suelo y el agua, combinados con una alta salinidad, harán que las partículas de arcilla se dispersen y floten en la columna de agua. Por otro lado, la cantidad de substancia orgánica en los perfiles de suelo es también un factor que afecta la turbidez, ya que las sustancias orgánicas pueden unirse a las partículas de arcilla, formando agregados más grandes que, por lo tanto, se sedimentarán rápidamente (Hoa y Hong Van, 2019). Por lo tanto, la prevención de la turbidez del barro en los estanques de cultivo de *Artemia* puede lograrse aumentando la cantidad de materia orgánica en el fondo del estanque mediante la aplicación de fertilizantes orgánicos. Además, el suministro de agua verde procedente del estanque de fertilización, rica en materia orgánica y con una alta densidad de algas, a los estanques de cultivo de *Artemia* aumentará la cantidad de materia orgánica disuelta.

Enfermedades comunes en el cultivo de Artemia

- ***Leucothrix* sp.:** Es una bacteria flagelada cuyas colonias tienen la forma de una semilla de algodón cuando crecen en exceso. Estas colonias se fijan en el exoesqueleto de *Artemia*, preferentemente en los toracópodos, y solo se hacen visibles a partir de la fase V-VI. Las *Artemia* sufren físicamente, ya que los movimientos de sus toracópodos se ven afectados y, en consecuencia, se reducen las tasas de filtración. En caso de contaminación excesiva, el crecimiento y la muda se detienen, y

la población puede colapsar. Este fenómeno suele producirse cuando el entorno de cultivo está muy cargado de sustancias orgánicas. En este caso, se recomienda renovar regularmente el agua del estanque y eliminar parcialmente la materia orgánica.

- **Enfermedad de la mancha negra:** Ocurre cuando la población está mal alimentada por la falta de alimento o por alimento de mala calidad (aunque la causa real no es totalmente conocida), y se desarrollan manchas negras (necrosis) en las extremidades (p. ej., toracópodos, antenas) (Lámina 32) por el desprendimiento de la epidermis de la cutícula. El suministro de pienso de alta calidad no salva a los animales afectados, pero parece evitar más pérdidas.
- **Fenómeno de cola fecal:** En esta condición, *Artemia* presenta un hilo fecal largo. Este fenómeno se produce cuando recibe demasiada comida o alimentos con baja digestibilidad; suele ocurrir cuando el agua verde suministrada al estanque de cultivo de *Artemia* contiene demasiadas microalgas con una pared celular gruesa o algas filamentosas. La condición puede remediarse proporcionando otra fuente de agua verde con especies de algas más adecuadas o proporcionando otra fuente de alimento directa.

LÁMINA 32
Enfermedad de la mancha negra en los toracópodos de *Artemia*



© LAARC

LÁMINA 33
Juvenil de *Artemia* con enfermedad de la cola blanca



© LAARC

- **Enfermedad de la cola blanca:** El color del abdomen de *Artemia* se vuelve pálido a simple vista. Cuando se revisa en el microscopio, se ve claramente que no hay alimentos retenidos en la última sección del intestino (Lámina 33). Esto puede estar relacionado a problemas de la dieta, pero la causa exacta no se conoce. Cuando se observan los síntomas en la población, puede producirse una mortalidad masiva en pocos días. Cuando se detecta este fenómeno en el estanque, se recomienda suministrar agua verde de diferentes fuentes, aunque en ocasiones la renovación parcial del agua del estanque también puede limitar o eliminar por completo la enfermedad de la cola blanca.

2.3. PRODUCCIÓN EN TANQUES Y USO DE *ARTEMIA* CULTIVADA

(por *Yeong Yik Sung, Thirukanthan Chandra Segaran, Khor Waiho, Tan Min Pau, Asmidar Mohamad, Krishnnappriyaa Gopi y Patrick Sorgeloos*)

2.3.1. Producción de biomasa de *Artemia* en tanques

2.3.1.1. Resumen de la producción de biomasa de Artemia

En la acuicultura se utilizan diferentes etapas de *Artemia*. La biomasa de *Artemia*, en particular los juveniles y los adultos, se utiliza principalmente como fuente de alimento

para peces ornamentales y comestibles, tanto en entornos de agua dulce como marinos, así como para alimentar a las larvas de crustáceos como camarones, langostas y camarones de agua dulce. Se ha demostrado que la aplicación de *Artemia* cultivada mejora el equilibrio energético, lo que podría conducir a un mayor crecimiento, a una tasa de desarrollo más rápida y/o a una mejor condición fisiológica en los organismos acuícolas (Choi *et al*., 2021). En el caso del cultivo de post larvas de camarones peneidos, también se ha demostrado que la adición de biomasa de *Artemia* al tanque de cría puede reducir el canibalismo, aumentando la supervivencia entre un 30 % y un 40 % (Anh *et al.*, 2011).

Debido a la escasez de biomasa viva o congelada, su elevado costo y la inconsistencia en su calidad, en el pasado nunca se desarrollaron aplicaciones para el cultivo de *Artemia*. Sin embargo, con el aumento de la demanda de biomasa de *Artemia* asociado a la expansión de varios sectores de la acuicultura, la bajada de los precios de los quistes, los avances tecnológicos y las mejoras en las técnicas de cultivo, los sistemas intensivos de producción de *Artemia* en estanques y los sistemas super intensivos en tanques en granjas acuícolas o cerca de ellas han despertado el interés por la producción de biomasa de *Artemia*.

Las tiendas de acuarios y mascotas ofrecen un excelente potencial de comercialización para la biomasa viva de *Artemia* generada en los sistemas de cultivo locales. Recientemente se han establecido varias instalaciones de producción de biomasa de *Artemia* en Malasia para apoyar el crecimiento del negocio de los peces ornamentales, todas las cuales utilizan un sistema de cultivo por lotes estancados (ver más adelante). Hoy en día, la mayor parte de la biomasa de *Artemia* producida en este sector se vende congelada, ya que se obtiene de un número limitado de recursos y el transporte en vivo a otros continentes es demasiado caro.

2.3.1.2. Ventaja de la producción de biomasa de Artemia en tanques

Aunque la biomasa de *Artemia* producida en tanques es significativamente más costosa que la producida en estanques, sus beneficios son numerosos. Independientemente del entorno o de los factores estacionales, *Artemia* cultivada puede criarse y recolectarse durante todo el año. La eclosión puede sincronizarse utilizando quistes de buena calidad, y se puede producir *Artemia* de tamaño uniforme con procedimientos adecuados de alimentación y cultivo. De este modo, se pueden recolectar etapas específicas (juveniles, sub adultos y adultos) o presas de tamaño uniforme según las preferencias de tamaño del depredador. La producción en tanques garantiza una cosecha más consistente en términos de cantidad y calidad, así como mejores perfiles nutricionales. *Artemia* producida en tanques puede estar libre de enfermedades (es decir, de *Vibrio*) si el método de cría se gestiona adecuadamente.

Las técnicas de cultivo super intensivo ofrecen dos ventajas principales en comparación con las técnicas de producción en estanques. En primer lugar, no hay restricciones relacionadas con el lugar o el momento de la producción: la técnica de cultivo no requiere agua muy salina ni condiciones climatológicas específicas. Sin embargo, se recomienda ubicar el lugar de producción en un lugar con una fuente de agua de mar adecuada, ya que *Artemia,* al igual que otras especies acuícolas, requiere agua limpia y de buena calidad para alcanzar la edad adulta. Segundo, la producción regular puede ser lograda con densidades extremadamente altas de *Artemia* (de hasta miles de animales por litro), comparado con el máximo de unos cientos de animales por litro en estanques de cultivo al aire libre. Como resultado, los sistemas de cría en tanques pueden alcanzar rendimientos muy elevados por volumen de medio de cultivo.

Los costos de producción se estiman entre 1,5 USD y 12 USD estadounidenses por kilo de peso vivo de *Artemia*, con precios al por mayor de los quistes que oscilan entre 25 USD y 80 USD estadounidenses por kilo, dependiendo del método de cultivo y de las instalaciones del lugar (Nguyen *et al*., 2019). En la práctica, al establecer un cultivo de *Artemia*, se debe comenzar por hacer un inventario de las condiciones de cultivo predominantes y de la infraestructura disponible. Los factores abióticos y bióticos

TABLA 15
Resumen de los factores bióticos y abióticos para la producción de biomasa de *Artemia*

Factores		
Bióticos	*Artemia*	Selección de la cepa de *Artemia* Densidad de cultivo de *Artemia*
Abióticos	Condiciones de cultivo físico-químicas	Salinidad y composición iónica del medio de cultivo Temperatura pH Concentración de oxígeno, calidad del agua
	Infraestructura	Diseño de tanques y sistema de aireación Calefacción y alumbrado
	Técnicas de cultivo	Sistema abierto de flujo continuo Tipo de recirculación Cultivo estancado
	Estrategias de alimentación y dietas	Selección de dieta Estrategias de alimentación

Fuentes: Modificado de Lavens y Sorgeloos, 1991.

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1991. Chapter XIII: Production of *Artemia* in culture tanks. En: R.A. Browne, P. Sorgeloos y C.N.A. Trotman, eds. *Artemia Biology*, pp. 317-350. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, Inc.

relevantes para el cultivo de *Artemia* se enumeran en la Tabla 15 y se describen con más detalle en las siguientes secciones (Lavens y Sorgeloos, 1991).

2.3.1.3. Factores bióticos

Selección de la cepa de Artemia
El rendimiento de diferentes cepas de *Artemia* en el cultivo en tanques apenas se ha estudiado, lo que limita nuestro conocimiento sobre la cepa o cepas que deben seleccionarse. Los estudios anteriores se limitaron a la cepa *Artemia franciscana* de la marca San Francisco Bay, que, según se ha informado, es de mejor calidad que las marcas de China, Filipinas, Singapur y Tailandia, que *A. salina* y otras cepas o especies de *Artemia* no especificadas (Islam, Kibria y Bhuyan, 2019).

Densidad de cultivo de Artemia
Se pueden cultivar altas densidades de *Artemia* sin afectar a su supervivencia. Se pueden mantener densidades de inoculación de hasta 5 000 nauplios/L para el cultivo por lotes, 10 000/L para el cultivo con flujo cerrado y 18 000/L para el cultivo en flujo abierto sin efectos adversos (Tabla 16). Estas densidades muy altas no tienen en sí mismas ningún efecto aparente sobre el comportamiento de *Artemia*. Por supuesto, cada cultivo tiene una capacidad de carga limitada: a determinadas densidades, las condiciones de

TABLA 16
Densidad máxima de *Artemia* bajo diferentes condiciones de cultivo

Sistema de cultivo	Artemia/L	Período de cultivo	Crecimiento	Referencia
Flujo abierto	18 000	Hasta adulto	Alto	Tobias *et al*., 1980
Flujo cerrado	>10 000 5 000–10 000	Hasta adulto Hasta adulto	Moderado Alto	Lavens *et al*., 1986
Estancada	5 000 20 000	7 días 7 días	Alto Bajo	Dhont, Lavens y Sorgeloos, 1993

Fuentes:
Tobias, W.L., Sorgeloos, P., Roels, O.A. y Sharfstein, B.A. 1980. International study on *Artemia*. XIII. A comparison of production data of 17 geographical strains of Artemia in the St. Croix artificial upwelling mariculture system. En: G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels & E. Jaspers, eds. *The brine Shrimp Artemia*, pp. 384–392. Vol. 3. *Ecology, culturing, use in aquaculture*. Wetteren, Bélgica, Universa Press.

Lavens, P., Baert, P., De Meulemeester, A., Van Ballaer, E. y Sorgeloos, P. 1986. New developments in the high-density flow-through culturing of brine shrimp *Artemia*. *Journal of the World Mariculture Society*, 16: 498–508. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1985.tb00228.x

Dhont, J., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1993. Preparation and use of *Artemia* as food for shrimp and prawn larvae. En: J.V. Mc Vey, ed. *CRC handbook of mariculture*, pp. 61–93. 2nd Edition. Vol 1. *Crustacean culture*. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, Inc.

cultivo se deterioran (deterioro de la calidad del agua, disminución de la disponibilidad de alimento individual) y el crecimiento y la supervivencia disminuyen. Aunque el hacinamiento no parece afectar la supervivencia, sí parece tener un impacto en la tasa de ingestión y el crecimiento. En sistemas estancados, se observe una notable disminución de la tasa de crecimiento al aumentar la densidad animal, ya que el mantenimiento de la calidad del agua requiere una tasa de alimentación sustancialmente más baja cuando hay mayor densidad de *Artemia* (Dhont, Lavens y Sorgeloos, 1993).

La rentabilidad de un cultivo aumenta definitivamente a medida que aumenta la densidad de *Artemia*. En un sistema abierto de flujo continuo, las densidades máximas están limitadas por la tasa de alimentación, mientras que en un sistema de recirculación y estancado, la preservación de la calidad del agua determina un nivel de alimentación seguro, que a su vez determina la densidad animal en la que la cantidad de alimento individual todavía permite una tasa de crecimiento satisfactoria.

La Tabla 16 ofrece una visión general de las densidades máximas de *Artemia*, como se reporta utilizando diferentes métodos de cultivo.

2.3.1.4. Factores abióticos

Condiciones físico-químicas

Salinidad y composición iónica del medio de cultivo

Aunque en la naturaleza *Artemia* solo se encuentra en aguas con alta salinidad (normalmente superior a 100 g/L), también puede proliferar en agua de mar natural y su rendimiento fisiológico óptimo, en términos de tasa de crecimiento y eficiencia de conversión alimentaria, se produce a niveles de salinidad considerablemente más bajos (es decir, de 32 g/L a 65 g/L). Para el cultivo de *Artemia*, el agua de mar natural (30-35 g/L) es la solución más práctica. Se pueden realizar pequeños ajustes de salinidad añadiendo salmuera o diluyendo con agua del grifo con bajos niveles de cloro. Para evitar que queden sales sin disolver en los tanques, se debe evitar añadir sal marina directamente al cultivo y, en su lugar, mantener un suministro de salmuera para aumentar la salinidad según sea necesario. Además del agua de mar natural o la salmuera diluida, se han utilizado con éxito varios medios artificiales con diferente composición iónica en instalaciones de producción de *Artemia* en interiores. Aunque la producción de esta agua de mar artificial es costosa y requiere mucha mano de obra, en determinadas condiciones puede resultar rentable (Vanhaecke, Siddall y Sorgeloos, 1984).

Temperatura, pH y concentración de oxígeno

Para la mayoría de las cepas, el rango de temperatura preferido suele ser de 25 °C a 28 °C. Por lo tanto, la temperatura debe mantenerse dentro del rango óptimo específico de la cepa de *Artemia* seleccionada. A continuación, se describen varios métodos para calentar el agua de mar. Según la información publicada, se acepta generalmente que la tolerancia al pH de *Artemia* oscila entre 6,5 y 8,0 (Vanhaecke, Siddall y Sorgeloos, 1984). El pH tiende a disminuir durante el período de cultivo como resultado de los procesos de desnitrificación. Cuando el pH cae por debajo de 7,5, se deben añadir pequeñas cantidades de $NaHCO_3$ (de calidad técnica) para aumentar la capacidad tampón del agua del cultivo. El pH se mide normalmente con un medidor de pH portátil o con sencillos kits analíticos de laboratorio. En este último caso, se deben leer atentamente las instrucciones para asegurarse de que la reacción química empleada es compatible con el agua de mar.

En lo que respecta al oxígeno (O_2), solo concentraciones muy bajas, inferiores a 2 mg O_2/L, limitarán la producción de biomasa. Sin embargo, para una producción óptima, se recomiendan concentraciones de O_2 superiores a 2,5 mg/L. Por otro lado, mantener niveles de oxígeno continuamente superiores a 5 mg/L dará lugar a la producción de animales pálidos (con bajos niveles de hemoglobina, el pigmento respiratorio) que, por lo tanto, pueden ser menos perceptibles y atractivos para los depredadores. Se puede

obtener fácilmente una coloración rojo oscuro (alto contenido de hemoglobina) aplicando estrés por oxígeno de forma regular pero breve (unos pocos minutos) (apagando la aireación) unos días antes de la recolección. Los niveles de oxígeno deben comprobarse regularmente, ya que pueden descender significativamente, especialmente después de la alimentación. El oxígeno se mide convenientemente con un electrodo de oxígeno portátil. Cuando el oxígeno desciende ocasionalmente por debajo del 30 % de saturación (es decir, 2,5 mg de O_2/L en agua de mar con una salinidad de 32 g/L a 27 °C), se debe aumentar temporalmente la intensidad de la aireación o añadir piedras difusoras. Si los niveles de oxígeno siguen siendo bajos, se debe aumentar la capacidad de aireación. Es importante señalar que, para un flujo de aire determinado, el nivel de oxígeno aumenta de forma más eficaz con burbujas de aire pequeñas que con burbujas grandes. Por otro lado, las burbujas de aire demasiado pequeñas pueden quedar atrapadas entre los torácopodos y, en consecuencia, arrastrar a los animales hacia la superficie (Vanhaecke, Siddall y Sorgeloos, 1984).

Calidad del agua

La calidad del medio de cultivo se ve afectada, en primer lugar, por el exceso de partículas, así como por los productos de desecho solubles, como los compuestos nitrogenados. Los altos niveles de sólidos en suspensión afectarán a las características de la producción, ya sea por su interferencia en la absorción de partículas de alimento y la propulsión de *Artemia*, o por inducir el crecimiento bacteriano que compite por el oxígeno y, finalmente, contamina el tanque de cultivo. No se dispone de información sobre los niveles de partículas nocivas, ya que no se ha desarrollado ningún método práctico para su medición. Sin embargo, los problemas causados por el exceso de partículas pueden detectarse mediante la observación microscópica de los animales: los toracópodos deben estar despejados y el intestino debe estar uniformemente lleno y sin obstrucciones. Con cierta experiencia, se pueden estimar a simple vista las cargas de partículas aceptables sosteniendo una alícuota del cultivo en un vaso de precipitados transparente contra una fuente de luz. Por otra parte, los productos de desecho solubles dan lugar a compuestos nitrogenados tóxicos (p. ej., NH_3-N, NO_2-N, NO_3-N). Los niveles de componentes nitrogenados pueden medirse con kits de laboratorio adecuados (Vanhaecke, Siddall y Sorgeloos, 1984).

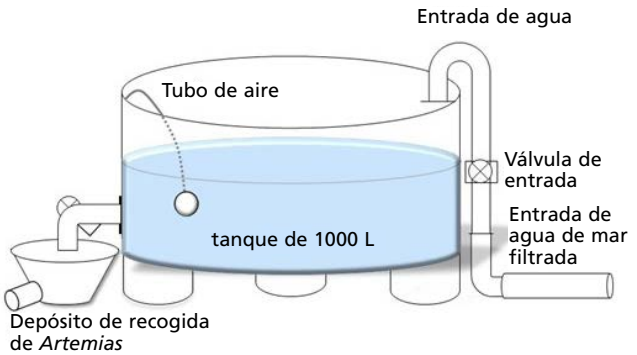
Infraestructura

Diseño del tanque y del sistema de aireación

Artemia puede criarse en cualquier tipo de recipiente, siempre y cuando el sistema de aireación proporcionado permita una oxigenación óptima y una mezcla suficiente del alimento y los animales en todo el volumen del cultivo. Sin embargo, debe evitarse una aireación demasiado fuerte. Por lo tanto, la aireación y el diseño del tanque deben considerarse simultáneamente, ya que el patrón de circulación se ve influido por la combinación de ambos. Se ha demostrado que es aceptable una amplia gama de tanques de cultivo, de hormigón, plástico o fibra, siendo esta última la más duradera. En la Figura 29 se muestra un ejemplo de diseño de tanque adecuado.

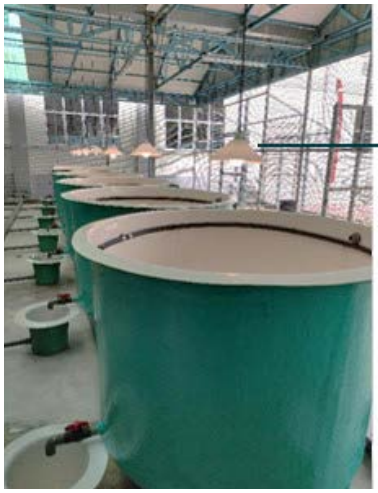
Los tanques rectangulares son los más convenientes para cultivos de hasta 1 m^3; sin embargo, también se utilizan comúnmente tanques redondos. Se pueden airear utilizando un sistema de elevación de aire-agua (AWL), un anillo de aireación instalado alrededor de un tubo vertical central o tubos de

FIGURA 29
Diagrama técnico de un tanque de cultivo de *Artemia* de 1 000 L



© IMB

LÁMINA 34
Iluminación para tanques de cultivo de *Artemia*



© IMB

PVC perforados conectados al fondo del tanque. Para mayores cantidades (>1 m^3), los tanques de concreto recubiertos de plástico impermeable o de pinturas especiales son los preferidos. Los tanques grandes de fibra también son adecuados, pero pueden ser más caros. Estos tanques enormes se han utilizado normalmente como sistemas de canales.

Calefacción y alumbrado

Cuando *Artemia* se cultiva en climas tropicales, normalmente no es necesario calentar el agua. Sin embargo, cuando la temperatura ambiente desciende por debajo de los valores ideales para el cultivo (25-28 °C), es necesario calentar el agua. Las resistencias eléctricas termorreguladas son la forma más práctica de calentar pequeños volúmenes de agua (hasta 1 m^3). Para volúmenes mayores, se recomienda un intercambiador de calor compuesto por una caldera con control termostático y tubos de cobre debajo o en el fondo del tanque de cultivo. Las pérdidas de calor pueden reducirse aislando los tanques con espuma de poliestireno y cubriendo la superficie con láminas de plástico. Otra opción es construir instalaciones totalmente cubiertas con materiales aislantes adecuados, aunque esto es caro y solo es esencial en climas templados. A nivel práctico, la calefacción debe minimizarse para reducir los costos de producción. Se puede añadir iluminación para aumentar el crecimiento de *Artemia*; se ha observado que añadir luz para proporcionar una iluminación constante puede aumentar las tasas de alimentación, con un crecimiento de 10-20 % más alto que cuando crecen en luz ambiental (12 h). Este efecto puede lograrse colocando cualquier fuente de luz en la parte superior del tanque de cultivo, preferiblemente a 1 m por encima del nivel del agua. Se pueden utilizar luces LED para ahorrar electricidad (Lámina 34).

Técnicas de cultivo

En función de los objetivos y las oportunidades, se pueden aplicar diferentes procedimientos de cultivo para la producción super intensiva de *Artemia*. La selección final de uno u otro tipo de instalación estará sujeta a las condiciones locales, las necesidades de producción y las posibilidades de inversión. Sin embargo, se deben considerar dos opciones básicas: ¿se debe renovar el agua (flujo abierto) o no? Además, en este último caso, ¿debe aplicarse un tratamiento de agua específico (flujo cerrado) o no (sistema estancado o por lotes)? Obviamente, existen todo tipo de transiciones, que van desde el flujo abierto con un 0 % de recirculación hasta el flujo cerrado con un 100 % de recirculación. En la práctica, incluso en caso de recirculación completa, una pequeña parte del agua de cultivo debe renovarse periódicamente.

El sistema de cultivo debe diseñarse de tal manera que la calidad del agua se mantenga de manera óptima. Esto significa que la concentración de partículas y metabolitos solubles debe permanecer mínima para evitar problemas de toxicidad, proliferación de microorganismos e interferencias con el aparato filtrante de *Artemia*.

Sistemas estancados

En la Universidad de Malasia Terengganu, en Kuala Nerus, Malasia, se ha desarrollado una técnica simplificada y fiable para el cultivo intensivo de biomasa de *Artemia* destinada a la alimentación de alevines de peces y camarones. El objetivo era crear un proceso de cultivo versátil que permitiera producir *Artemia* de diversos tamaños, hasta

9 mm. En este sistema, los cultivos se llevan a cabo en tanques redondos de fibra de 1 000 L (Figura 29). Cuatro piedras difusoras de aire fijadas al fondo proporcionan una aireación continua. Los quistes eclosionan y los nauplios se cuentan y se transfieren a los tanques de cultivo a razón de 20 animales/ml, con un tiempo de cultivo de 14 días. A los animales se les administra un extracto elaborado a partir de micronizado de semilla de palma (ver Recuadro 7). El alimento se mezcla diariamente con agua de mar, se incuba durante 24 horas y luego se administra a *Artemia*. Las proporciones diarias de alimento se fijan para mantener la turbidez del cultivo entre 15 cm y 20 cm. La preparación del alimento se describe en el Anexo 2. No obstante, cada cultivo requiere un ajuste constante de las proporciones en función del nivel de transparencia.

Sistema de flujo abierto

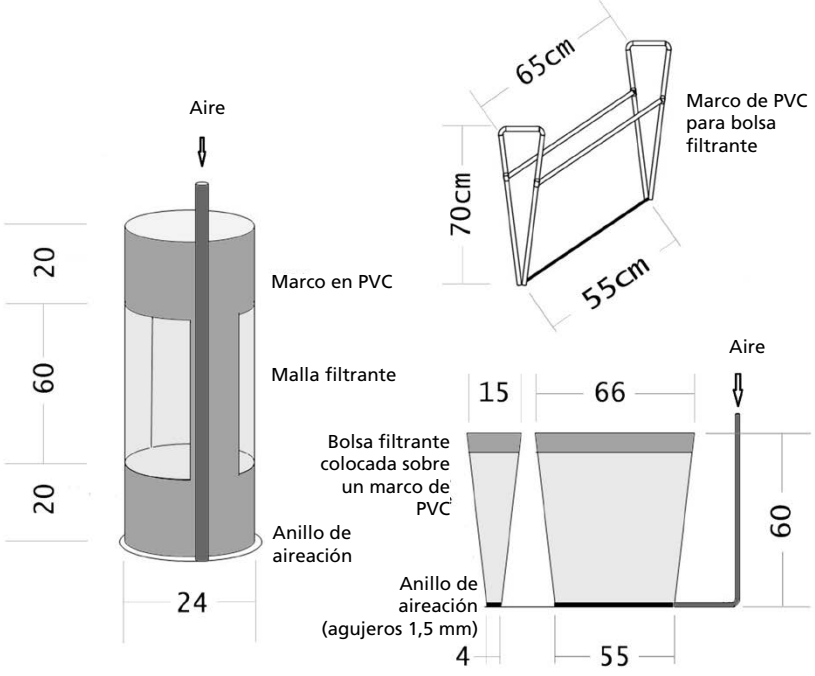
Es obvio que una renovación discontinua o continua del agua de cultivo con agua de mar limpia, con la consiguiente dilución de metabolitos particulados y disueltos, dará lugar a las mejores condiciones de cultivo posibles y a las mayores capacidades de producción. Sin embargo, la aplicación de una técnica de cultivo de flujo abierto se limita a aquellas situaciones en las que se dispone de grandes volúmenes de agua de mar (o salmuera) suficientemente cálida a un costo relativamente bajo, o en las que se dispone de grandes cantidades de alimento para algas (p. ej., efluentes de proyectos de afloramiento artificial, sistemas de tratamiento terciario y estanques de cultivo intensivo de camarones).

El equipo más importante y crítico en el cultivo de flujo continuo es el filtro utilizado para la evacuación eficiente del exceso de agua de cultivo y metabolitos sin perder *Artemia* del tanque de cultivo. Estas unidades de filtrado deben poder funcionar sin obstruirse durante al menos 24 horas para reducir el riesgo de desbordamiento.

Inicialmente, los filtros se construían con un marco de PVC alrededor del cual se fijaba una malla de nailon intercambiable. La aireación se situaba en la parte inferior del filtro y garantizaba una fricción continua de las burbujas de aire contra los lados de la malla del filtro, lo que daba como resultado una reducción eficaz de la obstrucción de la malla del filtro (Figura 30). La parte superior del filtro ubicado justo encima y

FIGURA 30

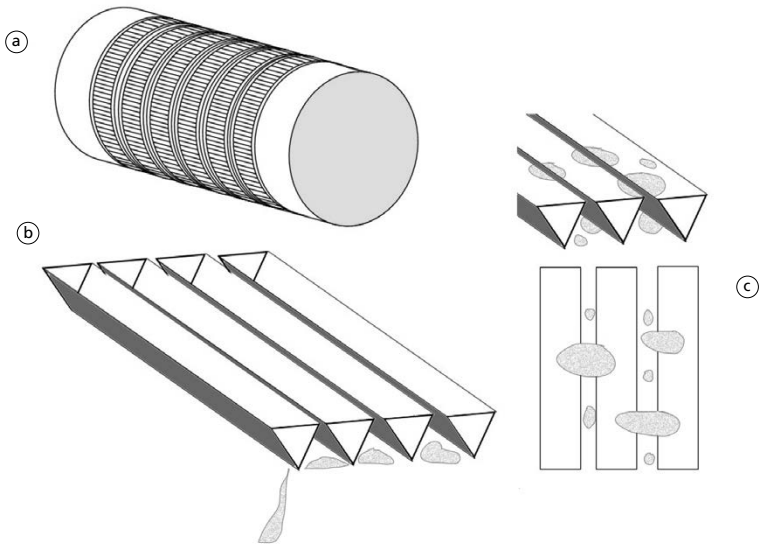
Diagrama técnico y dimensiones (en cm) de los sistemas de filtro usados en sistemas de flujo continuo de *Artemia*



Fuentes:
Modificado de Brisset *et al*., 1982.

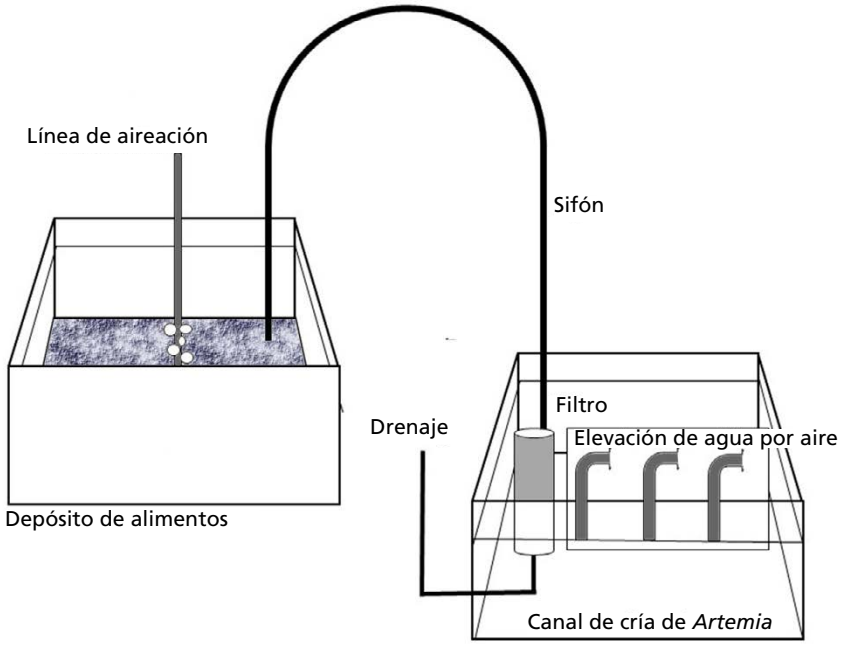
Brisset, P.J., Versichele, D., Bossuyt, E., De Ruyck, L. y Sorgeloos, P. 1982. High density flow-through culturing of brine shrimp *Artemia* on inert feeds - Preliminary results with a modified culture system. *Aquacultural Engineering*, 1(2): 115–119. https://doi.org/10.1016/0144-8609(82)90003-6

FIGURA 31
Sistema de filtrado basado en malla de placas soldadas en V
(a) Cilindro de acero inoxidable con la malla; (b) detalle de la malla de filtrado; (c) ilustración esquemática del funcionamiento del filtro



Fuentes: Dhont, J. y Lavens, P. 1996. Tank production and use of ongrown *Artemia*. En: P. Lavens y P. Sorgeloos, eds. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*, pp. 164-195. FAO Fisheries Technical Paper 361.

FIGURA 32
Diagrama técnico de un sistema de flujo abierto de 1 000 L



Fuentes:
Modificado de Dhert *et al*., 1992.

Dhert, P., Bombeo, R.B., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1992. A simple semi flow-through culture technique for the controlled super-intensive production of *Artemia* juveniles and adults. *Aquacultural Engineering*, 11: 107-119. https://doi.org/10.1016/0144-8609(92)90013-N

debajo del nivel de agua es de una tela lisa de nylon o plástico para para evitar que quedan atrapadas *Artemia* que se mezcla con la espuma por el efecto del collar de aireación. Luego, se introdujo un nuevo tipo de sistema de filtro cilíndrico (Figura 31). Éste consiste en un cilindro de malla de acero inoxidable soldada que se coloca verticalmente en el centro del tanque de cultivo (Figura 32). La base está cerrada por un anillo de PVC y lleva un tubo flexible para la evacuación del efluente. Un collar de aireación está fijado al extremo inferior del filtro

Este sistema de placas soldadas en forma de V tiene diversas ventajas en comparación con otros tipos de mallas de nylon:

- Las partículas de gran tamaño con forma alargada pueden seguir evacuándose a través de las ranuras (Figura 31c).
- La forma en V especialmente diseñada de las ranuras crea efectos de succión hidrodinámicos específicos, gracias a los cuales las partículas que son apenas más pequeñas que la ranura son succionadas activamente a través de ella.
- Los posibles puntos de contacto entre las partículas y el filtro se reducen a dos en lugar de cuatro bordes de malla, lo que reduce la probabilidad de obstrucción.

Este filtro puede funcionar de forma autónoma durante períodos mucho más largos que los filtros tradicionales de malla de nylon. Por lo tanto, se pueden utilizar filtros de este tipo proporcionalmente más pequeños, lo que deja más volumen para los animales en el tanque de cultivo. Además, son rentables, pues no se desgastan.

A medida que crece *Artemia*, el filtro se cambia regularmente por otro con mallas o aberturas más grandes para lograr una evacuación máxima de las mudas, las heces y otras partículas de desecho de los tanques de cultivo. Antes de cambiar a una malla más grande, se debe comprobar si los animales pueden atravesarla. Si es así, aún es demasiado pronto para cambiar los filtros y se devuelve el filtro actual después de limpiarlo. Un juego de filtros que cubra un periodo de cultivo de 14 días debe constar de aproximadamente seis aberturas de malla o ranuras que oscilen entre 120 µm y 550 µm (Tabla 17).

Si la circulación del agua en el tanque de cultivo es óptima, el filtro puede colocarse en cualquier lugar del tanque. En tanques cilíndricos, especialmente con fondos cónicos, lo ideal es colocar el filtro en el centro.

TABLA 17
Ejemplo del manejo de recambio de alimento y agua en un sistema de cultivo super intensivo de *Artemia* de 300 L

Día de cultivo	Abertura del filtro (µm)	Flujo (L/h)	Tiempo de retención en el tanque de cultivo (h)	Intervalo entre alimentación (min)	Cantidad de alimento diario (g)
1	120	80	3,75	36	100
2	150	100	3	30	120
3–4	200	100	3	24	150
5–7	250	150	2	20	180
8–9	300	150	2	20	180
10–12	350	200	1,5	15	250
13–14	350	300	1	12	300

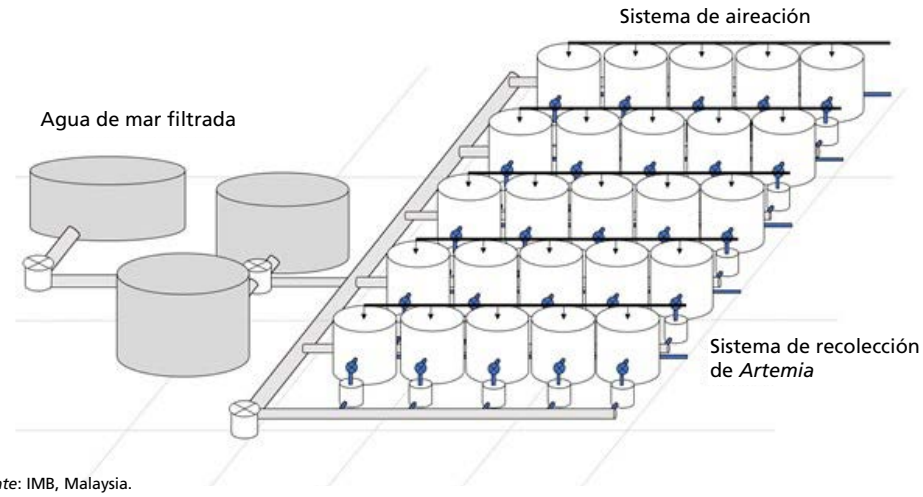
Fuentes: Datos compilados de Lavens y Sorgeloos, 1991.

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1991. Chapter XIII: Production of *Artemia* in culture tanks. En: R.A. Browne, P. Sorgeloos y C.N.A. Trotman, eds. *Artemia Biology*, pp. 317–350. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, Inc.

Sistema cerrado de flujolación

Cuando solo se dispone de cantidades limitadas de agua de mar caliente, no se pueden considerar los sistemas de flujo abierto. Sin embargo, si se decide operar con altas densidades de animales y/o durante períodos de cultivo prolongados, la acumulación de partículas y metabolitos solubles reducirá la calidad del agua hasta que sea imposible llevar a cabo buenas prácticas de cultivo. En estas condiciones, el cultivo de *Artemia* en flujo abierto de alta densidad solo se puede mantener recirculando el agua de cultivo a través de una unidad de tratamiento de agua. Esta unidad debe estar diseñada para eliminar las partículas y reducir los niveles de componentes nitrogenados nocivos. Aunque se han realizado importantes esfuerzos de investigación para desarrollar sistemas de recirculación eficaces, el funcionamiento de los sistemas de recirculación prácticos para *Artemia* sigue siendo más un arte que una ciencia. Por eso no se

FIGURA 33
Diagrama técnico de un sistema cerrado de flujo para el cultivo de *Artemia*

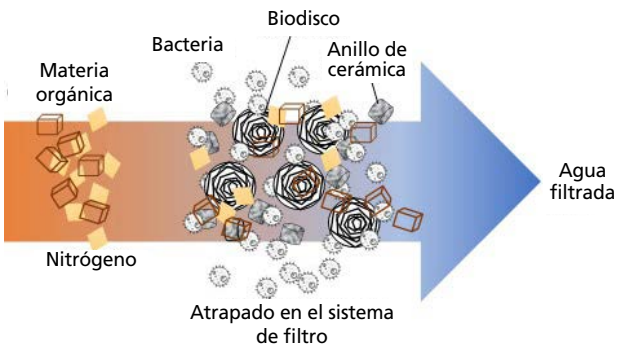


Fuente: IMB, Malaysia.

recomienda aquí ninguna tecnología de recirculación específica. La Figura 33 debe por ende ser considerada como un ejemplo de un sistema operativo de recirculación para el cultivo de *Artemia*, tal y como se desarrolló en el criadero de *Artemia* de la Universidad de Malasia Terengganu, en Kuala Nerus, Malasia. El sistema consiste en tanques de fibra conectados por una tubería que suministra agua de mar filtrada mediante flujo gravitatorio. Como se muestra en la Lámina 34, los sistemas están equipados con dispositivos de aireación y calefacción/iluminación. Cada tanque tiene un diámetro de 1,2 m, una profundidad de 1 m y un volumen de cría de aproximadamente 1 000 L. Antes de su descarga, todos los efluentes del proceso deben ser tratados para eliminar los sólidos, ya que los tanques funcionan en régimen de flujo continuo con una configuración de drenaje único. Como se muestra en la Lámina 34, los desagües de los tanques se encuentran en el fondo de estos, lo que permite la recogida intermitente de la biomasa de *Artemia* directamente en un dispositivo de recogida.

Para más detalles sobre el sistema de recirculación desarrollado en el Centro de Referencia Artemia de la Universidad de Gante, Bélgica, con un disco biológico rotatorio o bio discos como filtro biológico (ver Dhont y Lavens, 1996). El filtro biológico, o biofiltro, es el componente clave de la sección de filtración de un sistema de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés). Se proporciona una gran superficie para los microorganismos que reducen los niveles de amoníaco en los sistemas de recirculación de agua mediante la oxidación fisiológica del amoníaco a nitrato, relativamente inocuo. El amoníaco se convierte inicialmente en nitrito mediante la nitrificación bacteriana y luego el nitrito se oxida aún más a nitrato. Antes de repoblar *Artemia*, se acondiciona un biofiltro durante varias semanas y supervisando su descomposición para garantizar que las poblaciones bacterianas son suficientes para remover el amoníaco y el nitrito a las tasas requeridas durante el funcionamiento. Las conchas de ostras, la grava, las mallas de nylon, los anillos de plástico y las almohadillas de esponja son algunas de las opciones más comunes para los medios de biofiltración, pero hay muchas otras. Las consideraciones

FIGURA 34
El mecanismo de acción de un sistema de filtración biológico



Fuente: IMB, Malaysia.

más importantes para la construcción de biofiltros son maximizar la superficie para el crecimiento bacteriano, garantizar altos niveles de oxígeno disuelto, asegurar un flujo uniforme de agua a través del filtro y proporcionar suficiente espacio vacío para evitar obstrucciones (McGee y Cichra, 2000). El mecanismo de acción que se debe tener en cuenta al diseñar un filtro biológico se describe en la Figura 34

Estrategias de alimentación y dietas

El hábito alimenticio no selectivo de *Artemia* hace que sea relativamente fácil de cultivar y producir en masa. El comportamiento alimenticio de *Artemia* puede verse afectado por diversos parámetros, entre ellos la etapa de desarrollo, la concentración de alimento y las condiciones de cultivo, todos los cuales influyen en los procesos de filtración, ingestión y asimilación del alimento por parte de sistema de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés). Cuando el alimento está disponible en una concentración suficiente para permitir una alimentación adecuada, la velocidad de natación de los adultos puede reducirse en un 50 %. Cuando se alimenta con alimento formulado, las cantidades deben manejarse de manera que se mantenga una buena calidad del agua en todo momento. En este contexto, es fundamental aumentar la frecuencia diaria de alimentación y dar cantidades más pequeñas de alimento cada vez.

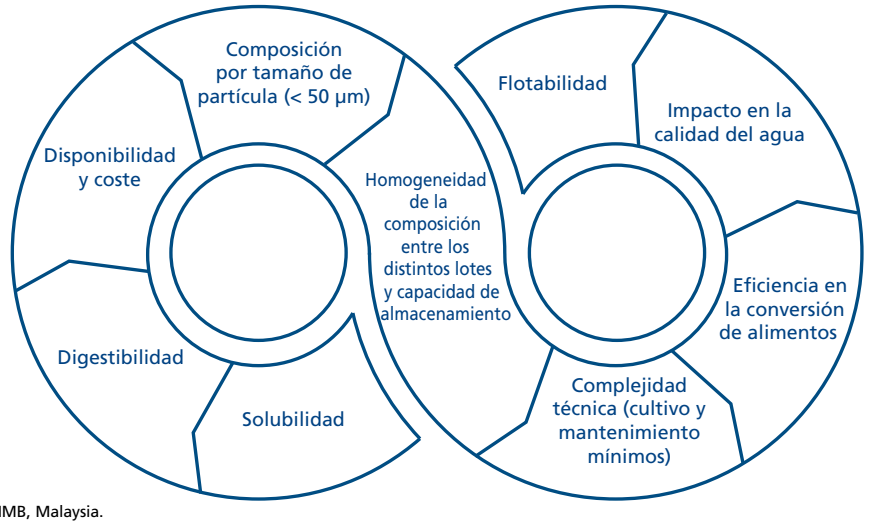
Selección de dieta

Artemia no es selectiva en su dieta y consume alimentos basándose principalmente en el tamaño (ver Sección 1.1). A medida que se agotan las reservas, la nutrición exógena desempeña un papel crucial para garantizar que se desarrollen y se reproduzcan de manera óptima. Aunque las diferentes alternativas alimenticias tienen distintos contenidos nutricionales, esta variación no tiene un impacto significativo en la producción de *Artemia* en cultivos de alta densidad. En la Figura 35 se muestran otros factores importantes a la hora de seleccionar una fuente alimenticia adecuada.

Los siguientes alimentos pueden ser considerados para la producción de *Artemia* en tanques:

FIGURA 35

Factores que influyen en la selección de una dieta adecuada para el cultivo de *Artemia*



Fuente: IMB, Malaysia.

Microalgas

Las microalgas son la dieta natural de *Artemia*. Por ejemplo, *Artemia franciscana* se alimenta de *Dunaliella* sp. en el Gran Lago Salado (Utah, Estados Unidos de América). Hasta la fecha, varias especies de microalgas han demostrado un gran potencial para alimentar y nutrir a *Artemia* durante la producción acuícola, mejorando el crecimiento, la supervivencia y la producción reproductiva; p. ej., *Isochrysis* sp.,

Nannochloropsis sp., *Chaetoceros* sp., *Tetraselmis* sp. y *Dunaliella* sp. se han utilizado en el cultivo de *Artemia*. Aunque proliferan fácilmente, no es fácil mantener una producción constante, viable y óptima de microalgas, y la compra directa de microalgas concentradas es costosa. Además, el cultivo masivo de microalgas requiere espacio, tiempo y experiencia, lo que supone costos elevados. Otro inconveniente es el tiempo que necesitan las microalgas para alcanzar su máxima concentración. Aunque, en general, las microalgas más utilizadas proliferan en un plazo de 4 a 7 días, la necesidad de cultivarlas durante un periodo determinado obliga al productor a llevar a cabo procesos técnicos adicionales. El cultivo intensivo de *Artemia* requiere una suficiente cantidad de microalgas; por lo tanto, suministrar concentraciones de algas subóptimas pone en peligro la producción óptima de sistema de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés). Adicionalmente, no todas las microalgas pueden ser utilizadas como alimento de RAS. Por ejemplo, la pared celular de algunas especies de microalgas (*Chlorella* y *Stichococcus*) son muy gruesas para sr digeridas (Dan *et al*., 2022).

Algas secas

Los alimentos a base de algas (p. ej., *Spirulina* y *Scenedesmus* en forma seca) tienen una composición nutricional casi similar a la de las algas vivas y pueden utilizarse como alimento para *Artemia*. Sin embargo, algunos de los principales inconvenientes del uso de algas secas como dieta para *Artemia* son su costo elevado (entre 10 y 20 dólares estadounidenses por kilo) y la necesidad de prestar especial atención a la calidad del agua del medio de cultivo, debido a la parte no digerible de las algas secas.

Alimentación conjunta con microalgas y bacterias

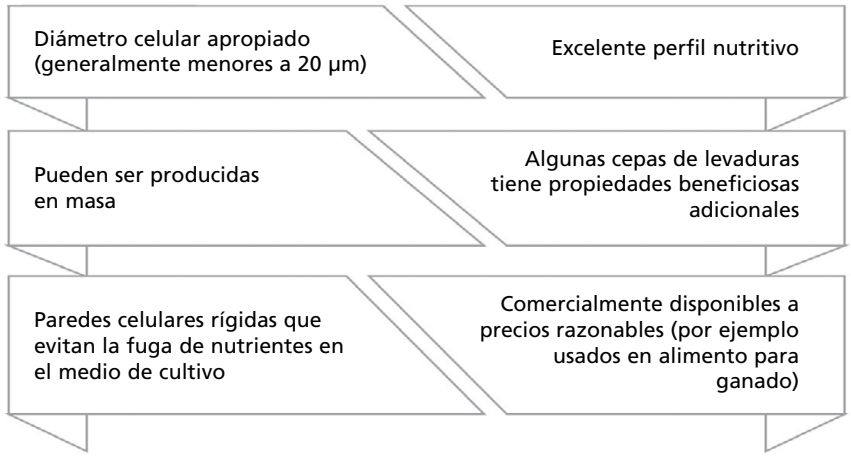
La alimentación conjunta de microalgas y bacterias (bioflocs) se considera una alternativa viable para mejorar la asimilación de nitrógeno en *Artemia*. Cuando se presentan juntas en concentraciones específicas, la presencia de microalgas y bacterias tiene un efecto sinérgico en *Artemia* y proporciona una mejor fuente de nutrientes para mantener poblaciones de alta densidad (Toi *et al*., 2014). Sin embargo, la alimentación conjunta con microalgas y bacterias requiere conocimientos técnicos especializados, desde la identificación de cepas bacterianas adecuadas hasta la optimización de las proporciones de bacterias y microalgas.

Los avances actuales en la tecnología biofloc ofrecen una alternativa viable para alimentar a *Artemia* manteniendo la calidad del agua. La tecnología biofloc consiste en el uso de bacterias heterotróficas para convertir compuestos nitrogenados no deseados en biomasa microbiana que se aprovecha como fuente de proteínas para *Artemia* (Yao *et al*., 2018). Esto es especialmente eficaz en un sistema de cultivo integrado que incluye el cultivo de *Artemia* y otros organismos acuícolas, como crustáceos o peces, en el que las aguas residuales de los animales de cultivo podrían utilizarse para producir bioflocs, que posteriormente se utilizarían para alimentar a *Artemia*. Este método reduce en gran medida el impacto ambiental de la acuicultura. Además, la incorporación de biofloc en la dieta de *Artemia* es un método prometedor para introducir probióticos saludables en las especies acuícolas objetivo (Liang *et al*., 2022).

Proteínas unicelulares

Se aíslan en forma de proteínas purificadas o células secas de microorganismos (bacterias o levaduras) con alto contenido proteico. Las proteínas unicelulares (SCP, por sus siglas en inglés) tienen varias características que las convierten en una alternativa interesante a las microalgas (ver Figura 36). Una ventaja añadida de estas proteínas unicelulares es que presentan propiedades recombinantes. Esto permite que las proteínas unicelulares incorporen características beneficiosas mediante herramientas genéticas, utilizando *Artemia* como un vehículo para transferirlas a depredadores como las larvas de peces o camarones.

FIGURA 36
Características que hace que las proteínas unicelulares sean un alimento apropiado para el cultivo de *Artemia*



Fuente: IMB, Malaysia.

Residuos alimentarios y subproductos

Artemia puede ingerir una gran variedad de residuos alimentarios y/o subproductos debido a su naturaleza alimentaria no selectiva. Desde el punto de vista económico, la utilización de residuos alimentarios/subproductos es práctica y deseable debido a su disponibilidad inmediata, facilidad de almacenamiento y bajo costo, especialmente en comparación con la laboriosa producción de microalgas. La avena, el salvado de arroz, el salvado de maíz, el salvado de trigo y la harina de soya son algunos de los posibles residuos que pueden emplearse como fuente de alimento para el cultivo intensivo de *Artemia*. Cuando se emplean residuos alimenticios o subproductos, es fundamental evaluar su viabilidad como dieta única o mixta, valorando el crecimiento y la supervivencia de *Artemia*. En condiciones óptimas, los residuos alimenticios o subproductos pueden sustituir entre el 90 % y el 100 % de los alimentos vivos a base de algas. Los subproductos también pueden complementarse con nutrientes adicionales necesarios, como aceite de pescado, colesterol y fosfolípidos (Vahdat y Oroujlou, 2021).

El tamaño ideal de las partículas para la alimentación de *Artemia* adulta es de 50 µm como máximo (o mucho menor para las etapas anteriores; ver Sección 1.1). Sin embargo, dado que a menudo se comercializan productos con partículas de mayor tamaño, con frecuencia es necesario someterlos a un procesamiento y tratamiento adicionales para fraccionar las partículas menores. Los productos con partículas de gran tamaño pueden humedecerse manualmente con agua salada, homogeneizarse con una batidora eléctrica estándar y procesarse a través de un filtro de 50 µm si la mano de obra es barata y está fácilmente disponible. Por otra parte, la homogeneización y filtración manual de los productos debe realizarse a diario, ya que la suspensión de alimento filtrada tiene una baja capacidad de almacenamiento. Cabe señalar que la homogeneización y filtración de productos con alto contenido en fibra, como el salvado de arroz y el salvado de trigo, puede no ser adecuada, ya que más del 90 % del producto (en forma de fibra) puede filtrarse. Si el costo no es un problema, se pueden emplear procedimientos de homogeneización mecánica adicionales, por ejemplo, la micronización, para la preparación a gran escala de harina seca para el cultivo de alta densidad de *Artemia*.

La mayoría de los compuestos orgánicos que no son consumidos por *Artemia* se degradan en el medio de cultivo y afectan la calidad del agua al añadir sustancias químicas nitrogenadas, como amoníaco y nitrito, dependiendo de la fuente de alimento. Esto es especialmente cierto en el caso de las dietas ricas en proteínas solubles, como la harina de soya. Se recomienda prelavar estas dietas, aireando vigorosamente la suspensión de alimento durante 1-2 h para minimizar la fracción soluble. Tras la

sedimentación, se puede eliminar la fracción de proteínas que se encuentra en forma de espuma o que permanece en la columna de agua, dejando las partículas sedimentadas con menos proteínas solubles que puedan degradar la calidad del agua. El proceso de lavado se puede repetir tantas veces como sea necesario.

Más detalles sobre el uso de desechos agrícolas para el cultivo de *Artemia* se pueden ver en Jumalon Ogburn *et al.* (2022).

RECUADRO 7

Alimento formulado para *Artemia* a partir de semilla cruda de palma, PKC-Nutri+®

En la Universidad de Malasia Terengganu, en Kuala Nerus, Malasia, se formuló un extracto en base a semilla cruda de palma como un nuevo alimento inerte para estimular el crecimiento y producción de *Artemia* en un sistema de tanques. La semilla cruda es un subproducto de la producción de aceite de palma y se considera un producto agrícola barato. El alimento formulado, conocido como PKC-Nutri+® (ver Lámina 94) generalmente contiene 21 % de proteína, 47 % carbohidrato, 6% lípidos, 22 % fibra y 4 % de ceniza. El análisis nutritivo llevado a cabo en *Artemia* alimentada en base a esta dieta reveló 59 % proteína, 13 % carbohidrato, 6 % lípidos, 14 % fibra y 8 % ceniza. Si bien los alimentos a base de la semilla de palma contienen niveles relativamente bajos de proteína cruda, *Artemia* acumuló niveles de proteína equivalentes a los obtenidos con alimentación de microalgas, demostrando que *Artemia* es eficaz en la conversión de proteínas de la semilla de palma a partir de las altas fuentes de carbohidrato e ilustra que este producto es un alimento inerte apropiado para reemplazar las microalgas, que son muy costosas, lo que brinda una ventaja al considerar los costos operativos.

Alimento formulado para *Artemia* a partir de semilla cruda de palma, PKC-Nutri+®



© IMB

Estrategias alimenticias

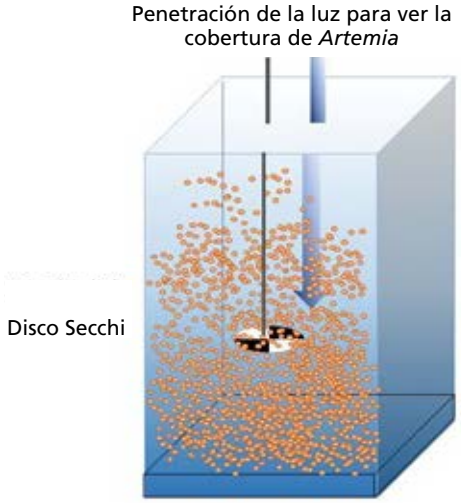
Al ser *Artemia* un organismo filtrador continuo, hay mayor crecimiento y un depósito mínimo de alimento no consumido cuando el alimento se distribuye con la mayor frecuencia posibhle.

Cuando se alimenta con proteínas unicelulares, las concentraciones de algas o levaduras deben mantenerse por encima de la concentración mínima crítica de absorción específica de la especie de alga y la etapa de desarrollo de *Artemia* (Abreu-Grobois *et al.*, 1991).

Dado que *Artemia* tiene una alta tasa de absorción de microalgas, la concentración de ésta en el tanque de cultivo debe determinarse varias veces al día y el tiempo de retención debe ajustarse para mantener niveles muy por encima de la concentración mínima estimada de absorción. Si no hay datos sobre la tasa de ingestión o los niveles óptimos de alimentación, deben probarse diferentes concentraciones de algas y el nivel de alimentación debe estimarse mediante observación microscópica. Los animales bien alimentados tienen el intestino completamente lleno y liberan bolitas fecales compactas. Los animales desnutridos tienen el intestino vacío o apenas lleno y tienden a liberar bolitas fecales sueltas (ver Sección 2.2.4.1).

Los niveles de alimento seco, compuesto por fragmentos y partículas irregulares, no pueden ser contados. Por lo tanto, se ha establecido una correlación entre el nivel óptimo de alimento y la transparencia del agua de cultivo: la concentración de alimento en un tanque de cultivo se determina comúnmente midiendo la transparencia del agua con un disco Secchi simplificado (Figura 37). La experiencia ha demostrado que los niveles óptimos de alimentación coinciden con transparencias de 15 cm a 20 cm durante la primera semana de cultivo y de 20 cm a 25 cm durante la semana siguiente (Lavens *et al.*, 1986). Una vez que los animales alcanzan la etapa adulta, los mejores rendimientos de producción se obtienen cuando se pasa gradualmente de una distribución de alimento controlada por la transparencia a un esquema de alimentación de aproximadamente el 10 % del peso seco del alimento por peso vivo de *Artemia* por litro/día (Lavens y Sorgeloos, 1987a). En el Anexo 2 se incluye un esquema de alimentación

FIGURA 37
Estrategia de alimentación con la ayuda de un disco Secchi para evaluar la penetración de la luz en un tanque de biomasa de *Artemia*



© IMB

2.3.2. Técnicas para la cosecha de Artemia

La recolección de cultivos de *Artemia* de alta densidad puede facilitarse aprovechando el comportamiento de respiración superficial de estos animales. Cuando se interrumpe la aireación del tanque de cultivo, así como el flujo de agua y la alimentación automática, el nivel de oxígeno en el agua desciende rápidamente y todas las partículas de residuos se hunden hasta el fondo. Al cabo de unos 30 minutos, las *Artemia* responden al agotamiento del oxígeno concentrándose en la superficie del agua, donde realizan la respiración superficial. La población concentrada, libre de partículas en suspensión, puede recogerse simplemente con una red de malla adecuada.

Cuando el agua del cultivo está libre de partículas, también se puede recolectar *Artemia* drenando todo el cultivo a través de un filtro parcialmente sumergido en un recipiente con agua (Lámina 35). Luego de limpiar *Artemia* con agua dulce o salada, se puede suministrar posteriormente como fuente de alimento vivo de alta calidad para depredadores tanto de agua dulce como marina. Dado que *Artemia* es un hipo osmorregulador (es decir, sus fluidos corporales tienen un contenido constante de sal bajo, de aproximadamente 9 g/L), la salinidad del agua de cultivo de los depredadores no tiene importancia. *Artemia* puede sobrevivir en agua salada durante varios días sin alimentarse. Cuando se introducen en agua dulce, seguirán nadando durante aproximadamente otras cinco horas antes de morir como consecuencia del estrés osmorregulador. *Artemia* viva se puede transportar en bolsas de plástico que contengan agua de mar refrigerada y oxígeno (ver Sección 2.4.3.2).

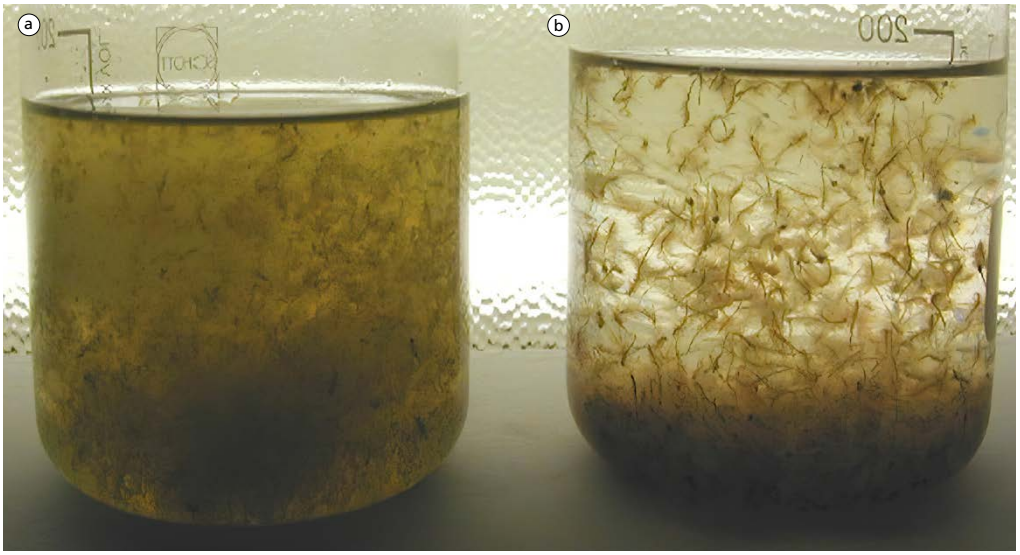
Artemia recolectada pero no consumida se puede congelar o secar en copos. Para obtener la máxima calidad posible del producto, la biomasa de *Artemia* debe congelarse inmediatamente después de lavarla con agua dulce, mientras aún está viva. La biomasa debe colocarse en bolsas de plástico o bandejas de hielo en capas finas (0,5 cm) y congelarse rápidamente (a una temperatura mínima de -25 °C). Cuando la biomasa se congela correctamente, el exoesqueleto de los adultos no se daña. Al descongelar *Artemia*, se obtienen animales intactos que no contaminan el agua con la filtración de fluidos corporales (Lámina 36).

LÁMINA 35
Cosecha de *Artemia* mediante el vaciado del tanque de cultivo sobre un filtro sumergido



© IMB

LÁMINA 36
Ejemplo de biomasa de *Artemia* congelada inadecuadamente (a) agua turbia con *Artemia* parcialmente descompuesta) y adecuadamente (b) agua limpia y cristalina con *Artemia* intacta) luego de descongelar



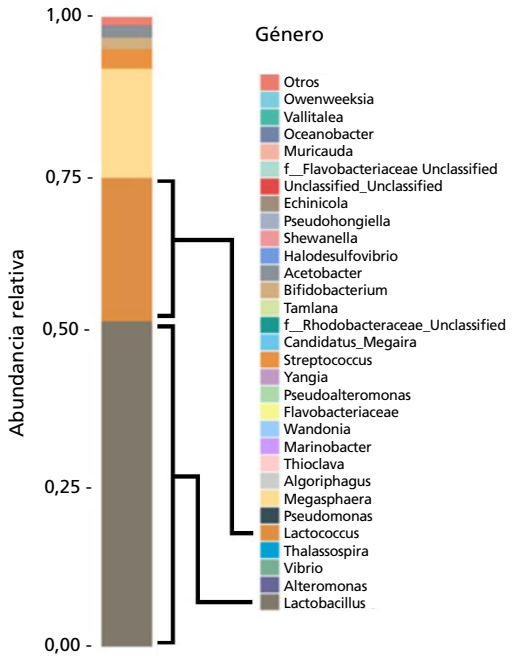
© LAARC

2.3.3. Aspectos microbiológicos de la producción de biomasa de *Artemia* en tanques

Las infecciones por bacterias filamentosas *Leucothrix*, que se producen principalmente en entornos ricos en nutrientes, pueden causar pérdidas sustanciales de sub adultos. Las colonias de *Leucothrix* se adhieren al exoesqueleto, preferentemente a los toracópodos,

y solo se hacen visibles a partir de la fase V/VI (ver Sección 2.2.5.5). *Artemia* sufre físicamente cuando se alteran los movimientos de sus toracópodos, lo que da lugar a menores tasas de filtración. La sobrealimentación de los tanques acaba deteniendo el desarrollo y la muda, lo que provoca el colapso del cultivo de *Artemia* Se puede utilizar terramicina como cura; sin embargo, no se pueden administrar antibióticos en los sistemas de recirculación por cuanto estos perjudican la unidad de tratamiento biológico. La opción más viable parece ser un aumento de la salinidad de 35 g/L a 50-60 g/L, junto con una mayor tasa de reposición de agua.

FIGURA 38
Composición de la comunidad microbiana (a nivel de género) en el alimento para *Artemia* con base a semilla de palma



Fuente: IMB, Malaysia.

Una segunda enfermedad identificada en los cultivos de *Artemia* es la denominada "enfermedad de las manchas negras" (Lámina 32), en la que algunas partes de los animales presentan manchas negras, especialmente en las extremidades (es decir, torácopodos y antenas). Esta afección se caracteriza por la separación de la epidermis de la cutícula y se cree que está causada por un déficit nutricional que altera el metabolismo lipídico. La enfermedad de las manchas negras se observa típicamente en cultivos de alta densidad de *Artemia* que utilizan subproductos agrícolas como fuente de alimento, cuando la calidad del agua se deteriora (lo que posiblemente interfiere con la composición de la población bacteriana) o cuando las tasas de alimentación no son adecuadas. Mejorar estas circunstancias no parece salvar los animales infectados, pero puede prevenir pérdidas subsiguientes. A diferencia de otros subproductos agrícolas, el uso de alimentos a base de semilla de palma no provoca la aparición de la enfermedad de la mancha negra durante el cultivo de *Artemia*. Un examen de los metagenomas microbianos (Figura 38) del alimento a base de semilla de palma, en comparación con las 30 clasificaciones más abundantes según Microflora Diversity Analysis usando la secuencia del amplicón del gen 16s rDNA , mostró una alta proporción de *Lactobacillus* y *Lactococcus* (aproximadamente el 75 %), ambos comúnmente conocidos como probióticos o "bacterias positivas".

2.3.4. Cifras de producción y costos de la producción de biomasa de *Artemia* en tanques

Es difícil estimar el costo de producción del cultivo de *Artemia*. Si bien los costos fijos pueden generalizarse razonablemente bien, los costos operativos dependen totalmente de variables locales. Los factores locales, por ejemplo, influyen en el tipo de operación recomendada: un ejemplo es el flujo abierto en lugares con abundante agua de mar limpia y cálida. No obstante, se incurrirá en gastos adicionales significativos cuando se requiera una unidad de recirculación. El alimento debe elegirse entre las opciones disponibles localmente. No solo es importante el precio al elegir el alimento, sino también sus costos de procesamiento. Además, el costo de la micronización en comparación con el costo de la mano de obra local determinará si el alimento debe micronizarse mecánicamente o exprimirse manualmente a través de una bolsa de filtro. Por último, los gastos de calefacción y bombeo están determinados por una variedad

LÁMINA 37
Transferencia tecnológica para el cultivo y producción en tanques de *Artemia* a cultivadores de Malasia



© IMB

de factores locales, como los costos de energía, la temperatura ambiente y la ubicación de las reservas de agua salada en relación con los tanques de cultivo.

La Lámina 37 ilustra las interacciones entre la Universidad de Malasia Terengganu y los productores de Malasia para la transferencia de conocimiento del cultivo de *Artemia* y la producción en tanques de productores para mejorar la producción de *Artemia*.

Muchos acuicultores, especialmente los del sector de los peces ornamentales en Malasia, se han beneficiado del uso de alimentos a base de semilla micronizada de palma como alimento para *Artemia* (ver Recuadro 7). A diferencia de otras partes del mundo, en Malasia es difícil obtener *Artemia* viva y su precio oscila entre 20 USD y 30 USD estadounidenses por kilo, dependiendo de la disponibilidad, por lo que los acuicultores suelen recurrir a alimentos vivos importados (*Artemia* congelada, gusanos, etc.), que suelen ser de peor calidad debido a la manipulación y el transporte. Cuando los acuicultores locales lo practican a pequeña o mediana escala, un inóculo inicial de 3 g/500 L (nauplios) en un sistema de cultivo por lotes estancado puede producir entre 1 kg y 2 kg de biomasa adulta de *Artemia* tras 14 días de cultivo. Los costos de producción, incluidos los de alimentación, mano de obra, servicios públicos y otros, pueden reducirse de 10 USD/kg a 3 USD/kg utilizando la técnica existente de cultivo en tanques de *Artemia* con alimentación a base de semilla de palma, esta última con el uso de agua salada natural.

2.4. TÉCNICAS DE COSECHA Y PROCESAMIENTO (por *Nguyen Van Hoa* y *Gilbert Van Stappen*)

2.4.1. Manejo de la cosecha

La Sección 2.4 se enfoca en la cosecha y procesamiento de *Artemia* en estanques de cultivo. Las prácticas descritas a continuación, son aplicadas universalmente, por ejemplo, para *Artemia* cosechada de lagos salados naturales. El cultivo de *Artemia* en estanques puede rendir dos productos principales – quistes o biomasa, o ambos. Se debe prestar atención a identificar la mejor época para la cosecha, la frecuencia de la cosecha y el estado de los productos crudos, para así asegurar la mejor calidad.

2.4.2. Cosecha y procesamiento de los quistes

2.4.2.1. Cosecha de quistes en estanques

Dependiendo de las condiciones climáticas, el manejo del estanque y el desarrollo de la población de *Artemia* en el estanque de cultivo, la actividad de recolección puede tener lugar dos semanas después del repoblamiento (p. ej., en el delta del Mekong, Viet Nam). Los quistes comienzan a aparecer en el estanque de cultivo (visibles como pequeñas partículas de color que varía de amarillo claro a amarillo oscuro, o de marrón claro a marrón oscuro, y a menudo adheridas a la espuma o los residuos en la esquina a sotavento), primero en la columna de agua y luego subiendo a la superficie del estanque, donde se agrupan en racimos. Gracias al viento que sopla sobre la superficie

LÁMINA 38
Quistes flotando en la superficie del agua, empujados por el viento a la esquina del estanque (a) y listas para la cosecha (b)



Fuente: Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of Artemia*. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa y D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

del estanque, los quistes flotantes se desplazarán hacia la orilla y, por lo general, se acumularán en la esquina a sotavento detrás de las barreras de quistes (Lámina 38), donde pueden ser recolectados. Como se explica en la Sección 2.2.3.2, es importante evitar que los quistes sean arrastrados a la orilla, ya que pueden quedar expuestos a altas temperaturas y a ciclos repetidos de hidratación/deshidratación que, a su vez, pueden disminuir la viabilidad del producto final. Además, los quistes acumulados en la orilla también pueden quedar suspendidos en el aire cuando se secan. En caso de vientos fuertes, la aparición de quistes en la superficie del agua será menor, ya que los quistes permanecerán suspendidos en la columna de agua; volverán a acumularse en la superficie cuando disminuya la turbulencia del agua. Cuando el agua está muy agitada y se forma mucha espuma, los quistes también pueden quedar atrapados y perderse en la espuma transportada por el aire. Por lo tanto, se deben instalar barreras para los quistes (p. ej., palos de bambú flotantes o ramas de plantas), ya que actúan como rompeolas y reducen la formación de espuma. Por otro lado, en días sin viento, es posible que los quistes no se agrupen fácilmente en la esquina del estanque.

Los quistes recién liberados, no se convierten en nauplios inmediatamente, aun cuando las condiciones de incubación son favorables. Estos quistes permanecen en estado de diapausa, lo que significa que toda la actividad metabólica se interrumpe de forma reversible. Solo después de la desactivación de esta diapausa – lo que, en el caso de *Artemia franciscana* del tipo de la bahía de San Francisco, se produce tras la deshidratación (Lavens y Sorgeloos, 1987b) – pueden los quistes reanudar su desarrollo cuando se incuban en condiciones de eclosión aceptables (ver también la Sección 1.5.4).

La recolección regular de quistes de la superficie del agua garantiza la máxima calidad, mínima pérdida de cosecha y también una menor contaminación con impurezas. Por lo tanto, la recolección de quistes se debe llevar a cabo diariamente, algunas veces dos veces al día (p. ej., en la mañana y en la tarde) o más frecuentemente. Los quistes son cosechados fácilmente con una red de plancton estándar o con una red de malla de 100-150 µm.

2.4.2.2. Resumen de los procedimientos para el procesamiento de quistes

En el caso de la producción a pequeña escala, los criadores de *Artemia* suelen vender sus quistes directamente en bruto, tras un procesamiento preliminar como el descrito en la Sección 2.4.2.3, a intermediarios o a plantas de procesamiento. En este caso, es posible que los criadores no inviertan en una unidad de procesamiento completa.

Por el contrario, para la producción a gran escala, como en las cooperativas o las empresas de mayor tamaño, se requiere equipo para el procesamiento y envasado de los quistes con el fin de obtener un producto limpio y comercializable (p. ej., envasado

FIGURA 39
Diagrama del equipo para una planta de procesamiento de quistes
(1) Cono(s) para la separación y almacenamiento; (2) conos separadores de quistes (separación en agua dulce); (3) pantallas para la remoción del agua externa y de la basura remanente; (4) centrifuga; (5) unidad de secado (6) máquina de filtrado y separación; (7) máquina enlatadora al vacío; (8) bodega para el almacenamiento temporal del producto final

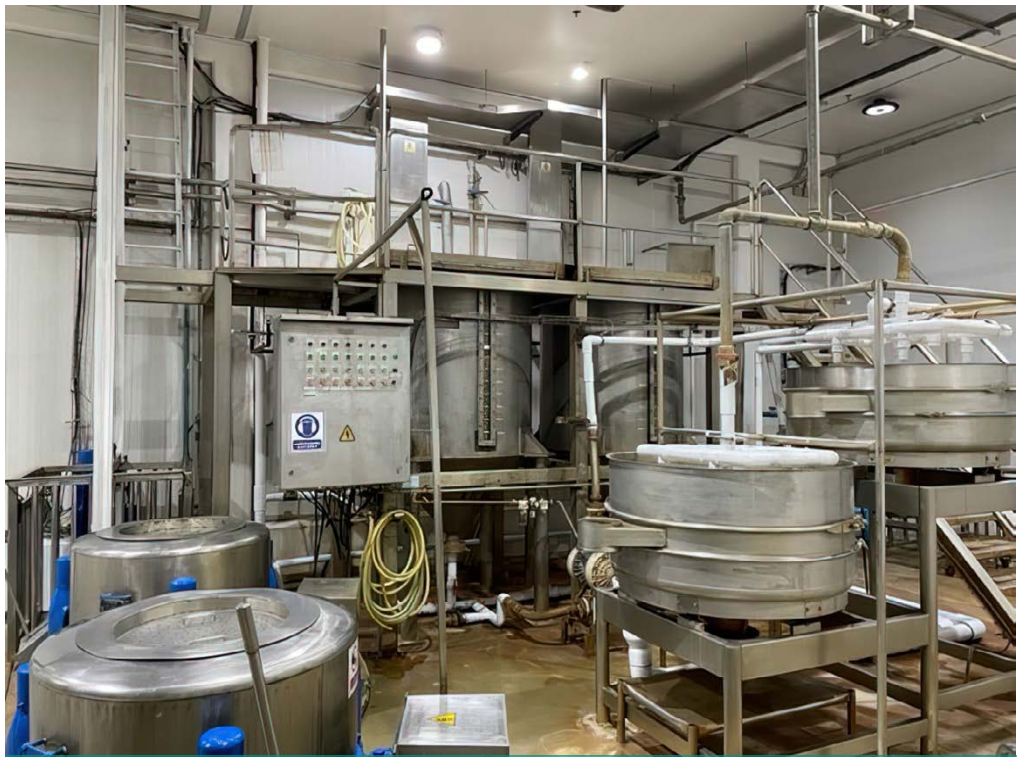


© CTU and LAARC

en latas, con parámetros de eclosión y vida útil aceptables). El equipo incluye una variedad de tanques (para la separación de los quistes de los residuos), centrifugadoras, unidades de secado, como las unidades de secador con flujo de aire (FBD, por sus siglas en inglés), y equipo para el filtrado y el envasado (Figura 39; Lámina 39). La escala de la planta de procesamiento y la inversión necesaria dependen de la escala de la zona de cultivo y, por lo tanto, de los volúmenes de quistes crudos producidos (y/o comprados).

Antes de transferir a la planta donde se llevará a cabo más procesamiento, los quistes pasan por un procesamiento primario (ver Sección 2.4.2.3). En resumen, y como se ilustra en la Figura 39, los quistes que han sido almacenados y separados por densidad (la basura pesada se hunde, los quistes flotan) son saturados en salmuera (1), son lavados en agua dulce o agua de la llave (2) para remover toda el agua salina hasta que la salinidad haya alcanzado 0 g/L; este proceso no debe tomar más de 10 minutos para evitar la hidratación de los quistes. La separación de las cáscaras vacías de los quistes llenos puede realizarse mediante una breve incubación en agua dulce (los quistes llenos se hunden, los vacíos flotan). A continuación, los quistes húmedos se recogen en bolsas o filtros (3) para eliminar la mayor parte del agua externa y separarlos de los restos, tras lo cual se centrifugan (4) para eliminar el exceso de agua. Ahora los quistes húmedos están listos para secarse (5). La capacidad de secado depende de las dimensiones de la cámara de secado utilizada: en una unidad FBD a pequeña escala, la capacidad de secado es de hasta 20-30 kg de quistes (peso húmedo), mientras que un sistema de secado de quistes

LÁMINA 39
Ejemplo de los equipos estándares para el procesamiento de quistes: Centrifugas (izquierda, frente); juego de filtros (derecha, frente); tanques para separación por densidad en agua dulce (atrás)



© INVE

a mayor escala puede procesar hasta varias decenas de kilogramos de quistes húmedos al día. A continuación, los quistes secos se recogen del FBD, se dejan enfriar y se pasan por un filtro (6) para separarlos de las últimas impurezas restantes. Estos quistes purificados ya están listos para ser enlatados (7 y 8) (ver Figura 39).

Una descripción más detallada para los siguientes pasos se describe a continuación.

2.4.2.3. Procesamiento primario y almacenamiento de los quistes

Los quistes crudos recolectados suelen estar mezclados con residuos, algas y, en ocasiones, con *Artemia* muerta, por lo que es necesario filtrarlos con agua del estanque inmediatamente después de la recolección. Este procesamiento primario de los quistes crudos se realiza mediante los siguientes pasos (Lámina 40).

Paso 1

Verter agua del estanque lentamente sobre un filtro con abertura de malla de 1 mm (red I), los quistes son limpiados de basura más grande mientras que se asegura que los que están adheridos sean recuperados a través del lavado. Esta actividad se realiza generalmente cerca de los estanques de cultivo, ya que el agua de estos tiene la misma salinidad que el agua del lugar donde se recogieron los quistes. El uso de agua dulce o de menor salinidad para enjuagar los quistes puede provocar la absorción de agua e iniciar el metabolismo de los quistes (Lavens y Sorgeloos, 1987b), lo que afecta a la calidad de estos.

Paso 2

Utilizando una red con un tamaño de malla de 400 µm (red II), se limpian los quistes de impurezas mayores de 400 µm.

LÁMINA 40
Procesamiento primario de los quistes *Artemia*
(a, b) Quistes acumulados en la esquina del estanque; (c, d) enjuague de los quistes con agua del estanque sobre una malla; (e) apretar la malla para remover el exceso de agua; (f) quistes crudos luego del procesamiento primario



© CTU

Paso 3
Los quistes se recogen en un filtro de 150 µm mientras se siguen enjuagando con agua del estanque. El producto final es una colección de quistes de *Artemia* limpios y sin procesar. El exceso de agua externa se puede eliminar suavemente apretando la masa de quistes.

Paso 4
Los quistes crudos (o húmedos) lavados a través de estos pasos deben almacenarse en salmuera saturada (250-300 g/L), donde se someterán a una deshidratación parcial. Para evitar la disminución de la calidad, esta incubación en salmuera debe realizarse poco después de la recolección. Diariamente, los quistes se remueven manualmente o con una mezcladora para exponerlos de manera homogénea a la salmuera. El sedimento oscuro y el agua olorosa que se depositan en el fondo del recipiente deben extraerse con un sifón, tras lo cual el recipiente debe rellenarse con salmuera saturada nueva para mantener la salinidad lo suficientemente alta como para un almacenamiento óptimo. También debe añadirse sal con frecuencia a medida que se añaden nuevos quistes, ya que estos quistes parcialmente hidratados reducirán la salinidad y, por lo tanto, darán lugar a una deshidratación menos eficaz. Los quistes que hayan pasado por este procesamiento primario habrán reducido su contenido de agua entre 20 % y 25 %, pueden almacenarse durante un par de meses a temperatura ambiente (ver Lámina 41), aunque es preferible almacenarlos en condiciones frescas. Dependiendo de la cepa, esta deshidratación desactivará parcial o completamente la diapausa (Lavens y Sorgeloos, 1987b).

Paso 5: Separación por densidad en salmuera
La separación por densidad debe realizarse en agua dulce y agua salada, con el objetivo de limpiar el producto de diferentes maneras. La separación salina separará los restos que se hunden (sustancias pesadas) de los quistes que flotan en el agua salada. La separación en agua dulce separará los restos flotantes (madera, plumas, conchas vacías) de los quistes llenos, que se hunden en el agua dulce.

LÁMINA 41
Incubación de quistes de *Artemia* en salmuera



© LAARC

Mientras que muchas impurezas de mayor tamaño que los quistes se eliminan mediante el enjuague de los quistes con agua del estanque durante el procesamiento primario (ver más arriba), la eliminación de los residuos pesados del mismo tamaño que los quistes se lleva a cabo mediante la separación por densidad en salmuera. Los quistes sumergidos en salmuera flotan, mientras que los residuos pesados (es decir, arena, grava, materia orgánica pesada) se hunden. Este tratamiento se recomienda especialmente cuando los quistes se han recolectado cerca o en la orilla, por lo que contienen muchos residuos pesados. Si se dispone del equipo en el lugar, la separación por densidad se suele realizar cerca de los lugares de producción (debido a la disponibilidad de salmuera saturada) poco después de la recolección.

Como alternativa a la incubación en salmuera, también se puede eliminar el exceso de salmuera (p. ej., exprimiéndola a mano) y almacenar el producto semihúmedo en bolsas de algodón o yute; la salmuera restante seguirá saliendo de las bolsas durante el almacenamiento. Cuando se almacena como producto semihúmedo durante períodos prolongados (>1 semana) en zonas con alta humedad ambiental, se debe mezclar sal gruesa con los quistes para evitar su rehidratación dado que son altamente higroscópicos. El almacenamiento en bolsas también facilita el transporte. Aparte de la desactivación de la diapausa como resultado del propio proceso de deshidratación, el almacenamiento ("envejecimiento") en salmuera puede desactivar aún más la diapausa en determinadas cepas y lotes (Lavens y Sorgeloos, 1987b).

Paso 6: Separación por densidad en agua dulce

Durante la etapa de procesamiento con agua dulce, el material de los quistes se limpia aún más mediante separación por densidad y se prepara para su posterior secado. Al utilizar agua dulce, los quistes se hidratan parcialmente. Si los quistes permanecen hidratados durante un periodo demasiado largo en condiciones de aireación y a una temperatura suficientemente alta, los embriones acabarán alcanzando un estado irreversible del metabolismo de eclosión (es decir, los quistes no pueden deshidratarse de nuevo sin afectar a la viabilidad de los embriones) (Lavens y Sorgeloos, 1987b). Incluso cuando los quistes se deshidratan antes de alcanzar la fase irreversible del metabolismo, sus

reservas de energía pueden haberse agotado hasta niveles que reduzcan la capacidad de eclosión. Para evitar un metabolismo prolongado y el consiguiente agotamiento de las reservas de energía, lo ideal es limitar el procesamiento con agua dulce a un máximo de 10 minutos y con agua fría a una temperatura controlada. Las diferentes actividades de la etapa de procesamiento con agua dulce son las siguientes.

Remoción del exceso de salmuera:

– Antes de la separación por densidad en agua dulce, se debe eliminar el exceso de salmuera para evitar el aumento de la salinidad (densidad) del agua y, en consecuencia, una separación subóptima. Esto se puede hacer dejando que la salmuera se filtre de la masa de quistes (al envasar en bolsas de tela), seguido de un enjuague completo (5-10 minutos) sobre una rejilla con agua dulce.

Separación por densidad en agua dulce:

– Los quistes sumergidos en agua dulce se separarán en una fracción de alta densidad (que se hunde) y una fracción de baja densidad (que flota). La fracción que se hunde contiene principalmente quistes llenos y algún material no quístico de densidad y tamaño similares a los quistes llenos. La fracción que flota contiene principalmente cáscaras de quistes vacíos y agrietados y material no quístico de baja densidad y tamaño similar. Para reducir la carga bacteriana del producto final de quistes, estos pueden desinfectarse durante el tratamiento con agua dulce añadiendo H_2O_2 o hipoclorito (OCl-; cloro líquido) a los tanques de separación de agua dulce antes de añadir el material de quistes. La concentración de cloro activo en el agua dulce de los tanques de separación debe ser inferior a 200 µl/L (o ppm).

Remoción del exceso de agua:

– Tras recoger la masa de quistes en bolsas, se puede eliminar la mayor parte del agua dulce mediante un filtro y apretando con fuerza las bolsas en las que se ha recogido la masa de quistes. Si se van a secar los quistes, se puede eliminar aún más el exceso de agua mediante centrifugación, lo que reducirá significativamente el tiempo de secado y, en consecuencia, el consumo de energía necesario (Lámina 42). Además, reducirá la pegajosidad del producto, lo que facilitará el proceso de secado.

LÁMINA 42
Remoción del exceso de agua por centrifugado



© LAARC

2.4.2.4. Secado y empacado de los quistes

Proceso de secado

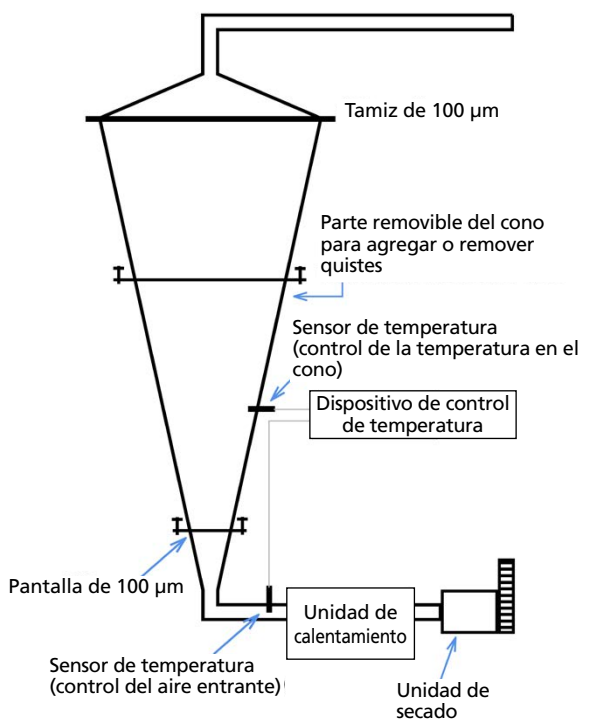
Dependiendo del procedimiento de secado, la calidad de la eclosión y la vida útil de los quistes pueden verse afectadas. Los siguientes factores influyen en la calidad del producto seco final, por lo que el proceso de secado debe gestionarse adecuadamente.

- Contenido final de agua deseado en el producto terminado: tras un tratamiento con agua dulce, el contenido de agua de los quistes debe reducirse (ver más arriba) por debajo del nivel crítico del 10 % lo antes posible, con el fin de detener la actividad metabólica y, en consecuencia, garantizar una larga vida útil. Por lo general, se busca un contenido de agua entre el 3 % y el 8 %.
- Tiempo de secado óptimo: los mejores resultados se obtienen cuando se alcanza un contenido de agua máximo del 10 % en un plazo de 8 horas o menos. Un secado prolongado (p. ej., >24 h) reduce el porcentaje de eclosión, por una disminución de las reservas de energía. El secado rápido también puede tener un efecto negativo en el producto, ya que su temperatura puede elevarse demasiado durante el proceso de secado, dañando el embrión dentro de los quistes (Lavens y Sorgeloos, 1987b).
- Temperatura de secado: La temperatura máxima de secado (temperatura del aire y del producto) depende del producto (cepa, contenido de humedad) y de la tecnología de secado aplicada (cantidad, técnica de secado). En general, una temperatura del producto inferior a 35 °C suele ser segura.
- Es importante que el secado sea homogéneo. Un secado desigual hará que algunos quistes se sequen muy lentamente y, finalmente, no alcancen un contenido de agua inferior al 10 %, lo que podría reducir la tasa de eclosión y la vida útil.

La estrategia más eficaz consiste en lograr un proceso de secado relativamente rápido y homogéneo, que dé como resultado un contenido final de agua inferior al 10%; esto se puede conseguir con un secador de lecho fluidizado (FBD). El diseño básico de un FBD, tal como se muestra en la Figura 40, consiste en una cámara de secado cónica, un soplador, una unidad de calentamiento con un dispositivo de control de temperatura y un filtro de escape/filtro de mangas. En el proceso de "fluidización", se introduce aire caliente a alta presión a través de un lecho perforado de partículas sólidas húmedas (= quistes). Los sólidos húmedos son levantados desde el fondo y suspendidos en una corriente de aire (estado fluido). La transferencia de calor se logra mediante el contacto directo entre los sólidos húmedos y el aire caliente. El líquido vaporizado es arrastrado por el aire de secado. A veces, para ahorrar energía, el aire de salida (caliente) se recicla parcialmente.

La forma cónica de la cámara de secado garantiza una mezcla óptima de los quistes durante todo el proceso, lo que da como resultado un secado homogéneo sin formación excesiva de agregaciones de quistes. La unidad de calentamiento mejora aún más la eficiencia del secado. Un primer sensor de temperatura controla la temperatura de entrada (en algunos casos, hasta 90 °C). A medida que los quistes se secan, la evaporación disminuye y la temperatura en la cámara de secado aumenta lentamente. Se puede instalar un segundo sensor de temperatura dentro del cono de secado para evitar que la temperatura del cono supere los niveles críticos (específicos de cada cepa/lote y que deben someterse a prueba) al final del proceso de secado. Típicamente, y

FIGURA 40
Diagrama esquemático de un secador con flujo de aire para los quistes de *Artemia*



Fuente: LAARC.

LÁMINA 43
Secadores industriales de quistes de *Artemia*



© INVE

LÁMINA 44
Juego de filtros para los quistes de *Artemia*



© LAARC

dependiendo de las dimensiones del FBD y de la cantidad de quistes, el proceso de secado debe durar entre 3-5 h.

Si bien son más económicos, no se recomiendan los métodos de secado alternativos, como el secado al aire libre o en interiores, ya que el proceso de secado no es rápido ni homogéneo y es demasiado difícil de estandarizar, especialmente en zonas con humedad relativa alta o muy variable. Además, si la mezcla es deficiente, pueden formarse pequeños agregados (grumos) de quistes, lo que a su vez afecta la calidad general del producto final.

Las empresas que procesan grandes cantidades de quistes (recolectados en grandes lagos salados o salinas costeras) utilizan diversos secadores industriales (Lámina 43), basados en el mismo principio de mantener los quistes suspendidos en una cámara de secado.

Después del secado de los quistes, se puede aplicar la denominada clasificación por aire para separar las cáscaras vacías y agrietadas que no se eliminaron durante la separación con agua dulce (o cuando no se realizó la separación con agua dulce). Esto se puede llevar a cabo liberando el material de los quistes secos en una corriente de aire horizontal en la que las partículas pesadas tienden a caer más rápido que las partículas más ligeras. El material de los quistes que se sopla a través de una corriente de aire horizontal con varios recipientes de recogida debajo separará así diferentes fracciones: estas son, sucesivamente, partículas pesadas (material restante que no es de quistes o agregados de quistes), quistes completos y, por último, cáscaras vacías, cáscaras agrietadas y material ligero que no es de quistes. Los pasos adicionales previos al envasado también pueden incluir la mezcla de diferentes lotes de quistes y/o el cribado (para eliminar las últimas impurezas que quedan en los quistes; Lámina 44) con el fin de garantizar un producto comercializable de calidad constante, ya que la calidad de los quistes de los lotes recolectados puede variar en función de la temporada/año de producción o del lugar específico de recolección.

Empaquetamiento

Antes del envasado, se suelen tomar muestras de los quistes secos para controlar la calidad; el envasado y el etiquetado del producto final se suelen realizar de acuerdo con los requisitos comerciales para los diferentes grados de calidad. El control de calidad de los quistes secos implica la determinación de parámetros de calidad (Lámina 45) tales como porcentaje de eclosión, eficiencia de eclosión, el contenido de humedad (%) y el diámetro de los quistes (µm) (ver Sección 3.2). La composición lipídica, especialmente el contenido de ácidos grasos altamente insaturados (HUFA), también es un criterio de calidad importante. Además, dependiendo del cliente (especialmente en relación con los mercados de exportación), puede ser necesario medir los estándares microbiológicos (es decir, las cargas bacterianas/patógenas).

LÁMINA 45
Observación microscópica para medir la calidad de eclosión. Recuadro superior izquierdo: Vista microscópica de una muestra para determinar la calidad de eclosión



© CTU

El envasado de quistes al vacío o en atmósfera de nitrógeno permite almacenarlos durante meses o incluso años sin que se produzca una disminución significativa de la eclosión. Sin embargo, además de depender de las condiciones de envasado (aire/vacío/nitrógeno), la vida útil de los quistes secos suele depender de la cepa o el lote. Inmediatamente después del secado, los quistes deben envasarse o, en cualquier caso, transferirse a recipientes herméticos o bolsas de polietileno selladas para evitar la rehidratación de los quistes altamente higroscópicos; se recomienda mantener estos quistes en un lugar fresco (por debajo de 10 °C).

2.4.3. Cosecha y procesamiento de la biomasa

2.4.3.1. Cosecha de biomasa en estanques

Luego de 2-3 semanas de cultivo, *Artemia* (como *Artemia franciscana* Vinh Chau) puede alcanzar la fase adulta y comenzar a reproducirse, con la aparición de una nueva generación ovovivípara; cuando la población es lo suficientemente abundante, los acuicultores deciden cuándo realizar la recolección. Se pueden recolectar diferentes tamaños de biomasa, por ejemplo, juveniles tardíos, subadultos y adultos de *Artemia*, utilizando redes con un tamaño de malla adecuado.

La biomasa adulta de *Artemia* puede recolectarse en estanques grandes y poco profundos con redes cónicas montadas delante de un bote a motor o arrastradas por los acuicultores. En estanques pequeños, se suelen utilizar redes de mano (Lámina 46). También se pueden instalar redes (temporalmente) en la salida del estanque y recoger la biomasa automáticamente cuando el agua fluye (por bombeo o por gravedad) hacia el siguiente estanque. En este caso, las redes deben ser lo suficientemente grandes como para facilitar la recolección: por ejemplo, para 100 kg de biomasa adulta, se debe utilizar una boca de filtro de 1 m por 2 m y una longitud de filtro de 3 m a 6 m. Se debe colocar una malla de 100 µm en el extremo de la red donde se acumulan los adultos para evitar la extrusión y, por lo tanto, dañar a los animales. Las redes deben vaciarse cada hora; la biomasa de *Artemia* que se acumula en la punta de la red está expuesta a condiciones anaeróbicas, que solo puede tolerar temporalmente. Dado que *Artemia* es rica en enzimas proteolíticas, es esencial recolectarla viva.

LÁMINA 46

Cosecha de biomasa con una red de nylon

Manualmente (a, b) o en la salida del estanque (c, d); véase las aspas (ver flecha en d) y palos de bambú para ayudar a concentrar la biomasa en la red de cosecha



© CTU © NACA © CTU © NACA

En estanques pequeños, el método más popular para la recolección de biomasa es utilizar una red de mano o una red de deriva para arrastrarla a lo largo del borde del estanque o por las zonas donde se acumula la mayor parte de *Artemia*. Se puede recolectar toda la biomasa disponible (cultivo por lotes) o solo una parte; esta última estrategia se corresponde con un sistema de cultivo continuo. En la práctica, cuando se recolecta biomasa en la etapa adulta, se debe utilizar una red con un tamaño de malla de 1-2 mm; si la biomasa es juvenil o sub adulta, se necesita un tamaño de malla más pequeño (p. ej., 500-750 µm). En Viet Nam, la recolección de biomasa se realiza a menudo al mediodía, ya que a temperaturas más altas las *Artemia* adultas tienden a acumularse cerca de la superficie del agua en el lado de barlovento, lo que facilita su recolección.

Los ensayos experimentales realizados en estanques en Vinh Chau (Viet Nam) han demostrado que las diferentes frecuencias de recolección aplicadas durante la temporada de producción dan lugar a diferentes cantidades de biomasa total recolectada a lo largo de la temporada (Anh, 2009). En las condiciones locales, la máxima cosecha de biomasa en un período de cultivo de tres meses fue lograda siguiendo una estrategia de cosecha cada tres días (Tabla 18).

En Tailandia los productores de *Artemia* producen biomasa todo el año y algunos alcanzan un alto rendimiento (ver Recuadro 8).

TABLA 18

Biomasa total (promedio ± error estándar; kilogramo de biomasa viva/hectárea) cosechada en un periodo de tres meses usando diferentes frecuencias de cosecha

Ciclo de cosecha	1 día	3 días	6 días	9 días
Biomasa total	1 323 ± 116	1 587 ± 128	1 091 ± 101	975 ± 112

Fuente: Anh, N.T.N. 2009. *Optimisation of Artemia biomass production in salt ponds in Vietnam and use as feed ingredient in local aquaculture*. Ghent University, Ghent, Belgium. PhD dissertation. ISBN 978-90-5989-308-5, 250 pp. https://biblio.ugent.be/publication/2064659

RECUADRO 8

¿La biomasa de *Artemia* se convertirá pronto en una alternativa rentable a la harina de pescado?

por *Patrick Sorgeloos*

Quizás la granja de biomasa de *Artemia* más exitosa del mundo, que lleva más de 15 años en funcionamiento, es la que gestiona el criador de camarones *Penaeus monodon* Banchong Nissagavanich en la provincia de Chachoengsao, en Tailandia, a unos 60 km al este de Bangkok. Hay dos estanques en funcionamiento durante todo el año, con una superficie de unos 6 500 m² y una profundidad de 2 m, para poder drenar el agua dulce durante las fuertes lluvias de la temporada lluviosa: 110 g/L de salinidad al comienzo de la temporada lluviosa para seguir teniendo 70-80 g/L al final de esta. Ami-ami, un producto de desecho de la producción de glutamato monosódico, ydiferentes residuos del procesamiento de plantas y frutas, estiércol de vaca e incluso residuos de cocina se utilizan como fertilizantes orgánicos y se añaden diariamente. Cada dos días, se rastrilla el fondo del estanque con una pesada cadena arrastrada por una embarcación. La recolección de la biomasa de *Artemia* que se acumula en la superficie del agua por la mañana, cuando los niveles de oxígeno son bajos, se realiza empujándola hacia una red de recolección mediante una rueda de paletas. El rendimiento de la cosecha oscila entre 100 kg y 120 kg de biomasa de *Artemia* en peso húmedo por estanque y día, o expresado en kilogramos por hectárea y mes, aproximadamente 4,5 t. *Artemia franciscana* local (la cepa de la bahía de San Francisco se introdujo en Tailandia hace más de 30 años) ya no produce quistes, pero se ha adaptado a las condiciones locales.

La biomasa viva resulta ser mucho más nutritiva que *Artemia* congelada (diferentes comunicaciones personales) y se utiliza para alimentar a los reproductores, así como para las etapas de cría de diferentes especies de peces y crustáceos. El cultivo de *Artemia* en estas altas salinidades aparentemente garantiza una alta bioseguridad, con biomasa libre de patógenos del camarón, ya que durante todos estos años de alimentación con biomasa viva a sus reproductores de *P. monodon*, el Sr. Banchong nunca ha experimentado un brote de enfermedad. En 2005, Kongkeo y Wilkinson ya habían informado sobre esta granja de *Artemia* en su artículo Recycling Water and Making Money (Reciclar agua y ganar dinero). En su reciente artículo "Microbially Derived Co-Products from Zero-Discharge Aquaculture" (Coproductos de origen microbiano procedentes de la acuicultura sin vertidos), Brune (2021) describe como posible solución el uso de organismos acuáticos filtradores, como la tilapia o el camarón de salmuera, en procesos de acuicultura integrada para recolectar y convertir los residuos sólidos microbianos en coproductos de mayor valor, en lugar de eliminar los lodos residuales. En el cultivo superintensivo de camarones peneidos, el cocultivo de *Artemia* ofrece la posibilidad de convertir los sólidos microbianos en un producto sustitutivo de la harina de pescado, con un valor potencial de aproximadamente 1,5 USD por kilogramo de peso seco.

Aunque el uso tradicional de la biomasa de *Artemia* es como fuente de alimento en aplicaciones acuícolas, existe un creciente interés en considerar *Artemia* como ingrediente de alta calidad en la dieta humana (ver Recuadro 9).

RECUADRO 9

***Artemia* como alimento humano**

por *Nguyen Van Hoa* y *Patrick Sorgeloos*

En 1979, con motivo del Primer Simposio Internacional sobre *Artemia* en Corpus Christi, Texas, Estados Unidos de América, publicamos un breve párrafo sobre "El uso potencial de *Artemia* como fuente de proteínas" (Sorgeloos, 1980):

> "*Además de una perspectiva mejorada para el uso de* Artemia *en los criaderos de acuicultura, resulta obvio que otras aplicaciones muestran un potencial muy alto, incluyendo incluso el uso directo en la nutrición humana. Aunque la aceptabilidad*

RECUADRO 9 (CONTINUACIÓN)

de las Artemias *como alimento para el ser humano pueda parecer especulativa o restringida a unas pocas zonas del mundo, sin duda merece la pena tenerla en cuenta, sobre todo para los países en desarrollo. Desde el punto de vista energético, la producción de* Artemia *es una forma mucho más eficiente de producir proteína animal que el cultivo de peces carnívoros y crustáceos con* Artemia *y harina de pescado como ingredientes de la dieta."*

El consumo directo de *Artemia* por años ha sido y sigue siendo una práctica habitual entre las tribus indígenas de América y África: "*... los indígenas que habitan esta región solían recolectar grandes cantidades de este crustáceo, que secaban y utilizaban como alimento*" (Jensen, 1918). El pueblo Dawada de Libia consume (consumía) copos u hojuelas secas de *Artemia* como "*... una magnífica fuente de proteínas rica en* β-caroteno y *riboflavina*" (Ghannudi y Tufail, 1978), y comercializa (comercializaba) estos "*pains d'*Artemia" (*pan de* Artemia) como un manjar nutritivo en una amplia zona (Oudney, 1828 en Bovili, 1968; Delga *et al.*, 1960; Monod, 1969). Paneles de prueba de sabor de *Artemia* llevados a cabo en Hawaii concluyeron que "*… la respuesta a un plato de tempura de camarón preparado con* Artemia *fue bastante favorable*" (Helfrich, 1973; Davidson, 1974). Si bien *Artemia* prospera en aguas con una salinidad muy alta, no es demasiado salada para el consumo humano porque *Artemia* es un potente osmorregulador que mantiene sus fluidos corporales a una salinidad moderada.

Hemos tenido que esperar más de tres décadas para poder anunciar la producción y el uso de la "tortilla de *Artemia*" como un nuevo producto culinario en el delta del Mekong, en Viet Nam. La producción combinada de sal y *Artemia* se ha convertido en un negocio muy lucrativo con importantes repercusiones socioeconómicas positivas en la zona costera de Vinh Chau y Bac Lieu, en el delta del Mekong. Más de 500 familias de productores de sal han mejorado sus ingresos en más de 5 000 USD por hogar durante la temporada seca gracias a la producción y venta de quistes de *Artemia* (Hoa y Sorgeloos, 2015). Aunque el interés principal siempre ha sido la producción de quistes, más recientemente los productores de *Artemia* han comenzado a cosechar y comercializar biomasa de *Artemia* para su uso en la acuicultura local como alimento para el criadero, el engorde y la maduración de peces y camarones, ya sea vivos o congelados.

Se están poniendo en marcha proyectos similares con *Artemia* en salinas artesanales de diferentes países de Asia (p. ej., Bangladesh, India, la República Democrática Popular de Laos y Myanmar). Aunque el principal interés es abastecer a la industria acuícola local mediante la disponibilidad local de quistes y biomasa de *Artemia* de alta calidad, también existe un buen potencial para utilizar la biomasa de *Artemia* como fuente directa de proteínas para los miembros de la comunidad local, ya sea en forma de tortilla de *Artemia*, como se describe aquí, o como sustituto parcial en recetas locales de camarones, cangrejos o pasteles de pescado

"Tortilla de *Artemia*" (b, c) producida de biomasa fresca (a)



2.4.3.2. Procesamiento de la biomasa

La biomasa cosechada de los estanques es generalmente mezclada con otras substancias, tales como residuos y restos orgánicos, por lo que necesita ser limpiada/lavada antes de su venta. Esto puede ser hecho en un sistema de recirculación con un "espumador" ("*protein skimmer*") (Lámina 47) o mediante un lavado minucioso con agua de mar

LÁMINA 47
Uso de un sistema de recirculación y espumador (skimmer) (a) para limpiar la biomasa (b)



© LAARC

LÁMINA 48
Almacenamiento de la biomasa en redes



© LAARC

limpia a través de mallas de 1 mm. En este último caso, se debe proporcionar suficiente agua y aireación, y la biomasa debe permanecer siempre sumergida para evitar daños físicos a los animales (Lámina 48).

Una vez limpia de impurezas, la biomasa puede almacenarse viva en redes o tanques con la misma salinidad o menor que en los estanques de producción, o tratarse posteriormente para diferentes aplicaciones. Se utilizarán los siguientes métodos de almacenamiento, según las necesidades:

- Almacenamiento a corto plazo de biomasa, para su posterior uso como alimento vivo o para congelación/desecación (>90 % de supervivencia).

  Para ello, la biomasa lavada se transfiere a contenedores con agua de mar y se mezcla con hielo para enfriarla a 5-10 °C bajo una fuerte aireación. Si la biomasa se va a utilizar o procesar en un plazo de 1 a 3 h, se puede mantener una densidad máxima de 500 g de biomasa en peso húmedo (PH) por litro de agua de mar. Para un almacenamiento más prolongado (hasta un máximo de 12 h), la densidad debe reducirse a un máximo de 300 g PH/L.

- Transporte en vivo para su comercialización como producto vivo (>90 % sobrevivencia luego de 24 h).

  En este caso, una técnica similar es usada para el transporte de larvas de camarones ypeces vivos:

  – Bolsas plásticas de 10 L llenas con 2-3 L de agua de mar.
  – Se agrega *Artemia* a una densidad de 100 g PH/L.
  – Se hincha la bolsa con aire comprimido u oxígeno (dependiendo de la duración del transporte) y se la cierra con una banda elástica.

LÁMINA 49
Transporte de biomasa congelada de *Artemia* (Tailandia)



© LAARC

– Las bolsas llenas son empacadas en cajas de espuma flex llenas con hielo.

Además de su uso en vivo, la biomasa de *Artemia* también puede congelarse (Lámina 49 y Lámina 50) para su posterior uso como fuente de alimento en criaderos de peces y camarones o para el mercado de mascotas. Alternativamente, la biomasa puede secarse en capas finas y utilizarse como ingrediente para alimentos de larvas (copos o dietas particuladas). Dado que *Artemia* es rica en enzimas proteolíticas, es esencial procesar la biomasa viva. Por lo tanto, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones (ver Sección 2.3.2):

- La congelación debe realizarse lo más rápido posible (en capas finas menores a 5 mm, hasta -25 °C o -30 °C), ya que una congelación lenta provocará actividad proteolítica y la pérdida de nutrientes esenciales cuando se utilice posteriormente.
- Al secar, la mejor calidad de harina de *Artemia* se obtiene con liofilización o secado por atomización. Se puede obtener una calidad aceptable con el secado en tambor (en copos u hojuelas) o el secado en horno. Si el proceso de secado es demasiado lento (p. ej., el secado al sol), se produce una oxidación excesiva (coloración negra) y la actividad proteolítica provoca pérdidas de producto.

Los requisitos de calidad pueden depender del mercado; en Viet Nam, la biomasa viva no suele requerir medidas de control de calidad. Sin embargo, para el comercio de biomasa congelada, generalmente se requiere información sobre la composición bioquímica y microbiológica.

LÁMINA 50
***Artemia* congelada (Tailandia)**



© LAARC

REFERENCIAS

Abatzopoulos, T.J., Zhang, B.O. y Sorgeloos, P. 1998. *Artemia tibetiana*: preliminary characterization of a new *Artemia* species found in Tibet (People's Republic of China). International Study on *Artemia*. LIX. *International Journal of Salt Lake Research*, p. 41–44 pp. https://doi.org/10.1007/BF02449923

Abatzopoulos, T., El-Bermawi, N., Vasdekis, C., Baxevanis, A. y Sorgeloos, P. 2003. Effects of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal *Artemia*. (International Study on *Artemia*. LXVI). *Hydrobiologia*, 492(1–3): 191–199. https://doi.org/10.1023/A:1024826702830

Abreu-Grobois, F.A., Briseno-Dueñas, R., Herrera, M.A y Malagon, M.L. 1991. A model for growth of *Artemia franciscana based* on food ration-dependent gross growth efficiencies. *Hydrobiologia*, 212: 27–37. https://doi.org/10.1007/BF00025984

Agh, N., Abatzopoulos, T.J., Kappas, I., Van Stappen, G., Razavi Rouhani, S.M. y Sorgeloos, P. 2007. Coexistence of sexual and parthenogenetic *Artemia* populations in Lake Urmia and neighbouring lagoons. *International Review of Hydrobiology*, 92: 48–60. https://doi.org/10.1002/iroh.200610909

Aladin, N.V, Chida, T., Chuikov, Y.S., Ermakhanov, Z.K., Kawabata, Y., Kubota, J., Micklin, P., Plotnikov, I.S., Smurov, A.O. y Zaitzev, V.F. 2018. The history and future of the biological resources of the Caspian and the Aral Seas. *Journal of Oceanology and Limnology*, 36(6): 2061–2084. https://doi.org/10.1007/s00343-018-8189-z

Anh, N.T.N. 2009. *Optimisation of* Artemia *biomass production in salt ponds in Vietnam and use as feed ingredient in local aquaculture*. Ghent University, Ghent, Belgium. PhD dissertation. ISBN 978-90-5989-308-5, 250 pp. https://biblio.ugent.be/publication/2064659

Anh, N.T.N., Hoa, V.N., Van Stappen, G. y Sorgeloos, P. 2009. Effect of different supplemental feeds on proximate composition and *Artemia* biomass production in salt ponds. *Aquaculture*, 286(3): 217–225. https://users.ugent.be/~gstappen/www/pdf/NgocAnh2009.pdf

Anh, N.T.N., Hoa, V.N., Van Stappen, G. y Sorgeloos, P. 2010. Effect of partial harvesting strategies on *Artemia* biomass production in Vietnamese salt works. *Aquaculture Research*, 41(9). https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02529.x

Anh, N.T.N., Ut, V.N., Wille, M., Hoa, V.N. y Sorgeloos, P. 2011. Effect of different forms of *Artemia* biomass as a food source on survival, molting and growth rate of mud crab (*Scylla paramamosain*). *Aquaculture Nutrition*, 17, e549–e558. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00796.x

Arashkevich, E.G., Sapozhnikov, P.V., Soloviov, K.A., Kudyshkin, T.V. y Zavialov, P.O. 2009. *Artemia parthenogenetica* (Branchiopoda: Anostraca) from the Large Aral Sea: Abundance, distribution, population structure and cyst production. *Journal of Marine Systems*, 76: 359–366.

Asem, A., Yang, C., Eimanifar, A., Hontoria, F., Varo, I., Mahmoudi, F., Fu, C.-Z., Shen, C.-Y., Rastegar-Pouyani, N., Wang, P.Z., Li, W., Yoa, L, Meng, X., Dan, Y.-T., Rogers, D.D. y Gajardo, G. (2023). Phylogenetic analysis of problematic Asian species of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea, Anostraca), with the descriptions of two new species. Journal of Crustacean Biology, 43: 1–25. https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruad002

Avnimelech, Y. 2009. *Biofloc technology: a practical guide book*. 3rd Edition. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society. 182 pp.

Baert, P., Anh, T.N., do Quynh, V., Hoa, V.N. y Sorgeloos, P. 1997. Increasing cyst yields in *Artemia* culture ponds in Vietnam: The multi-cycle system. *Aquaculture Research*, 28(10): 809–814. https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1997.00945.x

Baert, P., Thi, N., Anh, N., Burch, A. y Sorgeloos, P. 2002. The use of *Artemia* biomass sampling to predict cyst yields in culture ponds. *Hydrobiologia*, 477: 149–153. https://doi.org/10.1023/A:1021025402584

Belovsky, G.E. y Perschon, W.C. 2019. A management case study for a new commercial fishery: Brine shrimp harvesting in Great Salt Lake, Utah, USA. *Ecol Appl*, 29(3): e01864. https://doi.org/10.1002/eap.1864

Bengtson, D., Léger, P. y Sorgeloos, P. 1991 Use of *Artemia* as a food source for aquaculture. En: R.A. Browne, P. Sorgeloos & C.N.A. Trotman C.N.A., eds. *Artemia Biology*, pp. 255–285. Boca Raton, FL, USA, CRC Press. https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Sorgeloos/publication/36454771_Use_of_Artemia_as_a_food_source_for_aquaculture/links/5bc6e559299bf17a1c561746/Use-of-Artemia-as-a-food-source-for-aquaculture.pdf

Bovili, E.W. 1968. *The Niger explored*. London, UK, Oxford University Press. 263 pp.

Bradley, H.L. y Venkatesh Mannar, M.G. 1984. *Guidelines for the establishment of solar facilities from seawater, underground brines and salted lakes*. UNIDO/IS.330/REV.1. https://downloads.unido.org/ot/47/93/4793176/10001-15000_12271.pdf

Brisset, P.J., Versichele, D., Bossuyt, E., De Ruyck, L. y Sorgeloos, P. 1982. High density flow-through culturing of brine shrimp *Artemia* on inert feeds - Preliminary results with a modified culture system. *Aquacultural Engineering*, 1(2): 115–119. https://doi.org/10.1016/0144-8609(82)90003-6

Brune, D.E. 2021. Microbially derived co-products from zero-discharge aquaculture**.** *Current Biochemical Engineering*, 7(1): 38-47. doi: 10.2174/2212711907666210629111129

Camara, M.R. 2001. Dispersal of *Artemia franciscana* Kellogg (Crustacea; Anostraca) populations in the coastal saltworks of Rio Grande do Norte, northeastern Brazil. *Hydrobiologia*, 466: 145-148. https://doi.org/10.1023/A:1014575001333

Camara, M.R. 2020. After the gold rush: A review of *Artemia* cyst production in northeastern Brazil. *Aquaculture Reports*, 17: 100359. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100359

Choi, J., Han, G.S., Lee, K.W., Byun, S.G., Lim, H.J., Lee, C.H., Lee, D.Y. y Kim, H.S. 2021. Effects of feeding differentially enriched *Artemia* nauplii on the survival, growth, fatty acid composition, and air exposure stress response of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) larvae. *Aquaculture Reports*, 21: 100829. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100829

Clegg, J.S., Jackson, S.A., Hoa, V.N. y Sorgeloos, P. 2000. Thermal resistance, developmental rate and heat shock proteins in *Artemia franciscana*, from San Francisco Bay and southern Vietnam. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 252(1): 85–96. https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00239-2

Dan, S., Yamashita, K., Matsunari, H., Nagakura, K. y Hamasaki, K. 2022. Capability of *Artemia* to digest *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis oculata* under stagnant culture conditions. *Aquaculture Research*, 53(12): 4316–4326. https://doi.org/10.1111/are.15929

Dana, G.L. y Lenz, P.H. 1986. Effects of increasing salinity on an *Artemia* population from Mono Lake, California. *Oecologia,* 68: 428–436. https://doi.org/10.1007/BF01036751

Davidson, J.R. 1974. *A new industry – And perhaps a new protein source*. *Sea Grant Technical Report*. UNIHI Seagrant-MR-74-02. 3 pp.

Davis, J.S. 2000. Structure, function and management of the biological system for seasonal solar saltworks. *Global NEST Journal*, 2(3): 217–226. https://doi.org/10.30955/gnj.000175

Davis, J.S. 2009. Management of biological systems for continuously operated solar saltworks. *Global NEST Journal*, 11(1): 73–78. https://doi.org/10.30955/gnj.000569

De la Cruz, C.R. 1983. *Fishpond engineering: A technical manual for small- and medium-scale coastal fish farms in Southeast Asia*. SCS Manual No. 5. https://www.fao.org/3/e7171e/e7171e00.htm

Delga, J., Meunier, J.L., Pallaget, C. y Carious, J. 1960. Les mangeurs de vers. *Annls Falsif Expert. Chim*., 617.

De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N. y Verstraete, W. 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3–4): 125–137. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2008.02.019

De Schryver, P., Boon, N., Verstraete, W., Bossier, P. y Avnimelech, Y. 2012a. The biology and biotechnology behind bioflocs. En: Y. Avnimelech, P. De Schryver, M. Emerenciano, D. Kuhn, A. Ray & N. Taw, eds. *Biofloc technology: a practical guide book*, 199–215. 2nd Edition. Boca Raton, FL, USA, The World Aquaculture Society.

De Schryver, P., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. y Bossier, P. 2012b. Managing the microbiota in aquaculture systems for disease prevention and control. Infectious disease in aquaculture: Prevention and control. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 231: 394–418. https://biblio.ugent.be/publication/2957243

Dhert, P., Bombeo, R.B., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1992. A simple semi flow-through culture technique for the controlled super-intensive production of *Artemia* juveniles and adults. *Aquacultural Engineering*, 11: 107–119. https://doi.org/10.1016/0144-8609(92)90013-N

Dhont, J., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1993. Preparation and use of *Artemia* as food for shrimp and prawn larvae. En: J.V. Mc Vey, ed. *CRC handbook of mariculture*, pp. 61-93. 2nd Edition. *Vol 1. Crustacean culture*. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, Inc.

Dhont, J. y Lavens, P. 1996. Tank production and use of ongrown *Artemia*. En: P. Lavens & P. Sorgeloos, eds. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*, pp. 164-195. FAO Fisheries Technical Paper 361.

Dhont, J. y Sorgeloos, P. 2002. Applications of *Artemia*. En: T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg & P. Sorgeloos, eds. *Artemia: Basic and Applied Biology*. *Biology of Aquatic Organisms*, 1. Springer Link, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0791-6_6

FAO. 2017. *Doing aquaculture as a business for small- and medium-scale farmers*. *Practical training manual. Module 1: The technical dimension of commercial aquaculture*. Rome. https://www.fao.org/fishery/en/publications/6469

Gajardo, G.M. y Beardmore, J.A. 2012. The brine shrimp *Artemia*: Adapted to critical life conditions. *Frontiers in Physiology*, 3: 185. https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00185

Gao, M., Wang, J., Ma, G., Van Stappen, G. y Sui, L. 2015. Carbon supplementation and microbial management to stimulate *Artemia* biomass production in hypersaline culture conditions. *Aquaculture Research*, 48(3): 1240–1250. https://doi.org/10.1111/are.12965

Geider, R. y La Roche, J. 2002. European Journal of Phycology Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. *European Journal of Phycology*, 37(1): 1–17. https://doi.org/10.1017/S0967026201003456

Ghannudi, S.A. y Tufail, M. 1978. A report on a two-day visit to eight salt-water lakes of Ramla Az-Zaliaf, Fezzan. Libyan Arab Jamahiriya. *Libyan Journal of Science*, 8(A): 69-74.

Goodman, M.M., Carling, G.T., Fernandez, D.P., Rey, K.A., Hale, C.A., Bickmore, B.R., Nelson, S.T. y Munroe, J.S. 2019. Trace element chemistry of atmospheric deposition along the Wasatch Front (Utah, USA) reflects regional playa dust and local urban aerosols. *Chemical Geology*, 530. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119317

Hargreaves, J.A. 2013. *Biofloc production systems for aquaculture Southern Regional Aquaculture Center*. SRAC publication No. 4503. https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_4503_biofloc_production_systems_for_aquaculture.pdf

Helfrich, P. 1973. *The feasibility of brine shrimp production on Christmas Island*. Sea Grant Technical Report UNIHI-Seagrant-TR-73-02. 173 pp.

Herbst, D.B. 2006. Salinity controls on trophic interactions among invertebrates and algae of solar evaporation ponds in the Mojave Desert and relation to shorebird foraging and selenium risk. *Wetlands*, 26(2): 475–485. https://doi.org/10.1672/0277-5212(2006)26[475:SCOTIA]2.0.CO;2

Hoa, V.N. 2002 *Seasonal farming of the brine shrimp* Artemia franciscana *in artisanal salt ponds in Viet Nam: effects of temperature and salinity*. Ghent University, Ghent, Belgium. PhD dissertation. 184 pp.

Hoa, V.N., Anh Thu, T., Thi Ngoc Anh, N. y Thanh Toi, H. 2011. *Artemia franciscana* Kellogg, 1906 (Crustacea: Anostraca) production in earthen pond: improved culture techniques. *International Journal of Artemia Biology*, 1: 13–28 https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=q-Ww5RYAAAAJ&citation_for_view=q-Ww5RYAAAAJ:WF5omc3nYNoC

Hoa, V.N., Le, T.H., Hong Van, N.T., Sorgeloos, P. y Van Stappen, G. 2013. New approaches for *Artemia* pond culture. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 78(4): 320-323. https://www.researchgate.net/publication/264990056

Hoa, V.N. 2014. *Artemia* production in southern Vietnam: geographical, soil structure, climatic and culture technique updating. *International Journal of Artemia Biology*, 4: 30–37. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=q-Ww5RYAAAAJ&citation_for_view=q-Ww5RYAAAAJ:vV6vV6tmYwMC

Hoa, V.N. y Sorgeloos, P. 2015. Integrated salt and brine shrimp *Artemia* production in artisanal salt works in the Mekong Delta in Viet Nam: a socio-economic success story as model for other regions in the world. En: S. Lauret, ed. *Proceedings of the International Conference on Solar Salt Works and the Economic Value of Biodiversity*, pp. 137-144. European Union Salt, Brussels. 245 pp. https://users.ugent.be/~psorgelo/GIZreportMissionUzbekistanMay2021/Doc2.pdf

Hoa, V.N., Phuong, T.V., Hai, T.N., Tao, C.T., Viet, L.Q., Van, N.T.N., Toi, H.T., Le, T.H., Son, V.N. y Duy, P.Q.A. 2017. Applied biofloc technology for target species in the Mekong Delta in Vietnam: A review. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 6(4). https://doi.org/10.17265/2162-5263/2017.04.001

Hoa, V.N. y Van, N.T.H. 2019. *Principle of* Artemia *culture in solar saltworks*. N.V. Hoa & P.K.H. Lam, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2946-5. 219 pp.

Hoa, V.N. y Nam, T.N.H. 2019. *Application of bio-floc technology for culture of* Artemia. En: N.V. Hoa, H.T. Hieu, N.A. Khoa & D.T.T. Uyen, eds. Ho Chi Minh City, Viet Nam, Agriculture Publishing House. ISBN 978-604-60-2981-6. 163 pp.

Hoa, V.N. y Nhi, D.T. 2020. Determination of an appropriate ratio of N:P for optimisation of algal development in fertilizer ponds. *International Journal of the Bioflux Society*. www.bioflux.com.ro/aacl

Hoa, V.N. y Le, T.H. 2021. *Determination of appropriate fertilisation frequencies for optimising wild algae development*. Department of Coastal Aquaculture, College of Aquaculture and Fisheries, Cantho University, Cantho, Vietnam. www.bioflux.com.ro/docs/2021.1009-1020.pdf

Internet Resources of Federal Agency for Fishery. In Russian. https://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika

Islam, M.S., Kibria, M.M. y Bhuyan, S. 2019. Production of *Artemia* biomass in indoor culture tank in Bangladesh. *Journal of scientific research*, 11(1): 101–110. https://doi.org/10.3329/jsr.v11i1.36467

Jensen, A.C. 1918. Some observations on *Artemia gracilis*: The brine shrimp of Great Salt Lake. *Biol. Bull.*, 34(1): 18-28.

Jumalon Ogburn, N., Duan,L., Subashchandrabose, S.R., Sorgeloos, P., O'Connor, W., Megharaj, M. y Naidu, R. 2022. Agricultural wastes for brine shrimp *Artemia* production: A Review. *Reviews in Aquaculture*, DOI: 10.1111/raq.12784

Jing-Yan, L., Li-Hua, Z. y Zhen-Hui, R. 2021. The application of spectroscopy technology in the monitoring of microalgae cells concentration. *Applied Spectroscopy Reviews*, 56:3: 171-192. https://doi.org/10.1080/05704928.2020.1763380

Kappas, I., Abatzopoulos, T.J., Hoa, N.V., Sorgeloos, P. y Beardmore, J.A. 2004. Genetic and reproductive differentiation of *Artemia franciscana* in a new environment. *Marine Biology*, 146(1): 103–117. https://doi.org/10.1007/s00227-004-1420-9

Khoi, C.M., Guong, V.T. y Merckx, R. 2006a. Growth of the diatom *Chaetoceros calcitrans* in sediment extracts from *Artemia franciscana* ponds at different concentrations of nitrogen and phosphorus. *Aquaculture*, 259 (1–4): 354–364. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.05.050

Khoi, C.M., Guong, V.T. y Merckx, R. 2006b. Predicting the release of mineral nitrogen from hypersaline pond sediments used for brine shrimp *Artemia franciscana* production in the Mekong Delta. *Aquaculture*, 257(1–4): 221–231. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.02.075

Kongkeo, H. y Wilkinson, S. 2005. Recycling water and making money. *Aquaculture Asia*, 10(3): 18.

Kuehn, D. 2002. The brine shrimp industry in Utah. En: W.A. Gwynn, ed. *Great Salt Lake: An overview of change*, pp. 259–264. DNR Special Publication. Utah Department of Natural Resources, Utah Geological Survey, Salt Lake City, USA.

Kumar, D. 1992. *Fish culture in undrainable ponds: a manual for extension*. FAO Fisheries Technical Paper No. 325. Rome, FAO. 239 pp. https://www.fao.org/3/T0555E/T0555E00.htm

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1984. Controlled production of *Artemia* cysts under standard conditions in a recirculating culture system. *Aquacultural Engineering*, 3(3): 221–235. https://doi.org/10.1016/0144-8609(84)90016-5

Lavens, P., Baert, P., De Meulemeester, A., Van Ballaer, E. y Sorgeloos, P. 1986. New developments in the high-density flow-through culturing of brine shrimp *Artemia*. *Journal of the World Mariculture Society,* 16: 498-508. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1985.tb00228.x

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1987a. Design, operation, and potential of a culture system for the continuous production of *Artemia* nauplii: En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir & E. Jaspers, eds. *Artemia Research and its Applications,* pp. 339–345. *Vol. 3. Ecology, culturing, use in aquaculture*. Wetteren, Belgium, Universa Press. 556 pp.

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1987b. The cryptobiotic state of *Artemia* cysts, its diapause deactivation and hatching: a review. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir & E. Jaspers, eds. *Artemia Research and Its Applications*. *Vol. 3. Ecology, culturing, use in aquaculture*. Wetteren, Belgium, Universa Press. 556 pp.

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1991. Chapter XIII: Production of *Artemia* in culture tanks. En: R.A. Browne, P. Sorgeloos & C.N.A. Trotman, eds. Artemia *Biology*, pp. 317–350. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press, Inc.

Lavens, P. y Sorgeloos, P. 2000. The history, present status and prospects of the availability of *Artemia* cysts for aquaculture. *Aquaculture,* 181(3–4): 397–403. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00233-1

Le, T.H., Hoa, V.N., Sorgeloos, P. y Van Stappen, G. 2019. Artemia *feeds: A review of brine shrimp production in the Mekong Delta, Vietnam*. Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1111/raq.12285

Liang, X., Zhang, C., Du, D., Gao, M. y Sui, L. 2022. Application of biofloc technology in recirculation *Artemia* culture system. *Journal of Oceanology and Limnology*. https://doi.org/10.1007/s00343-021-1135-5.

Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I., Boiko, E.G. y Kutsanov, K. 2015. *Artemia* cyst production in Russia. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(6): 1436–1450. https://doi.org/10.1007/s00343-015-4381-6

Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I. y Boiko, E.G. 2016. *Brine shrimp* Artemia *in Western Siberian lakes*. Novosibirsk: Nauka. 295 pp. (en ruso)

Litvinenko, L.I., Boyko, E.G., Kutsanov, K.V., Gerasimov, A.G., Razova, L.F., Pobedintseva, M.A. y Litvinenko, A.I. 2018. On the identification of the population belonging to *Artemia* of reservoirs of Russia by cysts. *Bulletin of Fisheries Science, Part 5*: 1(1–17): 4–25. (en ruso)

Litvinenko, L.I., Bizikov, V.A., Kovacheva, N.P., Saenko, E.M., Vesnina, L.V., Kutsanov, K.V., Semik, A.M. y Parshin-Chudin, A.V. 2019. *Methodological recommendations for assessing the stock and forecasting the recommended volume of production (catch) of* Artemia. Moscow, Russian Federation, VNIRO Publishing House. 50 pp. (en ruso) www.vniro.ru/files/publish/bizikov_artemii.pdf

Liu, X.C., Deng, H.G., Yu, X.Q., Zhu Y.G., Wang, P.F. y Sui, L.Y. 2022. Effects of different *Artemia* strains on growth and stress resistance of hybrid grouper juveniles. *Journal of Tianjin University of Science and Technology*, 37(2): 18–23. (en chino, con resumen en inglés)

Loving, B.L., Waddell, K.M. y Miller, C.W. 2000. *Water and salt balance of Great Salt Lake, Utah, and simulation of water and salt movement through the causeway, 1987–98*. Water-Resources Investigations REport, 2000–4221. USGS. https://doi.org/10.3133/wri004221

Luo, G.Z., Yao, M.L., Tan, H.X. y Wu, W.H. 2017. The performance of microbial flocs produced with aquaculture waste as food for *Artemia*. *Aquaculture Nutrition*, 23: 1440–1448. https://doi.org/10.1111/anu.12519

Marden, B., Brown, P. y Bosteels, T. 2020. Great Salt Lake *Artemia*: ecosystem functions and services with a global reach. En: B. Baxter & J. Butler, eds. *Great Salt Lake Biology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40352-2_7

Marden, B., Van Stappen, G., Musaev, A., Mirabdullayev, I., Joldasova, I. y Sorgeloos, P. 2012. Assessment of the production potential of an emerging *Artemia* population in the Aral Sea, Uzbekistan. *Journal of Marine Systems,* 92(1): 42–52. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.10.004

McGee, M.V. y Cichra, C. 2000. *Principles of water recirculation and filtration in aquaculture*. Gainesville, Florida, University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences. EDIS. https://www.yumpu.com/en/document/view/25773021/principles-of-water-recirculation-and-filtration-in-aquaculture-edis-

Mirabdullayev, I.M., Joldasova, I.M., Mustafaeva, Z.A., Kazakhbaev, S., Lyubimova, S.A. y Tashmukhamedov, B.A. 2004. Succession of the ecosystems of the Aral Sea during its transition from oligohaline to polyhaline water body. *Journal of Marine Systems,* 47(1–4): 101–107. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.12.012

Monod, T. 1969. A propos du Lac des Vers ou Bahr ed-Dud. Bull. *Inst, Fondam. Afr. noire (A)*, 31(1): 25-41.

Naftz, D. 2017. Inputs and internal cycling of nitrogen to a causeway influenced, hypersaline lake, Great Salt Lake, Utah, USA. *Aquatic Geochemistry*, 23(3): 199–216. https://doi.org/10.1007/s10498-017-9318-6

Nguyen, P.V., Huang, C.T., Truong, K.H. y Hsiao, Y.J. 2019 Profitability improvement for brine shrimp *Artemia franciscana* commercial farming in coastal saltworks in the Mekong Delta, Vietnam: A bioeconomic analysis. J*ournal of the World Aquaculture Society,* 51, 896-917. https://doi.org/10.1111/jwas.12667

Null, S. y Wurtsbaugh, W. 2020. Water development, consumptive water uses, and Great Salt Lake. In: B. Baxter & J. Butler, eds. *Great Salt Lake Biology*. Springer. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40352-2_1

Oudney, W. 1828. Excursion to the westward of Mourzuk in June, July and August 1828. En: D. Denham, H. Clapperton & W. Oudney, eds. *Narrative of travels and discoveries in North and Central Africa*, pp. 64-111. Reprinted by Hakluyt Soc., 1966. London, UK, Cambridge University Press.

Quynh, V.D. y Ngoc Lam, N. 1987. Inoculation of *Artemia* in experimental ponds in central Vietnam: An ecology approach and a comparison of three geographical strains. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir & E. Jaspers, eds. *Artemia Research and its Applications*, 3: 253-269. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Rasdi, N.W. y Qin, J.G. 2015. Effect of N:P ratio on growth and chemical composition of *Nannochloropsis oculata* and *Tisochrysis lutea*. *Journal of Applied Phycology*, 27(6): 2221–2230. https://doi.org/10.1007/s10811-014-0495-z

Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. *J Fish Res Board Can*, 11: 559–623.

Ronald, L., Van Stappen, G., Hoa, N.V. y Sorgeloos, P. 2013. Effect of carbon/nitrogen ratio manipulation in feed supplements on *Artemia* production and water quality in solar salt ponds in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research*, 45(12): 1906–1912. https://doi.org/10.1111/are.12135

Rothuis, A. 1987. *First report on the activities on the culture of* Artemia salina and Macrobrachium rosenbergii *in Can Tho and Vinh Chau in southern Vietnam*. Dutch Committee for Science and Technology (KWT) and Institute of Agricultural Engineering, Wageningen, Netherlands.

Shadrin, N. y Anufriieva, E. 2012. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Russia. *International Journal of Artemia Biology,* 2(1): 51–61. ISSN: 2228-754X. https://www.researchgate.net/publication/235683971_Review_of_the_biogeography_of_Artemia_Leach_1819_Crustacea_Anostraca_inRussia

Skiles, S.M., Mallia, D.V., Hallar, A.G., Lin, J.C., Lambert, A., Petersen, R. y Clark, S. 2018. Implications of a shrinking Great Salt Lake for dust on snow deposition in the Wasatch Mountains, UT, as informed by a source to sink case study from the 13–14 April 2017 dust event. *Environmental Research Letters*, 13(12). https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaefd8

Sneyers, G. y Ingawa, S.A. 2005. *Fishpond construction and management (a field guide and extension manual)*. Technological information materials from NSPFS rural aquaculture training shops in Nigeria. AK506E. https://www.fao.org/publications/card/en/c/b042ce2c-4c58-500f-aab0-bb0b48638980

Solovchenko, A., Lukyanov, A., Vasilieva, S. y Lobakova, E. 2022. Chlorophyll fluorescence as a valuable multitool for microalgal biotechnology. *Biophysical Reviews*, 1: 3. https://doi.org/10.1007/s12551-022-00951-9

Son, N.P. 2010. *Socio-economic efficiency and development potential of* Artemia *production on salt-based area in the Mekong Delta, Vietnam*. University of Antwerp, Belgium. (PhD dissertation)

Sorgeloos, P. 1980. The use of the brine shrimp *Artemia* in aquaculture. Pages 25–46. En: G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels & E. Jaspers, eds. *The Brine Shrimp Artemia. Vol. 3. Ecology, Culturing. Use in Aquaculture*, pp. 25–46. Universa Press, Wetteren. Belgium.

Stephens, D.W. y Birdsey P.W. 2002. Population dynamics of the brine shrimp, *Artemia franciscana*, Great Salt Lake, and regulation of commercial shrimp harvest. En: J. W. Gwynn, ed. *Great Salt Lake: A scientific, historical and economic overview*, pp. 327–336. Utah Geological and Mineral Survey, Salt Lake City, USA.

Sturm, P.A., Sanders, G.C. y Allen, K.A. 1980.The brine shrimp industry on the Great Salt Lake. En: J.W. Gwynn, ed. *Great Salt Lake: A scientific, historical and economic overview*, pp. 243–248. Utah Geological and Mineral Survey, Salt Lake City, USA.

Sui, L.Y., Wang, J., Hoa, N.V., Sorgeloos, P., Bossier, P. y Van Stappen, G. 2013. Increased carbon and nitrogen supplementation in *Artemia* culture ponds results in higher cyst yields. *Aquaculture International*, 21: 1343–1354. https://doi.org/10.1007/s10499-013-9637-6

Takahashi, T. 2019. *Molecules routine management of microalgae using autofluorescence from chlorophyll*. Department of Chemical Science and Engineering, National Institute of Technology (KOSEN) Miyakonojo College, Japan. https://doi.org/10.3390/molecules24244441

Tobias, W.L., Sorgeloos, P., Roels, O.A. y Sharfstein, B.A. 1980. International study on *Artemia*. XIII. A comparison of production data of 17 geographical strains of *Artemia* in the St. Croix artificial upwelling mariculture system. En: G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels & E. Jaspers, eds. *The brine Shrimp Artemia,* pp. 384–392. *Vol. 3. Ecology, culturing, use in aquaculture*. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Toi, H.T., Boeckx, P., Sorgeloos, P., Bossier, P. y Van Stappen, G. 2013. Bacteria contribute to *Artemia* nutrition in algae-limited conditions: A laboratory study. *Aquaculture*, 388–391(1): 1–7. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.005

Toi, H.T., Boeckx, P., Sorgeloos, P., Bossier, P. y Van Stappen, G. 2014. Co-feeding of microalgae and bacteria may result in increased N assimilation in *Artemia* as compared to mono-diets, as demonstrated by a 15N isotope uptake laboratory study. *Aquaculture*, 422–423: 109–114. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2013.12.005

Triantaphyllidis, G.V., Zhang, B., Zhu, L. y Sorgeloos, P. 1994. International study on *Artemia*. L. Review of the literature on *Artemia* from salt lakes in the People's Republic of China. *International Journal of Salt Lake Research*, 3: 1–12. https://doi.org/10.1007/BF01990645

Triantaphyllidis, G.V., Poulopoulou, K., Abatzopoulos, T.J., Pinto Pérez, C.A. y Sorgeloos, P. 1995. International study on *Artemia*, XLIX: Salinity effects on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and a parthenogenetic population of *Artemia*. *Hydrobiologia*, 302(3): 215–227. https://doi.org/10.1007/BF00032111

Triantaphyllidis G.V., Abatzopoulos, T.J. y Sorgeloos, P. 1998. Review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca). *Journal of Biogeography,* 25: 213–226. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1998.252190.x

Vahdat, S. y Oroujlou, M. 2021. Use of agriculture by-products (brans and meal) as food for *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) and effects on performance and biochemical compositions. *Survey in Fisheries Sciences*, 7(3): 23–40. https://doi.org/10.18331/SFS2021.7.3.3

Vanhaecke, P., Siddall, S.E. y Sorgeloos, P. 1984. International study on *Artemia*. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origin. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 80(3): 259–275. https://doi.org/10.1016/0022-0981(84)90154-0

Vanhaecke, P. y Sorgeloos, P. 1989. International study on *Artemia*. XLVII. The effect of temperature on cyst hatching, larval survival and biomass production for different geographical strains of brine shrimp *Artemia* spp. *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*, 119(1): 7–23.

Van Stappen, G., Fayazi, G. y Sorgeloos, P. 2001. International study on *Artemia*. LXIII. Field study of *Artemia urmiana* (Günther, 1890) population in Lake Urmiah, Iran. *Hydrobiologia*, 466: 133-143. https://doi.org/10.1023/A:1014510730467

Van Stappen, G. 2002. Zoogeography. En: T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg & P. Sorgeloos, eds. *Artemia*: Basic and Applied Biology. *Biology of Aquatic Organisms*, Vol. 1. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0791-6_4

Van Stappen, G., Litvinenko, L.I., Litvinenko, A.I., Boyko, E.G., Marden, B. y Sorgeloos, P. 2009. A survey of *Artemia* resources of Southwest Siberia (Russian Federation). *Reviews in Fisheries Science*, 17(1): 117–148. https://doi.org/10.1080/10641260802590095

Van Stappen, G., Sui, L., Hoa, V.N., Tamtin, M., Nyonje, B., de Medeiros Rocha, R., Sorgeloos, P. & Gajardo, G. 2019. Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds. *Reviews in Aquaculture*, 12(2): 1054-1071. https://doi.org/10.1111/raq.12371

Vinh, P., Huang, C.T., Truong, K.H. y Hsiao, Y.J. 2019. Profitability improvement for brine shrimp *Artemia franciscana* commercial farming in coastal saltworks in the Mekong Delta, Vietnam: A bioeconomic analysis. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4): 896–917. https://doi.org/10.1111/jwas.12667

Wainberg, A.A., Ribeiro, F.A.S., Ribeiro, K. y Camara, M.R. 2011. Aquaculture in Rio Grande do Norte, NE-Brazil: Past, present and future. *J World Aquaculture*, 42(1): 21–25. https://www.researchgate.net/publication/268179058_Review_of_the_biogeography_of_Artemia_Leach_1819_Crustacea_Anostraca_in_Brazil

Wang, W., Luo, Q. Guo, H., Bossier, P., Van Stappen, G., Sorgeloos, P., Xin, N., Sun, Q., Hu, S. y Yu, J. 2008. Phylogenetic analysis of brine shrimp (*Artemia*) in China using DNA barcoding. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*, 6(3-4): 155–162. https://doi.org/10.1016/S1672-0229(09)60003-6

Wurtsbaugh, W.A. y Berry, T.S. 1990. Cascading effects of decreased salinity on the plankton, chemistry, and physics of the Great Salt Lake (Utah). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(1): 100–109. https://doi.org/10.1139/f90-010

Xin, N., Sun, J., Zhang, B., Triantaphyllidis, G.V., Van Stappen, G. y Sorgeloos, P. 1994. International study on *Artemia*. LI. New survey of *Artemia* resources in the People's Republic of China. *International Journal of Salt Lake Research*, 3: 105–112. https://users.ugent.be/~gstappen/WWW/pdf/Xin1994.pdf

Xing, M.W., Deng, H.G., Gao, M.R., Xie, Y.S., Cui, Z.A. y Sui, L.Y. 2022. Effects of *Artemia* nauplii from different origins on growth, muscle composition and stress resistance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Journal of Fishery Sciences of China*, 29(1): 70–78. (in Chinese with English abstract)

Yao, M., Luo, G., Tan, H., Fan, L. y Meng, H. 2018. Performance of feeding *Artemia* with bioflocs derived from two types of fish solid waste. *Aquaculture and Fisheries*, 3(6): 246-253. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.07.002

Zheng, M. 1997. *An introduction to saline lakes on the Qinghai-Tibet plateau*. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 294 pp.

Zheng, B. y Sun, S.C. 2013. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in China. *International Journal of Artemia Biology*, 3(1): 20–50. ISSN:2228-754X.

3. Uso de quistes, nauplios y metanauplios

por *Gilbert Van Stappen, Geert Rombaut* y *Patrick Sorgeloos*

Los quistes de *Artemia* se comercializan bajo diversas marcas, que responden a distintos criterios de calidad, entre los que destacan la calidad de eclosión, el tamaño de los quistes (y, por tanto, la biomasa de nauplios) y la composición nutricional (especialmente en lo que se refiere a los ácidos grasos altamente insaturados). Los aspectos prácticos relacionados con su uso diario en el criadero (p. ej., la facilidad de recolección de los nauplios) y los aspectos microbiológicos determinan la calidad del producto.

Cuando los quistes eclosionan y dan lugar a larvas, estas son ofrecidas como alimento a las larvas de otros animales, como peces y crustáceos, sea en la fase nauplio I recién eclosionada o, tras un procedimiento de enriquecimiento para mejorar su valor nutricional, como metanauplios en la fase II (o fases posteriores, dependiendo de la metodología de enriquecimiento). La elección entre utilizar *Artemia* recién eclosionada o enriquecida depende del contexto de aplicación, es decir, del tipo de *Artemia* utilizada en relación con la especie y la fase de las larvas de crustáceo a las que se alimenta. *Artemia* también puede ofrecerse como alimento vivo en forma de quistes decapsulados (quistes a los que se les ha eliminado la cubierta exterior mediante un proceso químico) o como paraguas, pero en comparación con el uso generalizado de los nauplios (meta), el uso de estas fases se limita a aplicaciones específicas.

En el pasado se desarrollaron muchas técnicas para el uso apropiado de *Artemia*, las cuales se describen a continuación en este capítulo. Los esfuerzos de investigación y desarrollo continúan consolidando, ampliando y diversificando nuestros conocimientos sobre cómo se puede aplicar *Artemia* en la acuicultura con la máxima eficiencia y comodidad para el usuario. En este capítulo también se describen estos conocimientos más recientes y los avances prácticos para automatizar y racionalizar los procedimientos diarios relacionados con el uso de quistes, nauplios y metanauplios.

3.1. CONDICIONES ÓPTIMAS Y EQUIPO PARA EL USO CORRECTO DE PRODUCTOS DE QUISTES EN CRIADEROS

3.1.1. Bioseguridad

Como se explica a continuación, la "bioseguridad" generalmente se refiere al conjunto de procedimientos y medidas para minimizar (o descartar) la entrada y diseminación de patógenos infecciosos a una población. Como tal, juntamente con el desarrollo de la acuicultura en las últimas décadas, la bioseguridad ha alcanzado una gran importancia en toda la cadena de producción en acuicultura, pero especialmente en la fase de eclosión.

El manejo y la aplicación de quistes, nauplios y metanauplios de *Artemia*, que son el tema central del Capítulo 3, son solo un aspecto de todas las actividades que se llevan a cabo en un criadero de peces o mariscos. Desde el punto de vista de la bioseguridad, cabe destacar que los procedimientos adecuados para el uso de *Artemia* deben considerarse dentro del marco más amplio de los procedimientos del criadero en su conjunto. En otras palabras: la aplicación de procedimientos de bioseguridad con *Artemia* no alcanza su objetivo final de contribuir a la bioseguridad de los criaderos si éstos no forman parte de los procedimientos generales de bioseguridad. Por consiguiente, la Sección 3.1.1 trata los principios y medidas de bioseguridad dentro de la estructura y el funcionamiento general de los criaderos.

3.1.1.1. El concepto de bioseguridad

La bioseguridad es una estrategia importante para minimizar el riesgo de agentes de estrés y promover el desarrollo sostenible de la acuicultura. Se refiere a las medidas y métodos adoptados para asegurar un ambiente libre de enfermedades en todas las fases de la acuicultura (p. ej., criaderos, granjas de engorde) reduciendo el riesgo de introducción, establecimiento y propagación de agentes patógenos desde y dentro de una unidad acuícola operativa. La importancia de la aplicación de la bioseguridad en los criaderos comerciales es un requisito previo para la obtención de larvas de alta calidad y para garantizar un crecimiento sostenible y rentable de la industria del camarón y peces (FAO, 2003, 2007). Esto requiere adoptar una serie de actitudes y comportamientos en sus prácticas diarias. Dado que la producción de alimentos vivos es uno de los pasos críticos en la producción de larvas de peces y camarones, un buen seguimiento de los procedimientos operativos estándar (POE), respaldado por una cantidad adecuada de conocimientos científicos, es uno de los pilares de las buenas prácticas de fabricación y manejo.

3.1.1.2. Programa y plan de bioseguridad

La bioseguridad involucra el manejo de protocolos estrictos para prevenir el ingreso de patógenos al sistema. Los elementos básicos de un buen plan de bioseguridad son:

- identificar los peligros a través del entendimiento de la transmisión de enfermedades y factores de riesgo;
- evaluar y prevenir los factores de riesgo;
- determinar las medidas de bioseguridad apropiadas a ser adoptadas con carácter prioritario; y
- auditar la implementación del plan de bioseguridad.

Las medidas de bioseguridad establecidas en el programa y el plan de bioseguridad deben formar parte integrante de los POE y revisarse, actualizarse y adaptarse constantemente a cualquier nueva circunstancia. Todos los miembros del personal y las diferentes áreas operativas deben disponer de un documento con los POE. El personal debe recibir capacitación, ser evaluado y sometido a auditorías sobre la importancia de estos procedimientos.

3.1.1.3. Principios básicos de bioseguridad

Segregación

La segregación es el elemento más importante de la bioseguridad. Consiste en mantener alejados a los animales y materiales potencialmente infectados de aquellos no infectados. Si un patógeno no entra en una zona de confinamiento, no puede producirse infección. Las medidas de segregación incluyen controlar la entrada de animales, personas y equipos procedentes del exterior del criadero; cercar la zona y el departamento de producción y controlar el acceso de personas y mascotas; proporcionar calzado y ropa para usar exclusivamente en el criadero; e implementar un sistema de gestión todo dentro, todo fuera ("*all-in-all-out*").

Limpieza

La limpieza es el segundo paso más eficaz en materia de bioseguridad, es decir, la eliminación de todos los materiales extraños y la materia orgánica del sistema acuícola (seguida de la desinfección para eliminar todos los microorganismos patógenos, si los hubiera; ver más adelante). Cualquier material que tenga que atravesar la barrera de segregación (en cualquier dirección) debe limpiarse a fondo. No debe haber suciedad visible en la superficie de los materiales. El jabón, el agua y un cepillo son adecuados para objetos pequeños, pero se necesita una lavadora de alta presión para superficies grandes o vehículos.

Desinfección

La desinfección es la aplicación, tras una limpieza exhaustiva, de procedimientos destinados a destruir los agentes patógenos o parasitarios, incluidas las zoonosis. Esto se aplica a locales, edificios, suelos, vehículos y otros objetos que puedan haber sido contaminados directa o indirectamente. La eficacia de la desinfección depende del tiempo de contacto y de la concentración del desinfectante.

El protocolo de saneamiento y desinfección recomendado para prevenir o reducir la carga de patógenos en el sistema y en los tanques de incubación incluye los siguientes pasos

- Protocolo de limpieza de tanques y de la sala de incubación:
  - Retirar todos los residuos y suciedad visibles.
  - Usar jabón y agua para lavar. Enjuagar y secar.
  - Aplicar una solución desinfectante (a una concentración apropiada).
  - Neutralizar los residuos de cloro con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).
  - Enjuagar.

- Mantenimiento y limpieza general del sistema:
  - Retrolavado y tratamiento de los filtros según sea necesario para reducir la carga orgánica en los criaderos.
  - Lavar y desinfectar las bombas y tuberías de aire y de agua en los criaderos.
  - Elimine el sedimento de los tubos de agua. Desinfectarlos.
  - Mantener estrategias apropiadas de saneamiento y desinfección.
  - Mantener las redes y otros equipos alejados del suelo para controlar la contaminación y mantenerlos estériles.
  - Retirar lo antes posible los organismos de cultivo muertos y moribundos y desecharlos adecuadamente.
  - Evitar la contaminación cruzada de los equipos o del agua de un sistema a otro.
  - Utilizar desinfectantes en los equipos, incluidas las redes y los pediluvios (colocados en lugares estratégicos de las instalaciones, por ejemplo, en la entrada y salida de los edificios de cuarentena, los criaderos, las granjas y otros sistemas).

Atención adecuada a los productos de *Artemia*: Almacenarlos en un lugar fresco y seco, y utilizar los quistes de *Artemia* de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y su fecha de caducidad, para así prevenir pérdidas y la contaminación por microorganismos, patógenos y toxinas.

3.1.1.4. Medidas de bioseguridad

Tratamiento de agua

La elección de la fuente de agua y su tratamiento son de suma importancia, ya que el agua es uno de los puntos de entrada de agentes patógenos en el criadero.

El acceso a la fuente de agua adecuada, con una calidad óptima, depende en gran parte de su ubicación:

- El agua de mar extraída del océano suele tener una salinidad de entre 34 g/L y 36 g/L y presenta una composición química y una calidad generales estables. La calidad microbiana depende en gran medida de la ubicación del criadero y de la estación del año.
- La salmuera es una solución de alta concentración de sal en agua. En diversos contextos, la salmuera puede referirse a soluciones salinas que van desde aproximadamente el 3,5 % o 35 g/L (una concentración típica del agua de mar, en el extremo inferior de las soluciones utilizadas para salar alimentos) hasta aproximadamente el 26 % o 260 g/L (una solución típica casi saturada, dependiendo de la temperatura). Para fines de criadero, la concentración de la solución salina debe estar entre 90 g/L y 120 g/L. Posteriormente, se obtiene

la salinidad requerida ajustando la salinidad de la salmuera a 28-30 g/L con agua dulce. Esta agua salina diluida puede ser utilizada como fuente de agua en criaderos que se encuentran lejos del mar.

- El agua de pozo profundo se obtiene de pozos de 40-60 m de profundidad. Este tipo de agua contiene una alta concentración de hierro (Fe) y manganeso (Mn), que deben oxidarse y luego eliminarse mediante filtración mecánica. Por lo general, tiene una temperatura constante y se considera que cumple con altos estándares de calidad microbiana.

En la Tabla 19 se indica el rango preferido de las características químicas y físicas del agua típica de incubación. Se debe asegurar que el agua se encuentre dentro de este rango para cada uno de los parámetros, es un paso clave para garantizar y mantener el buen rendimiento de la incubadora.

TABLA 19
Parámetros de agua recomendados para ser usados en un criadero

Parámetro	Unidad	Rango
Salinidad	g/L	10–35
pH		7,5–8.5
Oxígeno disuelto	mg/L	>4
Alcalinidad	mg/L	>120
Dureza total (como $CaCO_3$)	mg/L	>150
Dureza de calcio (como $CaCO_3$)	mg/L	>100
Dureza de magnesio (como $CaCO_3$)	mg/L	>50
Nitrógeno de amonio total	mg/L	<1,0
Nitrito (NO_2^-)	mg/L	<1
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	<60
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	mg/L	<0,002
Total de sólidos disueltos	mg/L	10–50
Total de sólidos en suspensión	mg/L	10–50
Metales pesados	mg/L	<0,01
Pesticidas	mg/L	No detectable usando cromatografía de gas-líquido

Fuentes:
Venkateswarlu, V., Seshaiah, P.V., Arun, P. y Behra, P.C. 2019. A study on water quality parameters in shrimp *L. vannamei* semi-intensive grow out culture farms in coastal districts of Andhra Pradesh, India. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7.4: 394–399. https://www.fisheriesjournal.com/archives/2019/vol7issue4/PartF/7-4-64-509.pdf

Van Wyk, P. y Scarpa, J. 1999. Water quality requirements and management. En: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*, pp. 141–161.

TABLA 20
Frecuencia recomendada de monitoreo de los parámetros de agua

Parámetro	Frecuencia mínima
Temperatura	4 veces al día
Oxígeno disuelto	4 veces al día
Salinidad	1 vez al día
pH	2 veces al día
Alcalinidad	1 vez al día
Nitrógeno de amonio total, NO_2^-, NO_3^-	1 vez al día
Settleable solids	1 vez al día

Nota: Nitrógeno de amonio = NH_3 y NH_4^+; NO_2^- = Nitrito; NO_3^- = Nitrato

Fuentes: Global Seafood Alliance. 2022. *Hatchery Standard 2.0. Best Aquaculture Practices Certification Standard*. 76 pp.

El control regular de la calidad del agua permite identificar posibles problemas antes de que provoquen una eclosión subóptima, una reducción del crecimiento o la mortalidad de las larvas. Por lo tanto, se recomienda medir con frecuencia los parámetros de calidad del agua (Tabla 20), lo que permitirá analizar los incidentes problemáticos y corregirlos y ajustarlos cuando sea necesario.

Los medidores y sondas electrónicos suelen dar los resultados más precisos, pero los tipos impermeables suelen ser caros y, a menos que se utilicen correctamente y se calibren con frecuencia, pueden dar errores graves. Para algunos parámetros, como el amoníaco, las sondas adecuadas pueden tener un precio prohibitivo. Sin embargo, si se cuidan y se utilizan correctamente, estos equipos pueden resultar más baratos a largo plazo que los kits de prueba, y también fomentan mediciones más frecuentes, ya que no se consumen reactivos.

La alternativa a los medidores son los kits de prueba fabricados por diversos fabricantes y para distintos parámetros del agua. Si bien son menos precisos debido a la subjetividad humana al decidir los colores o tonos, son una herramienta útil en los criaderos y evitan el costo inicial de compra de los medidores y el costo de las reparaciones o daños. Aunque aparentemente son sencillos, estos kits suelen depender de reacciones químicas bastante complejas para desarrollar los colores, por lo que es fundamental elegir los kits adecuados con el rango de medición correcto y utilizarlos correctamente. Algunos no son aptos para el agua de mar; otros miden en rangos diferentes y, al el amoníaco (o nitrógeno amoniacal), por ejemplo, es esencial comprender exactamente qué se está midiendo y cómo afecta al proceso de eclosión de *Artemia*, a la calidad de *Artemia* y a las larvas.

NOTA: Se recomienda encarecidamente calibrar todos los dispositivos de medición al comienzo de cada día para evitar errores que puedan dar lugar a interpretaciones erróneas.

El tratamiento de agua recomendado para prevenir o reducir la carga de patógenos en un sistema acuícola debe incluir los siguientes pasos y componentes.

Pasos de un tratamiento de agua típico:

- Toma del agua.
- Filtración mecánica del agua de mar a través de filtrado en arena para remover partículas >50 µm.
- Almacenamiento del agua filtrada en un depósito de sedimentación. En el tanque de sedimentación, se pueden añadir entre 0,5 mg/L y 2 mg/L de permanganato potásico ($KMnO_4$) para facilitar la sedimentación y la desinfección.
- Oxidación de la materia orgánica disuelta y de los metales pesados en el depósito de oxidación.
- Remoción subsecuente de la materia orgánica disuelta en un espumador de proteína ("*skimmer*") usando ozono para mejorar la oxidación. El potencial de oxidación-reducción para un rendimiento óptimo es de 550-600 mV.
- Transferencia de agua pretratada a un segundo reservorio y remoción de partículas mediante filtración mecánica (>1 µm).
- Acondicionamiento y mejora de los parámetros del agua (alcalinidad, minerales, pH, etc.).
- Aplicación de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) para eliminar los metales disueltos (5-10 mg/L).
- Aplicación de aireación intensa.
- Transferencia del agua a las áreas de producción a través de un sistema de tratamiento equipado con un sistema UV, un filtro de carbón activado, y filtros de cartucho para eliminar partículas >0,5-1 µm o un sistema de ultrafiltración para eliminar partículas >0,03 µm.
- Ajuste de la temperatura cuando sea necesario.

Componentes del sistema de tratamiento de agua (Tabla 21; Lámina 51):

TABLA 21
Componentes del sistema de tratamiento de agua

Item	Propósito
Bomba de agua de mar	Succión de agua
Tubo de arena	Toma de agua
Depósito de sedimentación	Sedimentación de la suciedad y materia orgánica
Depósito de oxidación	Oxidación de la materia orgánica
"*Skimmer*"	Remoción de espuma que se forma en el estanque
Generador de ozono	Oxidación de la materia orgánica y desinfección del agua
Reservorio para desinfectar el agua	Desinfección con cloro u ozono
Reservorio para acondicionar el agua	Ajuste de alcalinidad, minerales y aplicación de EDTA
Filtro mecánico (filtro de arena presurizado)	Remoción partículas >50 µm
Filtro mecánico (filtro de cartucho)	Remoción partículas >1 µm
Filtro mecánico (ultrafiltración)	Remoción partículas >0,03 µm
Tratamiento UV	Esterilización
Aireador	Aireación y remoción de ozono (O_3)
Intercambiador de calor	Ajuste de temperatura
Enfriador	Ajuste de temperatura

Fuente: Elaboración de los autores (INVE, Bélgica).

LÁMINA 51
Componentes del sistema de tratamiento de agua
(a) sistema de ultrafiltración mecánica (0,03 µm); (b) inyección de ozono mediante efecto Venturi; y (c) separador de proteínas



© INVE

La eficacia del sistema de tratamiento del agua debe validarse mediante pruebas microbiológicas y químicas.

Desinfección del agua y sistema de distribución del aire
Se recomienda encarecidamente desinfectar los sistemas de distribución de aire y agua, y hacerlo con frecuencia. Los productos químicos que se utilizan como desinfectantes para los sistemas de tuberías de PVC son (FAO, 2003):

- Sanocare PUR®, VIRKON®: Prepare una solución al 1 % de Sanocare® PUR para desinfectar las paredes y el fondo del tanque. Se necesitan cerca de 300 ml de Sanocare® PUR por cada m² de superficie.
- Hipoclorito de sodio (NaOCl): 20–30 mg de cloro activo/L.
- Hipoclorito de calcio ($Ca(OCl)_2$): 20–30 mg de cloro activo/L.
- Ácido muriático (37%) (ácido clorhídrico (HCl), acuoso): solución al 10 %.

Un tratamiento recomendado para prevenir el crecimiento microbiano en los sistemas de distribución de agua de mar y aire incluye los siguientes pasos:

- Determinar el volumen total de agua que contiene el sistema de distribución de agua de mar.

- Llenar el tanque o depósito con la cantidad necesaria de agua de mar.
- Disolver la dosis recomendada del desinfectante seleccionado y mezclar.
- Retirar el agua restante del sistema de distribución de agua y sustituirla por la solución desinfectante.
- Revisar el sistema y abrir y cerrar todas las válvulas para asegurarse de que el desinfectante esté presente en todo el sistema de distribución de agua.
- Dejar el desinfectante durante un mínimo de 2 horas en el sistema de distribución de agua.
- Retirar la solución desinfectante del sistema de distribución de agua.
- Enjuagar con agua de mar filtrada normal durante 20 minutos.
- Comprobar la presencia de desinfectante restante y residual.

NOTA: Durante la producción, el proceso necesita ser coordinado para evitar que el desinfectante sea transferido a los tanques de producción.

Desinfección del agua y del estanque (o tanque) durante producción

Como complemento del tratamiento primario del agua, se recomienda el uso de un desinfectante antes de su uso en el mismo estanque; este proceso eliminará todos los microorganismos residuales presentes en el interior y en las superficies del mismo.

- Desinfectar por inmersión en una solución de cloro (150 mg de cloro activo/L).
- Limpie el estanque con jabón y enjuague con agua limpia y desinfectada.
- Limpie el estanque con un desinfectante (p. ej., una solución de hipoclorito).
- Enjuague de nuevo abundantemente con agua limpia y desinfectada.
- Deje que el estanque se seque.
- Valide el procedimiento de limpieza y desinfección mediante siembra en agar tiosulfato-citrato-sales biliares-sacarosa (TCBS) (ver Sección 3.2.4.1). Llene el tanque con agua de mar filtrada y desinfectada. Asegúrese de que se elimine todo el material orgánico (p. ej., en la eclosión de *Artemia*, los quistes y las cáscaras de los quistes), como el material que queda en la salida y en las válvulas del tanque
- Desinfecte el agua de incubación con, por ejemplo, 10 mg de cloro activo/L y airee suavemente por ±1 hora.
- Desactive cualquier resto de cloro agregando 8 mg/L de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).

Instalaciones

El área de producción del criadero debe mantenerse limpia y desinfectada. Todo el equipo en uso debe retirarse, limpiarse, secarse y desinfectarse antes de almacenarse adecuadamente para su uso posterior.

Desde el punto de vista de bioseguridad, es importante que la sala o salas de incubación de quistes de *Artemia* estén claramente separados de las otras salas para la incubación de peces y camarones. La limpieza y desinfección de la sala de incubación deben hacerse de la siguiente forma:

- Eliminar el polvo y los residuos presentes en el suelo, los tanques y las canaletas.
- Limpiar y desinfectar el suelo y los canalones de acuerdo con los procedimientos operativos estándar del criadero.
- Limpiar a fondo todo el equipo, cómo cubetas de muestreo, bandejas y redes. Enjuagar con agua limpia y luego desinfectar. No compartir el equipo entre instalaciones y tanques a menos que sea necesario. En estos casos, desinfectar todo el equipo antes de reutilizarlo.
- Dejar secar las instalaciones.

Las instalaciones del criadero deben estar rodeadas de vallas o muros para impedir la entrada de animales y de personas que puedan ser portadoras de enfermedades.

Restricción del movimiento del personal

El personal puede transportar diversas bacterias en su ropa, botas y piel. Es fundamental reducir la transferencia de estas bacterias de una zona a otra y de una incubadora a otra por las visitas de colegas locales y otras personas. Debe prohibirse estrictamente el acceso a la zona de producción sin la ropa de protección autorizada. Como parte de los procedimientos de bioseguridad, deben implementarse políticas para visitantes que restrinjan su movimiento en las diferentes zonas de producción de la incubadora.

Es importante limitar el movimiento del personal de la incubadora de manera que se limite al máximo el traslado de personas entre zonas. Cada zona debe estar separada por baños de pies, y debe ser obligatorio el uso de botas de goma en la incubadora. Cada zona también debe contar con un lavabo con desinfectante comercial que se renueve periódicamente. Debe exigirse al personal que utilice estas instalaciones y que no pise los baños de pies ni olvide lavarse las manos al entrar en la incubadora o al desplazarse de una zona a otra.

Se deben proporcionar botas y overoles por separado para los edificios de reproductores; en los criaderos grandes se pueden proporcionar camisas u overoles de diferentes colores (código de colores) para identificar al personal de áreas específicas y ayudar a reducir la transferencia de personal fuera de su área de trabajo.

Si se requiere una demostración práctica para convencer al personal de la importancia de la bioseguridad, tome un trozo de algodón estéril y frótelo primero sobre la suela de una bota de goma y, a continuación, sobre la superficie de una placa de cultivo de bacterias en agar. Alternativamente, presione la mano de un trabajador sobre la superficie de una placa de agar. Incube las placas durante 48 h a 28 °C. Debería aparecer un número considerable de colonias, lo que demostraría la contaminación de las botas y las manos.

Desinfección de manos y botas

Por la misma razón expresada anteriormente, todo el personal debe lavarse las manos antes de comenzar a trabajar, después de los descansos y al cambiar de actividad laboral. Se debe exigir a todos los visitantes del sitio que se laven las manos antes de entrar en cualquiera de las unidades de producción. Para ello, deben estar disponibles jabón, desinfectante y un lavatorio junto a la puerta de entrada de cada unidad de producción.

Manejo de las aguas residuales

Los vertidos de aguas residuales procedentes de las diferentes áreas de producción pueden contener cantidades considerables de materia orgánica, heces, mudas, residuos de alimento, algas, bacterias, etc., que deben manejarse adecuadamente para evitar la contaminación cruzada (instalaciones y toma de agua de mar).

La forma recomendada para el manejo de aguas residuales tiene los siguientes pasos:

- Las aguas residuales deben bombearse al desagüe principal que transfiere el agua a diferentes depósitos de aguas residuales.
- El estanque de oxidación se divide en cuatro compartimentos, lo que permite la rotación y el uso semanal de uno de ellos.
- Antes de su vertido en un compartimento, el agua se filtra para recoger los organismos vivos y evitar su introducción en el estanque.
- Cuando se alcanza el volumen máximo del compartimento, se dosifica hipoclorito de calcio $Ca(OCl)_2$ a 100 mg/L.
- Las aguas residuales se drenan cuando no se detecta cloro residual.

Procedimientos operativos estándar

Se debe elaborar un documento que contenga los POE para cada procedimiento de la incubadora, entregarlo a cada miembro del personal y mantenerlo a disposición en una zona común para el personal. Se debe formar al personal sobre la importancia

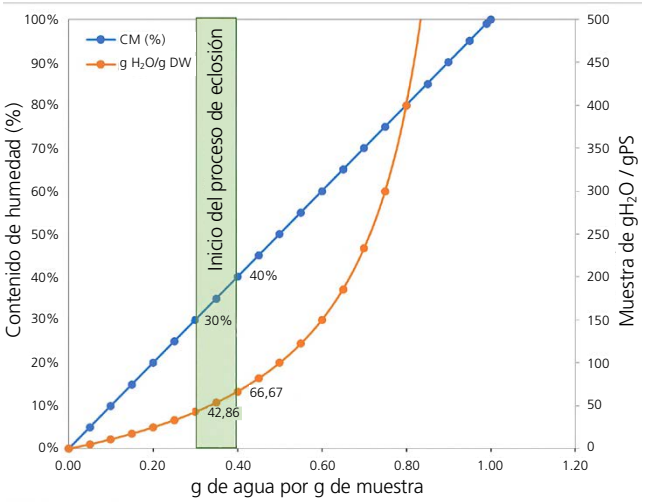
de seguir los procedimientos, haciendo hincapié en los puntos críticos; el personal también debe firmar un documento en el que declare haber leído y comprendido los procedimientos.

3.1.2. Almacenamiento de los quistes

Los embriones secos enquistados de *Artemia* (quistes) son muy resistentes al estrés severo y parecen tolerar altas dosis de radiación UV e ionizante (Tanguay, Reyes y Clegg, 2004), sobreviviendo años de anoxia continua mientras están hidratados a temperatura fisiológica, y también sobreviviendo a extremos térmicos y ciclos de desecación-hidratación (revisado por Clegg y Conte, 1980; MacRae, Bagshaw y Warner, 1989; Warner, MacRae y Bagshaw, 1989; Liang y MacRae, 1999; Clegg, 2001; Clegg y Trotman, 2002). Los diferentes mecanismos de adaptación bioquímica presentes en el embrión enquistado (presencia de trehalosa, gran reserva de nucleótidos de guanina, pequeñas proteínas de choque térmico [p26, artemin] y proteínas abundantes en la embriogénesis tardía) son fundamentales para la tolerancia al estrés de los quistes. El corion, la dura cubierta de los quistes, desempeña un papel importante en la protección del embrión frente a daños mecánicos y radiación UV (Clegg, 2005; Liu *et al*., 2009; Hibshman, Clegg y Goldstein, 2020).

Los quistes hidratados son mucho más sensibles a la temperatura y al estrés por manipulación que el producto seco. La viabilidad del producto hidratado ya se ve afectada por debajo de -18 °C y por encima de +40 °C; se produce una interrupción reversible del metabolismo (= viabilidad no afectada) entre -18 °C y +4 °C y entre ±33 °C y ±40 °C, con límites de temperatura superiores e inferiores que varían ligeramente de una cepa a otra. El metabolismo activo de los quistes se sitúa entre +4 °C y ±33 °C. Los niveles de agua en el rango del 30-65 % inician las actividades metabólicas, reduciendo finalmente el contenido energético a niveles insuficientes para alcanzar el estado de eclosión, incluso en condiciones óptimas de eclosión (Figura 41). El contenido de agua de los quistes puede determinarse fácilmente mediante un procedimiento estándar (ver Anexo 9). Además, se produce un agotamiento de las reservas de energía cuando los quistes se someten a ciclos sucesivos de deshidratación/hidratación. El almacenamiento a largo plazo de este material puede dar lugar a una disminución sustancial del resultado de la eclosión. Los quistes expuestos a niveles de agua superiores al 65 % por un período muy largo habrán completado su desarrollo embrionario antes de su emergencia; la deshidratación subsecuente de estos quistes provocará, en el peor de los casos, la mortalidad de los embriones diferenciados.

FIGURA 41
Relación entre el contenido de humedad (CM) y gramos de agua por gramo de quistes secos
La barra verde indica el rango en el cual inicial el proceso de eclosión cuando los quistes secos son hidratados (ej. ± 30–40% contenido de humedad o ± 42.86–66.67 g H_2O por 100 g quistes secos)



Fuente: Clegg, J.S., Zettlemoyer, A.C. y Hsing, H.H. 1978. On the residual water content of dried but viable cells. Experientia, 34: 734–735. https://doi.org/10.1007/BF01947290

Como resultado de las características metabólicas de los quistes hidratados, se pueden formular una serie de recomendaciones con respecto a su almacenamiento. Cuando los quistes (tanto decapsulados como no decapsulados) se almacenan durante mucho tiempo, se deben tomar algunas precauciones para mantener el máximo contenido energético y la máxima incubabilidad. La capacidad de incubación de los quistes

depende en gran medida de las condiciones y técnicas aplicadas para la recolección, limpieza, secado y almacenamiento del material de los quistes. El impacto de la mayoría de estos procesos puede estar relacionado con los efectos de la deshidratación o la deshidratación/hidratación combinadas. Para quistes en diapausa (ver Sección 1.5.4), estos factores pueden interferir con la inducción y terminación de la diapausa, pero para los quistes en reposo, la deshidratación e hidratación incontroladas provocan una disminución significativa de la viabilidad de los embriones.

Aunque los quistes en diapausa y en reposo contienen lo que parece ser un conjunto completo de componentes necesarios para la desecación y la tolerancia a la temperatura, éstos siguen siendo sensibles a determinadas condiciones de procesamiento y almacenamiento. La calidad de eclosión de los quistes almacenados disminuye lentamente cuando estos contienen entre un 10 % y un 35 % de agua (H_2O). Sin embargo, este proceso puede retrasarse cuando los quistes se almacenan congelados o refrigerados, es decir, a una temperatura máxima de +4 °C. Los quistes deshidratados debidamente envasados solo conservan su viabilidad cuando se almacenan en un lugar seco y a una temperatura máxima de +4 °C, ya que las temperaturas más altas pueden reducir la calidad del producto. Cuando se congelan, los quistes deben aclimatarse durante una semana a temperatura ambiente antes de la eclosión. Se desconoce el nivel óptimo exacto de agua dentro del quiste, aunque se ha afirmado que una deshidratación demasiado severa (hasta un 1-2 %) provoca una disminución de la viabilidad. En este caso, la viabilidad no solo puede verse afectada por el bajo nivel de agua dentro de los quistes, sino también por el método de secado aplicado a los mismos. Es importante que durante el proceso de secado (ver Sección 2.4.2.4) se controle bien la velocidad de deshidratación, ya que una pérdida rápida de agua puede reducir significativamente la calidad y el potencial de eclosión de los quistes. De hecho, en el caso de los quistes de *Artemia*, parece que no hay un límite inferior para la desecación, siempre que se utilicen métodos adecuados que no impliquen temperaturas muy altas (perjudiciales). Por ejemplo, los tratamientos diseñados para eliminar toda el agua de los quistes (basados en la técnica de bombardeo con gas de Burnauer-Emmett-Teller) no tuvieron ningún efecto sobre la viabilidad: en ese caso, se eliminó prácticamente toda el agua y todos los embriones sobrevivieron (Clegg, Zettlemoyer y Hsing, 1978).

3.1.3. Desinfección de los quistes

Un problema importante en la cría temprana de peces y camarones marinos es la susceptibilidad de las larvas a las infecciones microbianas. Los quistes secos de *Artemia* tienen un número muy bajo de bacterias asociadas, pero el agua en la que eclosionan es rápidamente colonizada por especies bacterianas. Durante la hidratación de los quistes se libera glicerol (ver Sección 3.2.3.4) y ofrece un medio de cultivo ideal para las bacterias, tales como las especies de *Vibrio*. La mayoría de los *Vibrio* son bacterias oportunistas que pueden causar enfermedades y brotes de mortalidad en el cultivo de larvas, especialmente cuando los animales están estresados o no han sido criados bajo condiciones óptimas.

A menos que se utilicen quistes comerciales con certificado de ausencia de patógenos, se recomienda aplicar un procedimiento rutinario de desinfección de quistes. Para ello, aunque a veces se utilizan otros productos (p. ej., yodo o formaldehído), se propone utilizar hipoclorito (cloro) que se encuentra fácilmente y está ampliamente disponible en el mercado, ya sea en forma cristalina o en solución líquida (ver Anexo 3); se utiliza ampliamente en la acuicultura debido a su espectro de actividad y a su precio rentable. Sin embargo, entre los inconvenientes del cloro se encuentran su naturaleza cáustica en forma líquida y gaseosa concentrada, así como su menor eficacia bajo la luz solar. Además, el tratamiento con hipoclorito no mata todos los gérmenes presentes en la capa alveolar y cortical de la cubierta exterior. Por lo tanto, la desinfección de los quistes debe considerarse en el contexto más amplio de las medidas de bioseguridad en la eclosión de quistes de *Artemia* y en los procedimientos de alimentación viva en

el criadero en general (ver Sección 3.1.1). La esterilización completa puede lograrse mediante la decapsulación de los quistes, como se describe en la Sección 3.1.4.

3.1.4. Decapsulación de los quistes

3.1.4.1. Procedimiento y consideraciones generales

La cáscara dura que recubre el embrión inactivo de *Artemia* puede eliminarse por completo mediante una exposición breve a una solución de hipoclorito (cloro), un proceso que deja intacta la membrana cuticular externa que rodea el embrión de *Artemia* sin eclosionar. Este procedimiento se denomina decapsulación. Este consiste en la hidratación sucesiva de los quistes (ya que la eliminación completa de la cáscara solo puede realizarse cuando los quistes son esféricos), la eliminación de la cáscara exterior en solución de hipoclorito y el lavado y la desactivación con el hipoclorito restante. Dado que la reacción química de la decapsulación es más rápida a un pH más alto, generalmente se añade hidróxido de sodio (NaOH) (Sorgeloos *et al.*, 1977).

La reacción química producida por el hipoclorito es exotérmica, lo que significa que genera calor, y especialmente en condiciones ambientales más elevadas (p. ej., en países tropicales), esto puede provocar que la temperatura de la solución de decapsulación aumente por encima de los 35 °C, lo que provoca daños al embrión hidratado. Por consiguiente, deben tomarse medidas para reducir la temperatura de la solución (ver Anexo 4). Las soluciones de cloro comerciales suelen indicar la concentración de cloro activo (necesaria para calcular la cantidad de cloro), pero también se puede utilizar un método titrimétrico para determinar el cloro activo en las soluciones de hipoclorito (ver Anexo 5).

Si bien en el pasado se usaba ampliamente los quistes decapsulados ya que ofrecen algunas ventajas en comparación con los no decapsulados, hoy en día el uso de la decapsulación como práctica habitual en los criaderos debe desaconsejarse por las siguientes razones:

- El uso de hipoclorito es peligroso para los trabajadores (ya que se libera gas cloro), especialmente a gran escala.
- Los efluentes del proceso de decapsulación contienen compuestos tóxicos como el hipoclorito, que no deben verterse al medio ambiente (razón por la cual las autoridades imponen restricciones cada vez más estrictas al vertido de efluentes).

Adicionalmente, esta técnica también tiene otras desventajas prácticas:

- Se necesita suficiente experiencia en la aplicación correcta de esta técnica para evitar la exposición prolongada del embrión decapsulado al hipoclorito tóxico, especialmente cuando se hace una decapsulación a mayor escala.
- Es posible que sea necesario modificar ligeramente las modalidades de aplicación cuando se utilizan diversas cepas de *Artemia*, que pueden diferir en las características de su corion.
- El procedimiento requiere mucho tiempo.

La decapsulación fue usada principalmente (y puede que todavía sea usada bajo condiciones específicas, por ejemplo, bajo un contexto de investigación y desarrollo) para las siguientes razones prácticas y de nutrición (relativas a la alimentación de nauplio en instar I o en microdieta):

- Cuando se incuban quistes "normales" (es decir, no decapsulados) no siempre es posible separar completamente los nauplios de *Artemia* de sus caparazones. Los quistes no incubados y los caparazones vacíos, introducidos en los tanques de larvas, pueden causar efectos perjudiciales cuando son ingeridos por el depredador: no pueden ser digeridos y pueden obstruir el intestino (Herald y Rackowicz, 1951; Morris, 1956; Rosenthal, 1969; J.E. Shelboume, citado por Provasoli, 1969; Stults, 1974). Esto puede dar lugar a una mayor tasa de mortalidad. Este problema es

más probable que se produzca en larvas de determinados organismos acuícolas (p. ej., las larvas de peces) que en otros (p. ej., las larvas de crustáceos) debido a su comportamiento alimentario específico.

- Los nauplios que nacen de quistes decapsulados tienen un mayor contenido energético y peso individual (entre un 30 % y un 55 %, dependiendo de la cepa) que los nauplios normales de estadio I, ya que necesitan gastar menos energía en el proceso de eclosión. En algunos casos en los que los quistes tienen un contenido energético relativamente bajo, la tasa de eclosión podría mejorar mediante la decapsulación, debido a que se requiere menos energía para salir de un quiste decapsulado (Vanhaecke, Lavens y Sorgeloos, 1983),
- La decapsulación da lugar a una desinfección inicial del quiste; sin embargo, este efecto es transitorio, ya que los *Vibrio* pueden seguir proliferando en el tanque de eclosión a medida que se libera glicerol (ver Sección 3.2.3.4).
- En aquellas aplicaciones en las que es posible el uso directo de quistes decapsulados como alimento vivo (véase más adelante), su uso elimina la necesidad de instalaciones de incubación y de la laboriosa producción diaria de nauplios.
- Para el desarrollo del sistema de cría gnotobiótico de *Artemia* libre de bacterias (ver Recuadro 10).

RECUADRO 10

El conjunto de herramientas de *Artemia* gnotobiótica

Los quistes de *Artemia* se caracterizan por la presencia de un corion o cáscara. Tal y como se describe en la Sección 3.1.4, esta cáscara puede eliminarse mediante un procedimiento de decapsulación que implica el uso de un oxidante fuerte, como el hipoclorito. Durante el procedimiento de decapsulación, los quistes también se esterilizan. Por lo tanto, si la decapsulación se realiza en un entorno estéril y si ese entorno se mantiene durante la fase de eclosión posterior (p. ej., aplicando aire esterilizado con filtro; medio de eclosión estéril), se pueden obtener nauplios axénicos: estos nauplios están libres de bacterias. Estos nauplios axénicos pueden utilizarse posteriormente para estudiar, de forma muy rigurosa, cómo interactúan los microorganismos con ellos. Es posible crear un entorno experimental en el que los nauplios interactúen con una o varias especies microbianas conocidas, que se añaden deliberadamente al entorno axénico. De esta manera, se construye un entorno experimental denominado "gnotobiótico", en el que se conoce a todos los seres vivos que participan en el experimento. Este sistema de cría de ARTemia gnotobiótica se denomina a veces, por comodidad, GART (por su abreviación en inglés).

El sistema GART puede utilizarse en muchas aplicaciones. Por ejemplo, midiendo la tasa de crecimiento de *Artemia* en mono asociación con un alimento microbiano concreto (especie o cepa bacteriana, o algas axénicas), se puede evaluar el valor nutricional de estos alimentos. Las *Artemia* axénicas también pueden ponerse en contacto con cepas patógenas de *Vibrio*, lo que permite verificar la virulencia de estas cepas cuando se encuentran en mono asociación con *Artemia*. De algunas cepas de *Vibrio*, se dispone de mutantes incapaces de realizar determinadas funciones. Estas cepas permiten verificar in vivo la importancia de esa función concreta para la virulencia in vivo, por ejemplo. El sistema GART también permite verificar si determinadas cepas probióticas son activas in vivo o si determinados compuestos, como los glucanos (inmunestimulantes), pueden proteger a *Artemia* contra un *Vibrio* virulento. Además, dado que ahora se conoce el genoma de *Artemia* (ver Recuadro 1), el sistema GART permite verificar en detalle cómo reacciona *Artemia* a un determinado tratamiento en un entorno muy rigurosamente controlado. Las observaciones realizadas con el sistema GART pueden acelerar los descubrimientos científicos y servir de base para la puesta en marcha de experimentos de validación, por ejemplo, en las etapas larvarias de especies de camarón de acuicultura.

Los quistes decapsulados pueden eclosionar directamente en nauplios o alimentarse como tales, dependiendo del comportamiento alimentario y la capacidad digestiva del depredador en cuestión. Pueden almacenarse durante unos días en el frigorífico a una temperatura entre 0 °C y 4 °C sin que disminuya la eclosión. Si es necesario almacenarlos durante períodos prolongados (semanas o meses), los quistes decapsulados pueden deshidratarse en salmuera saturada y almacenarse para su posterior eclosión o para su alimentación directa. Durante la deshidratación nocturna (con aireación para mantener una suspensión homogénea), los quistes suelen liberar más del 80 % de su agua celular y, al interrumpirse la aireación, los quistes decapsulados, que ahora tienen forma de grano de café, se sedimentan. Tras recolectar estos quistes con una malla, deben almacenarse refrigerados en salmuera fresca. Además, dado que pierden su capacidad de eclosión cuando se exponen a la luz ultravioleta, se recomienda almacenarlos protegidos de la luz solar directa.

Dado que la necesidad de obtener una separación máxima de los nauplios de los quistes no eclosionados y las cáscaras de quistes vacíos, especialmente en el cultivo de larvas de peces, solía ser uno de los principales motivos para aplicar la decapsulación, se han desarrollado procedimientos y tecnologías alternativos que permiten una separación física más fácil o incluso casi completa de los nauplios de estas otras fracciones sin necesidad de recurrir a la decapsulación (ver Sección 3.1.6).

3.1.4.2. Uso directo de quistes decapsulados

Los quistes de *Artemia* decapsulados o "sin cáscara" pueden utilizarse como fuente directa de alimento rico en energía para peces y camarones, así como para aquellas larvas de peces y crustáceos que pueden ingerir y digerir este tipo de alimento vivo no nadador como presa potencial. Los quistes tienen el aspecto y las ventajas prácticas de un alimento seco. El embrión de un quiste decapsulado tiene un tamaño menor (200-250 µm) que el de una *Artemia* recién eclosionada (450-500 µm), lo que lo hace más adecuado para los depredadores con bocas pequeñas. Si han sido secados antes de su aplicación, los quistes decapsulados tienen una gran capacidad de flotación en el agua de mar y se hunden lentamente hasta el fondo del tanque de cultivo. No se produce la lixiviación de los componentes nutricionales (a diferencia de las dietas artificiales), ya que la membrana cuticular externa actúa como barrera para las moléculas más grandes.

No obstante, el uso directo de quistes decapsulados es mucho más limitado en la cría de larvas de peces y camarones que el uso de nauplios de *Artemia*. Los quistes secos decapsulados de *Artemia* han demostrado ser un alimento adecuado para la cría de larvas de diversas especies, como el bagre de agua dulce (*Clarias gariepinus*) (Verreth, Storch y Segner, 1987; Bardócz *et al.*, 1999) y la carpa (*Cyprinus carpio*) (Vanhaecke *et al*., 1990; Sui, L., 2000); camarones peneidos marinos (Stael *et al*., 1995; Ribeiro, F.A.L.T. y Jones, 1998); el chano (*Chanos chanos*) (De Los Santos *et al*., 1980); y una amplia variedad de peces tropicales de acuario (Lim *et al*., 2002). Además, los quistes decapsulados también se utilizan como fuente de alimento en el cultivo masivo de insectos y escarabajos depredadores que se utilizan como agentes de control biológico en cultivos (Vandekerkhove *et al.*, 2009); su uso para este fin suele resultar más rentable que las dietas más convencionales, como los huevos de la polilla de la harina (*Ephestia kuehniella*). Desde el punto de vista nutricional, la composición química bruta de los quistes decapsulados es comparable a la de los nauplios recién eclosionados. Por otro lado, un posible inconveniente importante de los quistes decapsulados es su inmovilidad y, por lo tanto, su escaso atractivo visual para el depredador. Además, los quistes decapsulados al deshidratarse en salmuera se hunden rápidamente hasta el fondo, lo que reduce su disponibilidad para las larvas de peces que se alimentan en la columna de agua. Por lo tanto, es necesario un aireado o secado adicional para mantener mejor estas partículas en suspensión. Sin embargo, los depredadores que se alimentan principalmente o en su totalidad en el fondo (como las larvas más viejas de peneidos) no se encuentran con este problema. Por último, estos quistes pueden ser más difíciles de

digerir para algunos depredadores (p. ej., las larvas del cangrejo de barro ("*mud crab*") *Scylla* spp.), ya que el proceso de decapsulación solo elimina la capa alveolar externa de la cubierta del quiste, dejando intactas las membranas subyacentes.

3.1.5. Eclosión de *Artemia*

Aunque la eclosión de pequeñas cantidades de quistes de *Artemia* es básicamente muy sencilla, hay que tener en cuenta varios parámetros para que la eclosión exitosa de grandes cantidades de quistes (p. ej., kilogramos), lo cual es una práctica diaria en criaderos grandes (Lámina 52, Lámina 53, Lámina 54 y Anexo 6). Estos parámetros son principalmente:

Aireación	**pH**
Temperatura	**Densidad de quistes**
Salinidad	**Illuminación**

LÁMINA 52
Tanques de eclosión elevados (más fácil para drenar y cosechar) en un cuarto con temperatura controlada; luz provista por techo transparente y luz artificial



© Viet Uc Shrimp hatchery, Bac Lieu

LÁMINA 53
Tanque de eclosión con aireación suficiente



© Viet Uc Shrimp hatchery, Bac Lieu

Para el funcionamiento rutinario, lo más eficiente y económico es trabajar en condiciones estándar que permitan una producción predecible y máxima de una población homogénea de instar I luego de un tiempo de incubación fijo.

Aireación

Los mejores resultados de eclosión se obtienen en contenedores con fondo cónico con aireadores desde el fondo. Los tanques cilíndricos o de fondo cuadrado tendrán puntos muertos en los que se acumularán quistes y nauplios de *Artemia* que no dispondrán de oxígeno. Los recipientes transparentes o translucidos facilitan la inspección de la masa en eclosión suspendida, especialmente durante la cosecha. Se debe proporcionar aireación adecuada para mantener los niveles de oxígeno. La intensidad de la aireación debe ser suficiente para mantener los niveles de oxígeno por encima de 2 mg/L, de preferencia >4 mg/L. La tasa de aireación óptima depende del tamaño del tanque y la densidad de los quistes en incubación. La formación excesiva de espuma puede ser reducida mediante la desinfección de los quistes antes de la incubación (ver Sección 3.1.3) y/o mediante la adición de acondicionador de agua.

Temperatura

Si bien la temperatura óptima para la eclosión puede mostrar ligeras diferencias entre las cepas (ver Sección 1.4.4), la temperatura del medio de eclosión es preferentemente constante en el rango de 25-30 °C (usando calentadores con termostato o una sala climatizada) para asegurar la estandarización del proceso de eclosión (es decir, el tiempo necesario para recolectar un máximo de individuos en fase I). Por debajo de

LÁMINA 54

Diferentes tipos y tamaños de tanques de eclosión cilindro cónicos en varios criaderos alrededor del mundo, pasando de tanques pequeños cónicos de 100 L hasta 2 500 L



© M. Meezanur Rahman, WF



© M. Meezanur Rahman, WF



© ARARC



© ARARC



© ARARC



© Philosofish S.A.

25 °C, los quistes eclosionan más lento y, por encima de 33 °C, el metabolismo de los quistes se detiene en forma irreversible (ver Sección 3.1.2). No obstante, el efecto de la temperatura fuera de este rango depende en gran medida de las cepas.

Salinidad

Los efectos cuantitativos de la salinidad de incubación sobre la eclosión de los quistes están relacionados, en primer lugar, con el nivel de hidratación que pueden alcanzar los quistes. Por encima de un umbral de salinidad, los quistes no pueden absorber cantidades suficientes de agua; este valor umbral varía de una cepa a otra, pero es de aproximadamente 85-90 g/L para la mayoría de las cepas de *Artemia.* En segundo lugar, la salinidad de incubación interferirá con la cantidad de glicerol que debe acumularse para alcanzar la presión osmótica crítica en la membrana cuticular externa de los quistes y provocar su ruptura. Por lo tanto, las tasas de eclosión más rápidas se observarán en los niveles de salinidad más bajos, ya que se tardará menos tiempo en alcanzar este punto de ruptura. En general, se puede obtener una eclosión óptima en el rango de 10-35 g/L. Por conveniencia práctica, se utiliza principalmente agua de mar natural para la eclosión de los quistes. Sin embargo, a una salinidad de 5 g/L, los nauplios eclosionan más rápidamente, ya que se necesita acumular menos glicerol. En el caso de algunas fuentes de quistes, la eclosión a baja salinidad da lugar a una mayor eficiencia de eclosión y los nauplios tienen un mayor contenido energético. La salinidad se puede medir fácilmente mediante un refractómetro.

pH

El tampón de bicarbonato del agua de mar normalmente proporciona suficiente capacidad tampón al medio de incubación para garantizar que su pH se mantenga por encima de 8 durante el proceso de incubación, una medida necesaria para el funcionamiento óptimo de la enzima de incubación, siempre y cuando no hayan eclosionado aún todos los quistes. Si es necesario, es decir, cuando se utiliza agua de baja salinidad, se debe aumentar la capacidad tampón del agua añadiendo hasta 1 g de $NaHCO_3$/L. El aumento de la capacidad tampón, mediante la adición de bicarbonato o NaOH, es esencial cuando se incuban densidades elevadas de quistes (lo que provoca una mayor producción de CO_2, que puede reducir el pH).

Densidad de quistes

La densidad de los quistes puede interferir con otros factores abióticos esenciales para la eclosión, como el pH, el oxígeno y la iluminación. Se recomienda una densidad estándar de 2 g/L. Sin embargo, puede ser mayor (incluso ≥5 g/L), pero entonces el oxígeno, el pH y la luz son factores más críticos por controlar.

Iluminación

Es esencial una iluminación intensa, al menos durante las primeras horas tras la hidratación completa (ver Sección 1.5.2), para iniciar el desarrollo embrionario y garantizar una mejor sincronía en la eclosión. La medición de la luz, definida como la parte del espectro electromagnético que puede percibir el ojo humano, es compleja, ya que depende del estado de la luz (ondas electromagnéticas) que se mida. La "iluminancia" es una de las formas convencionales de expresar cómo percibe el ojo el brillo de la luz, y este aspecto de la luz se expresa a menudo en unidades "lux". Para una eclosión óptima, la iluminancia en la superficie del agua del tanque de eclosión debe ser de al menos 2 000 lux. Especialmente cuando se trabaja con una mayor densidad de quistes y/o contenedores de eclosión más grandes, es importante garantizar que la iluminación insuficiente no sea un factor limitante para el proceso de eclosión: dependiendo de la configuración real y las dimensiones del tanque, la intensidad de la luz dentro del propio tanque de eclosión puede ser mucho menor que en la superficie del agua. Aunque durante el día se suele alcanzar un nivel de iluminación suficiente en

los tanques transparentes instalados al aire libre a la sombra, es aconsejable mantener los tanques de incubación en el interior y proporcionar iluminación artificial para garantizar una buena estandarización del proceso de incubación.

3.1.6. Separación y cosecha de nauplios de *Artemia*

Al igual que con los procedimientos de eclosión, los procedimientos de separación y recolección deben tener como objetivo la recolección de nauplios en estadio I y no de nauplios de *Artemia* en estadios más avanzados: en primer lugar, por razones nutricionales (ver Sección 3.1.7), pero también desde el punto de vista de la bioseguridad, ya que una vez que los nauplios de *Artemia* han mudado al estadio II, pueden ingerir el *Vibrio* presente en el medio de eclosión. Como se muestra en los datos analíticos obtenidos de un importante criadero de camarones, las cargas totales de *Vibrio* en las *Artemia* recolectadas después de la eclosión pueden oscilar entre valores del orden de 10^3 unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo (ver Anexo 11) hasta valores tan altos como 107 UFC/g, incluso después de un lavado adecuado, dependiendo de la proporción de individuos en estadio II en la población recolectada, ya que el *Vibrio* ingerido por estas *Artemia* en estadio II no se elimina con el proceso de lavado.

Después de la eclosión y antes de alimentar a los nauplios en estadio I con larvas de peces o crustáceos, los nauplios en estadio I de *Artemia* deben separarse de las cáscaras de quistes vacíos, los quistes no eclosionados (ambos con el corion rígido, quitinoso e indigestible), las membranas de eclosión, los residuos y el propio medio de eclosión, y deben limpiarse con agua de mar limpia y desinfectada para garantizar un alimento vivo de alta calidad.

Como se explica en la Sección 3.1.4, la eliminación química de las cáscaras hace innecesaria su separación, pero su práctica puede comprometer la salud humana y generar problemas medioambientales. Si no se aplica la decapsulación o se utiliza cualquier otra tecnología alternativa de separación (p. ej., la separación magnética de las cáscaras de los quistes; véase más adelante), la recolección de nauplios debe realizarse tal como se describe en el Anexo 7. Como uno de los factores principales, es fundamental que las redes de recolección permanezcan sumergidas en todo momento para evitar daños mecánicos a los nauplios, lo que podría favorecer la proliferación de *Vibrio* durante el almacenamiento y el uso posteriores de los nauplios. La aplicación correcta de este protocolo de recolección requiere una experiencia práctica suficiente y, a menudo, sigue siendo un reto para su aplicación rutinaria en los criaderos.

La separación inicial de los nauplios en el recipiente de eclosión mediante la flotación de las cáscaras vacías de los quistes y el hundimiento de los quistes llenos no eclosionados da lugar a una separación física que a veces va seguida de una separación adicional mediante el "método de doble tamizado". El doble tamizado requiere dos redes superpuestas de malla fina que funcionan como un filtro de dos capas para separar los quistes de los nauplios de *Artemia*, obligando a los nauplios a pasar a través de la malla mientras que los quistes quedan retenidos en su interior. Este proceso de filtración es largo y laborioso; el éxito de la separación depende de la habilidad del operador y suele ser muy variable. Además, es casi seguro que el proceso provoque daños físicos a los nauplios. Los nauplios dañados y muertos son un alimento menos atractivo y pierden nutrientes en el medio, lo que favorece el desarrollo no deseado de bacterias como *Vibrio* y aumenta los riesgos de bioseguridad en el criadero. Especialmente por esta última razón, el método de doble tamizado resulta desaconsejable.

Para evitar la laboriosa separación mecánica de los nauplios y sus inconvenientes, así como los problemas medioambientales asociados al uso de quistes decapsulados, se han desarrollado tecnologías alternativas. En una de estas técnicas, la separación se facilita mediante el uso de productos químicos que liberan peróxido de hidrógeno al disolverse en agua, por ejemplo, percarbonato de sodio ($2\ Na_2CO_3 \cdot 3\ H_2O_2$). El producto se añade al tanque de eclosión después de la incubación estándar y se deja mezclar durante un breve periodo de tiempo. A continuación, se detiene la aireación y se deja tiempo para

LÁMINA 55
Aplicación de la tecnología SEP–Art®: Barras magnéticas (izquierda) sumergidas en el tanque concentrador/ enjuagador (derecha) atraen las cáscaras de los quistes y los que no eclosionaron



© INVE

que los nauplios se separen de las cáscaras de los quistes, tras lo cual la cosecha y el enjuague es mediante la forma estándar.

Otra tecnología alternativa comercializada para facilitar la separación de nauplios es la tecnología SEP-Art®. Esta tecnología separa los nauplios de sus quistes utilizando magnetismo (Lámina 55): los quistes SEP-Art® están recubiertos con una capa no tóxica de material magnético que no afecta las características generales de eclosión de los quistes. De este modo, los imanes de la herramienta de separación SEP-Art® atraen únicamente los quistes no eclosionados y las cáscaras vacías, lo que permite separar los nauplios de *Artemia* durante el proceso. Una vez que los quistes se adhieren a los imanes, pueden retirarse fácilmente de la suspensión de nauplios de *Artemia*. A diferencia de los métodos de separación convencionales, SEP-Art® no compromete la vitalidad de los nauplios, ya que no emplea fuerza física ni reacciones químicas. Además, maximiza la recuperación del rendimiento de la eclosión y acelera la recolección de los nauplios. En comparación con el procedimiento de decapsulación, que requiere una experiencia suficiente para su correcta aplicación, la herramienta SEP-Art® es fácil de usar y, por lo tanto, accesible para trabajadores sin formación. El proceso no produce residuos químicos, lo que lo hace más respetuoso con el medio ambiente, incluso a gran escala.

Antes de eclosionar en nauplios de estadio I, *Artemia* también puede ofrecerse como fuente de alimento a diferentes larvas de peces y crustáceos (ver Recuadro 11). Esta práctica ha ganado más atención desde su introducción en la cría comercial de larvas del cangrejo "*mud crab*" en el delta del Mekong en Viet Nam (Hai *et al*., 2020).

RECUADRO 11
Uso de *Artemia* en estado de "paraguas" como alimento vivo

por *Nguyen Van Hoa* y *Patrick Sorgeloos*

La etapa de umbrella (paraguas) es la primera etapa larvaria no nadadora de *Artemia* luego de la ruptura de la cáscara del quiste, cuando el embrión está aún rodeado por la membrana de eclosión. Hoy en día, *Artemia* en etapa de paraguas se utiliza a veces para alimentar a las larvas de especies de peces y mariscos con caparazón, como los camarones peneidos y el pez cobia (*Rachycentron canadum*). En la producción de larvas del cangrejo de barro (mud crab), el uso de la etapa paraguas ("umbrella") de *Artemia* de la cepa Vinh Chau (la cepa más pequeña del mercado) como alimento de inicio para la larva del cangrejo de barro ("*mud crab*") (*Scylla paramamosain*) en lugar de rotíferos es la principal razón para el desarrollo exitoso de criaderos de este cangrejo en el delta del Mekong, Viet Nam.

Este tipo de etapa de *Artemia* puede ser colectada durante el proceso de eclosión de los quistes de *Artemia* (ver Figura en la página 138), por ejemplo, una vez que rompe la cáscara o corion, la larva pre-nauplio o paraguas, todavía con la membrana de eclosión, sale de la cáscara y, como resultado de sus características específicas de flotación, esta cuelga bajo la cáscara vacía. El proceso de "rotura" del quiste termina cuando la membrana de eclosión se rompe y el nauplio en instar I de nado libre emerge (ver Sección 1.1).

El uso de esta etapa puede dar lugar a varias oportunidades:

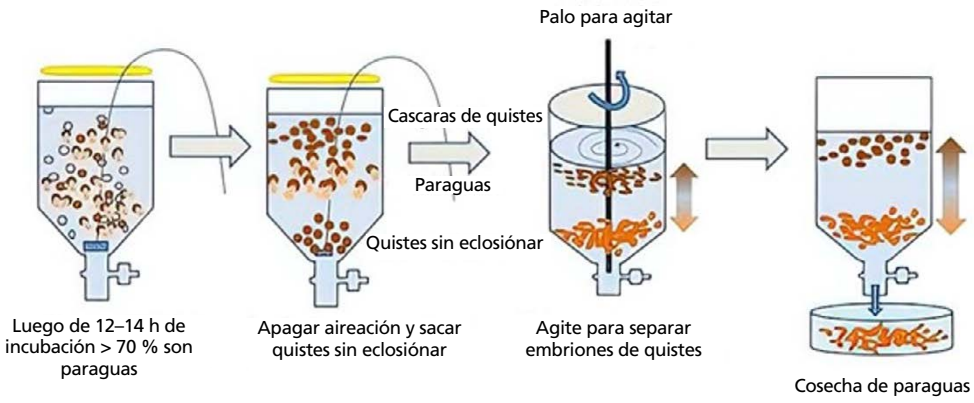
- Algunos estudios han explorado la posibilidad de alimentar con *Artemia* en fase de paraguas para acortar aún más y posiblemente sustituir por completo la alimentación

RECUADRO 11 (CONTINUACIÓN)

inicial con rotíferos en depredadores distintos de las larvas de cangrejo de barro (Van Can Nhu, 2009), y así evitar la complejidad de los procedimientos de producción de este tipo de alimento vivo. Los paraguas también pueden utilizarse como alimento vivo "de reserva" relativamente fácil de conseguir en caso de colapsos repentinos o escasez de la producción de rotíferos.

- Los paraguas proporcionan un alimento más rico en energía y con menor carga bacteriana en comparación con los rotíferos y también en comparación con los nauplios eclosionados, ya que no se pierde energía para el desarrollo hasta el nauplio de natación libre y para sus actividades de natación.
- La etapa inmóvil de paraguas puede ser una buena alternativa para los nauplios de *Artemia* cuando se alimente a cazadores poco hábiles (p. ej., la larva de camarón en etapa "zoea") ya que los nauplios que nadan vigorosamente pueden dar lugar a una ingesta ineficaz de alimento por parte del depredador (Cobo *et al.*, 2015). El uso de nauplios de *Artemia* muertos por calor, mezclados o congelados puede facilitar la captura por parte del depredador, pero esto afecta a la calidad nutricional de la presa y puede deteriorar la calidad del agua de cultivo. Por otro lado, debido a su inmovilidad, la alimentación con el estado de paraguas debe realizarse mediante goteo, de modo que haya un suministro continuo de alimento vivo. En caso contrario, los paraguas no consumidos se hundirán hasta el fondo del tanque de larvas, donde no estarán disponibles o lo estarán en menor medida para su ingestión. Allí eclosionarán hasta alcanzar la fase de nauplios, que estarán disponibles en la columna de agua, pero que serán demasiado grandes (p. ej., en el caso de las larvas del cangrejo de barro para que el depredador pueda ingerirlos.

Producción de la etapa "paraguas" (umbrella) de *Artemia*



Fuente: Elaboración de los autores (CTU, Viet Nam).

3.1.7. Enriquecimiento de los nauplios

Poco después de que *Artemia* se convirtiera en un alimento vivo muy popular en los inicios de la acuicultura, se descubrió que muchas cepas de *Artemia* tenían deficiencias de ciertos nutrientes esenciales, que variaban según el origen geográfico de *Artemia*, y que, por lo tanto, no satisfacían todas las necesidades de las larvas de depredadores (especialmente marinas) a las que se alimentaba (Léger *et al.*, 1987; Navarro, Amat y Sargent, 1992, 1993). Desde entonces, muchos estudios se han centrado en el papel de los ácidos grasos altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en decapsulación; es decir, ácidos grasos poliinsaturados con 20 o más átomos de carbono y tres o más dobles enlaces) en el desarrollo de las larvas de peces y mariscos y su presencia (o ausencia) en *Artemia*.

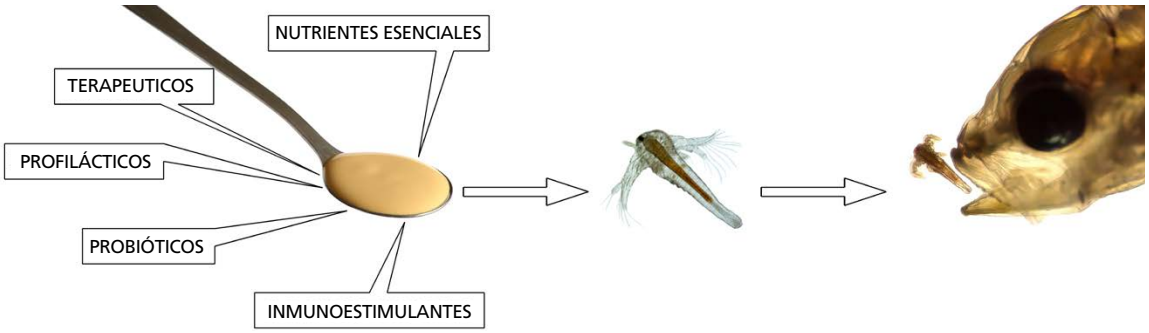
El ácido linoleico (LA, 18:2ω6), conjuntamente con el ácido alfa-linolenico (ALA, 18:3ω3), puede ser sintetizado en las plantas, pero no en los tejidos animales. Sin

embargo, ambos ácidos grasos son necesarios para los procesos celulares y para la producción de otros ácidos grasos vitales, como los ácidos grasos omega-6 (ω6) y omega-3 (ω3). Por lo tanto, al ser obtenidos a través de la dieta, se consideran ácidos grasos esenciales (AGE). Mientras que los AGPI ω6 y ω3 se forman normalmente en el organismo de la mayoría de los animales a partir de sus compuestos originales, los niveles producidos son variables en comparación con los necesarios para mantener una salud óptima. El ácido linolénico se convierte fácilmente en ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5ω3) en los peces de agua dulce, pero su conversión en EPA y, posteriormente, en ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6ω3) es limitada o incluso inexistente en la mayoría de los peces marinos. En consecuencia, esto implica que los peces marinos deben recibir estos nutrientes esenciales en su dieta y en cantidades suficientes.

Los HUFAs ω3 juegan un rol especialmente importante en el desarrollo de larvas de peces marinos. Inicialmente, la mayor atención se fijó en el aumento de los niveles EPA en *Artemia*, pero a finales de la década de 1980, el enfoque se expandió también a DHA (Léger, Naessens-Foucquaert y Sorgeloos, 1987). La yema de la mayoría de los huevos de peces marinos silvestres tiene una proporción de DHA:EPA de aproximadamente 2, lo que implica que debe observarse una proporción de al menos 2:1 de DHA con respecto al EPA en las larvas que se alimentan por primera vez. Se descubrió que proporciones suficientemente altas de DHA:EPA eran vitales para estimular el crecimiento, la tolerancia al estrés y la pigmentación en las larvas de peces marinos. Los peces marinos tienen grandes cantidades de DHA y EPA en los fosfolípidos de sus membranas celulares, donde mejoran la permeabilidad de las membranas, especialmente en las membranas visuales y neuronales. La falta de estos AGE puede provocar un retraso en el crecimiento fisiológico y alteraciones del comportamiento, como una visión deficiente en condiciones de poca luz, una menor tolerancia al estrés y una pigmentación deficiente. Los estudios demuestran que, además del DHA y el EPA, el ácido araquidónico HUFA ω6 (ARA, 20:4ω-6) puede ser igualmente necesario para las larvas de peces marinos (Bell y Sargent, 2003). Al igual que con los HUFAs ω3, las especies de peces marinos no son capaces de sintetizar ARA a partir del compuesto original. El ARA es un precursor de la producción de eicosanoides, un grupo de compuestos inmunológicos vitales para el sistema inmunitario de los peces. Sin embargo, los estudios indican que la necesidad de ARA en los peces parece depender de la especie y del desarrollo larvario, por lo que hay que tener cuidado al proporcionar este nutriente.

En vista de la deficiencia de ácidos grasos que se observa en muchas cepas de *Artemia*, aunque con diferencias sustanciales entre ellas (ver Sección 1.4.6), se han realizado investigaciones para mejorar el perfil lipídico de *Artemia*. Debido a sus características alimenticias, *Artemia* permite manipular su composición bioquímica de una manera muy conveniente. Dado que *Artemia*, tras la muda a la segunda fase larvaria (es decir, unas 8 horas después de la eclosión, dependiendo de las condiciones ambientales), no es selectiva al ingerir partículas (ver Sección 1.1), se han desarrollado métodos para incorporar productos lipídicos en los nauplios de *Artemia* antes de ofrecerlos como presa a las larvas depredadoras (Figura 42). Desarrollada originalmente para el enriquecimiento con HUFAs, la metodología pronto se adoptó para otros compuestos (fosfolípidos, inmunoestimulantes, vitaminas, carotenoides, etc.), siempre que estos pudieran ofrecerse en partículas lo suficientemente pequeñas como para ser absorbidas por *Artemia*. Este método de bioencapsulación, también llamado enriquecimiento de *Artemia*, se aplica habitualmente en muchos criaderos de peces marinos y crustáceos para mejorar el valor nutricional de *Artemia* con ácidos grasos esenciales. Ha tenido un gran impacto en la producción de larvas, no solo en términos de supervivencia, crecimiento y éxito de la metamorfosis de los animales de acuicultura en fase larvaria, sino también en su calidad, por ejemplo, reducción de malformaciones, mejora de la pigmentación y aumento de la resistencia al estrés. No obstante, para varias especies de peces marinos, los niveles óptimos de AGPU ω3 en la dieta aún no se alcanzan con *Artemia* enriquecida.

FIGURA 42
Diagrama esquemático del uso de *Artemia* como vector para la transferencia de componentes específicos a larvas cultivadas

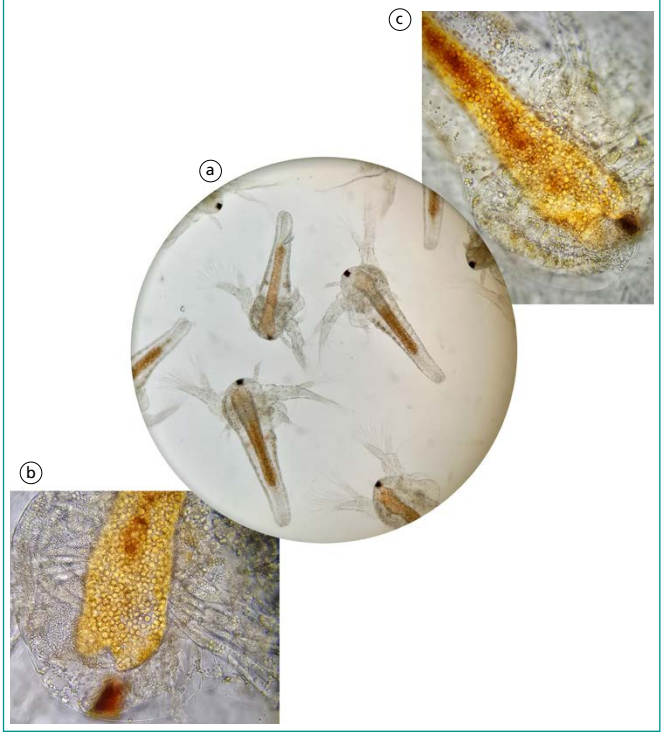


Fuente: Elaboración del autor (LAARC).

© Fish larva: C. Weirich, USDA Agricultural Research Service.

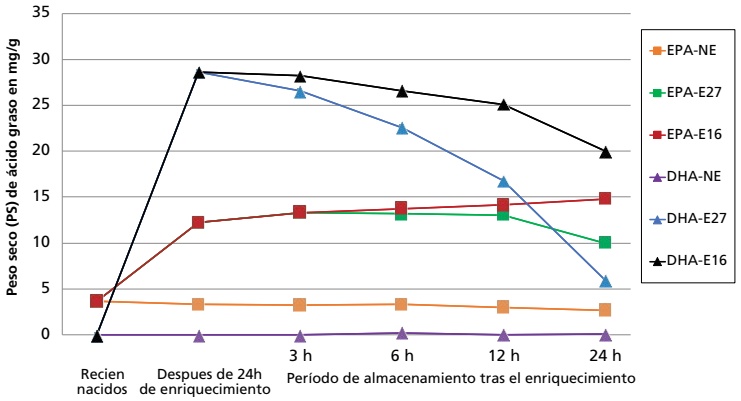
Se han desarrollado diferentes productos y procedimientos de enriquecimiento basados en microalgas, levaduras, probióticos, productos microencapsulados y microparticulados, productos emulsionados y concentrados autoemulsionables seleccionados, o combinaciones de estos. Los niveles más altos de enriquecimiento se obtienen al utilizar concentrados emulsionados. La emulsión es un complejo autodispersante de fuentes de aceite marino seleccionadas, a menudo complementado con otros compuestos nutricionales como vitaminas liposolubles y carotenoides. Tras su dilución en agua de mar, se forman microglóbulos estables finamente dispersos, que son fácilmente ingeridos por *Artemia*. Los altos niveles de enriquecimiento son el resultado no solo de una composición óptima del producto y un proceso de fabricación adecuado, sino también de procedimientos de enriquecimiento adecuados: los nauplios recién eclosionados se transfieren a un tanque de enriquecimiento a una densidad máxima de 500 *Artemia* por ml, con un medio de enriquecimiento compuesto por agua de mar desinfectada (ver Sección 3.1.1) y mantenido a una temperatura de entre 25 °C y 30 °C. De acuerdo con las instrucciones de uso, el producto enriquecido se agrega en una o dos raciones, se requiere aireación fuerte (con piedras difusoras de aire) o la adición de oxígeno puro es requerido para mantener los niveles de oxígeno disuelto por encima de 4 mg/L. Esto último es necesario para evitar condiciones subóptimas que puedan provocar una mortalidad significativa. La peroxidación de los lípidos también puede aumentar la demanda de oxígeno y contribuir a estas condiciones subóptimas. Los metanauplios enriquecidos (Lámina 56) se recogen después de 22 h, se enjuagan a fondo (ver Sección 3.1.6. y Anexo 7) y luego se alimentan directamente o se almacenan a menos de 10 °C antes de su administración, lo que garantiza un alto valor nutricional (al minimizar la metabolización de los HUFAs en *Artemia*; ver Figura 43) y también permite controlar la bioseguridad.

LÁMINA 56
Metanauplios enriquecidos de *Artemia* (a); en el intestino (b, c) se pueden ver las pequeñas gotas de aceite ingerido en el producto de enriquecimiento



© INVE

FIGURA 43
Evolución del ácido docosahexaenoico (DHA) y del ácido eicosapentaenoico (EPA)
Niveles en mg/g peso seco (PS (con catabolismo de DHA) durante el almacenamiento de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado enriquecida con DHA- y EPA a 27 °C y 16 °C. Nota: E16 = almacenado a 16 °C; E27 = almacenado a 27 °C; NE = no enriquecido



© LAARC

Mediante el uso de estas técnicas de enriquecimiento se pueden obtener niveles muy elevados de incorporación de HUFAs, muy por encima de las concentraciones máximas observadas en cepas naturales (ver Tabla 22).

Hasta la fecha, los productos comerciales modernos de enriquecimiento no solo aumentan los niveles de ácidos grasos esenciales, sino que también tienen como objetivo proporcionar una dieta con alimento vivo más balanceada en contenido proteico, fosfolípidos y energía. Además, los productos suelen incluir una amplia gama de micronutrientes beneficiosos, tales como vitaminas, pigmentos, esteroles, antioxidantes y enzimas. Una tendencia en el desarrollo de productos enriquecidos comerciales es incluir ingredientes "naturales" como microalgas o levaduras especiales en la formulación del producto, ya que se cree que estos ingredientes, por ejemplo, tienen una acción nutritiva o inmunoestimulante adicional que los nutrientes individuales no pueden proporcionar. El proceso de enriquecimiento también puede estar ligado a los procedimientos de higiene y control de enfermedades en los criaderos a través de la incorporación de productos bacteriostáticos que sirven como vehículo para la administración de inmuno–estimulantes, probióticos, vacunas y péptidos antimicrobianos, para nombrar unos pocos. En términos de apariencia física, los productos de enriquecimiento en polvo seco han adquirido su propia posición en el mercado, ya que son menos perecederos, se almacenan más fácilmente y son más cómodos de usar (p. ej., en cuanto a la dosificación). Entre los nuevos avances también se incluyen productos que permiten obtener los mismos niveles de enriquecimiento nutricional en un periodo de tiempo más corto o que permiten el enriquecimiento a una mayor densidad de *Artemia*, lo que supone un ahorro de tiempo, espacio y mano de obra en los criaderos.

TABLA 22
Ejemplo de niveles de HUFA (en mg/g peso seco) obtenidos de metanauplios de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado enriquecidos con diferentes emulsiones comerciales por periodos de enriquecimiento entre 12 h y 24 h vs. Nauplios en instar I no enriquecidos

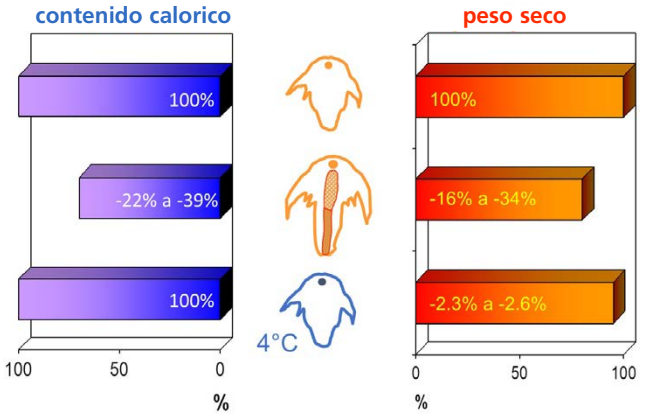
Ácido graso (mg/g peso seco)	GSL instar I no-enriquecidos	Enriquecido con producto A		Enriquecido con producto B		Enriquecido con producto C	
		12 h	24 h	12 h	24 h	12 h	24 h
LA: 18:2ω6	8,5	9,1	8,6	10,4	15,2	10,1	13,3
ALA: 18:3ω3	45,2	36,2	29,7	35,5	37,5	41,6	34,9
ARA: 20:4ω6	0,8	2,2	4,0	1,6	1,6	1,2	2,9
EPA: 20:5ω3	2,7	6,3	11,2	7,8	13,5	6,9	18,5
DHA: 22:6ω3	Traces	20,9	35,5	12,5	34,9	5,0	17,3
DHA/EPA	–	3,3	3,2	1,6	2,6	0,7	0,9
Sum ω3 > 20:3ω3	5,4	29,8	50,1	24,6	54,7	14,1	40,0
Sum ω6 > 18:2ω6-t	10,2	18,2	24,3	14,6	19,7	13,1	1,2
ω3/ω6	0,5	1,6	2,1	1,7	2,8	1,1	2,1

Nota: ALA = ácido alfa-linolenico; ARA = ácido araquidónico; DHA = ácido docosahexaenoico; EPA = ácido eicosapentaenoic; GSL = Great Salt Lake; HUFA = ácido graso altamente no saturado; LA = ácido linoleico.

Fuente: Elaboración de los autores (LAARC).

3.1.8. Almacenamiento en frío de los nauplios

FIGURA 44
Disminución de energía (contenido calórico) y peso seco de diferentes formas de *Artemia*
Se considera que los nauplios de estadio I recién nacidos (arriba) tienen un valor del 100%. Se muestra el porcentaje de disminución para los metanauplios de estadio II-III (en medio) y los nauplios de estadio I almacenados a 4 °C durante 24 h (abajo)



© LAARC

La refrigeración y la protección de la calidad de los nauplios de *Artemia* son esenciales para prevenir el crecimiento bacteriano y posibles cambios negativos en su calidad nutricional durante el almacenamiento. Hoy en día, muchos criaderos siguen pasando por alto el hecho de que los nauplios de *Artemia* no se alimentan en su primera etapa de desarrollo (instar I) y, por lo tanto, consumen sus propias reservas de energía para crecer y seguir desarrollándose. A temperaturas elevadas, que se aplican durante la incubación de los quistes, los nauplios de *Artemia* recién eclosionados se desarrollan hasta la segunda fase naupliar en cuestión de horas, consumiendo una parte sustancial (hasta más del 30 %) de sus reservas energéticas en ese periodo de tiempo (Figura 44). Los nauplios en el estadio II son menos visibles, ya que son más transparentes, son más grandes y nadan más rápido que nauplios en el estadio I, por lo que son menos aceptables como presa.

Por ende, los criaderos deben alimentar a la mejor *Artemia* por un tiempo prolongado, para esto, se necesita infraestructura de enfriamiento para ayudar a mantener la alta calidad de la comida viva. Se puede evitar la muda de los nauplios de *Artemia* a segunda fase y su metabolismo energético puede reducirse considerablemente almacenando los nauplios recién eclosionados a una temperatura inferior a 10 °C (Léger, Vanhaecke y Sorgeloos, 1983). Las densidades pueden alcanzar los 5 000 individuos/ml sin oxígeno puro, e incluso hasta 10 000 individuos/ml con oxígeno puro. De esta manera, los nauplios pueden almacenarse durante períodos de hasta 24 h sin mortalidad significativa, con una reducción de energía inferior al 5 %. En cuanto al crecimiento bacteriano, es importante tener en cuenta que, aunque las cámaras frigoríficas y la refrigeración reducen en gran medida el crecimiento bacteriano, esta reducción no es del 100 %, por lo que es necesario respetar los procedimientos adecuados de higiene y bioseguridad (ver Sección 3.1.1).

Para el almacenamiento prolongado de nauplios vivos de *Artemia* a bajas temperaturas, se pueden utilizar diversos equipos, como estanques de inmersión (donde los nauplios recolectados se almacenan en un estanque, se sumergen en agua y se mantienen a baja temperatura utilizando herramientas de refrigeración convencionales, como aislamiento de espuma de poliestireno del tanque, bolsas de hielo o hielo envasado en bolsas de plástico cerradas), refrigeradores, cámaras frigoríficas o estanques de enfriamiento de "leche" (Lámina 57). En estos contenedores de refrigeración, solo se necesita una ligera aireación para evitar que los nauplios se acumulen en el fondo del estanque, donde sufrirían estrés por falta de oxígeno y, en última instancia, morirían. Se recomienda el uso de un sistema de rotación junto con el suministro de aire u oxígeno para mantener los nauplios en suspensión. Es importante que la suspensión se enfríe lo más rápido posible después de la recolección de los nauplios. Esto puede hacerse sumergiendo bloques de hielo desinfectados y envueltos en plástico en la suspensión de nauplios de *Artemia* o utilizando agua desinfectada y pre enfriada al final de la recolección.

La aplicación de un almacenamiento en frío de 24 h permite a los criaderos comerciales economizar en los esfuerzos de eclosión de quistes (es decir, reducir el número diario de eclosiones y recolecciones, menos estanques, mayores volúmenes). El almacenamiento

LÁMINA 57
Recipiente para enfriar leche usada para el almacenamiento en frío de nauplios de *Artemia*
Vista desde arriba (a) y vista de lado (b)



© Philosofish S.A.

en frío permite al acuicultor considerar distribuciones de alimento más frecuentes e incluso automatizadas de un alimento vivo óptimo. Esto es beneficioso para las larvas de peces y camarones, ya que se puede reducir el tiempo de retención del alimento en los tanques de larvicultura y, por lo tanto, minimizar el crecimiento de *Artemia* en el estanque de larvicultura. Además, cuando se trabaja con cazadores poco eficaces, como las larvas de rodaballo (*Scophthalmus maximus*) y camarón tigre (*Penaeus monodon*) y algunas etapas tempranas del camarón de patas blancas (*Litopenaeus vannamei*), la alimentación con *Artemia* almacenada en frío, que son menos activas durante un tiempo después de salir de las condiciones de almacenamiento en frío, da como resultado una ingesta de alimento mucho más eficiente.

Hoy en día, los nauplios de *Artemia* son también producidos y suministrados a los criaderos por empresas especializadas, sea en forma de pasta o producto congelado. La concentración de este producto fresco o congelado tiene, por ejemplo, hasta 80 millones de nauplios/L y el producto está listo para ser utilizado en el estanque. Dependiendo de la empresa, si el producto se entrega en forma de pasta fresca, éste puede estar certificado como libre de patógenos y con calidad garantizada de los nauplios (viabilidad y recuperación tras su introducción en el estanque de larvicultura). Si se congelan, los nauplios mueren por el proceso de congelación y, por lo tanto, quedan inmovilizados (lo que puede ser ventajoso para alimentar, por ejemplo, las primeras etapas post larvales del camarón), y pueden conservarse durante varios días o semanas en el congelador. Es importante subrayar que el procedimiento de concentración a una densidad extremadamente alta puede causar daños físicos a los nauplios si no se realiza correctamente. Bajo estas condiciones, los nauplios pueden perder su valor nutritivo por la degradación seguido por el daño físico, o se pueden hundir al fondo del tanque sin ser depredadas, incrementando la carga bacteriana.

En resumen, los siguientes parámetros son críticos para lograr un almacenamiento óptimo en frío, garantizando la máxima calidad del alimento vivo:

Etapa de nauplio (instar I/II)

La fase en la que se almacenarán depende del momento en que se recojan los nauplios (duración de la incubación), la cinética de eclosión del lote/cepa en las condiciones de eclosión dadas y el tiempo necesario para recoger, enjuagar y transferir los nauplios a las instalaciones de almacenamiento en frío.

La temperatura es un parámetro clave

- Es obligatorio enfriar rápidamente la suspensión de nauplios.
- Temperatura óptima de almacenamiento: +4 ±1 °C.
- Temperatura mínima: 0 °C (los animales congelados se dañarán y perderán nutrientes).
- Temperatura máxima: 10 °C (el proceso de muda se ralentiza, pero la muda se producirá, lo que provocará un consumo de energía y un aumento de tamaño).

Movimiento

La suspensión de nauplios debe mantenerse en movimiento para prevenir su asentamiento y su muerte.

Oxygeno/aire

Aunque los procesos metabólicos se ralentizan, los animales siguen vivos y necesitan oxígeno para sobrevivir durante el almacenamiento en frío. Es preferible utilizar oxígeno puro. Si no se dispone de él, también se puede utilizar aire, suministrado a alta presión mediante un compresor de aire normal y una piedra porosa adecuada para alta presión (como la piedra cerámica). En este caso, el aire debe filtrarse para evitar la introducción de bacterias en la suspensión de *Artemia*. Debe mantenerse un nivel mínimo de oxígeno disuelto de 6 mg/L. La aireación debe ser lo suficientemente fuerte como para evitar que los nauplios se hundan hasta el fondo, donde se asfixiarían, pero lo suficientemente suave como para evitar que se dañe *Artemia*.

Densidad

Hasta 5 000 nauplios/ml cuando no se aplica oxígeno puro; hasta 10 000 nauplios/ml cuando se aplica oxígeno puro.

Duración del almacenamiento

Máximo por 24 h.

Control de bacterias

Las bajas temperaturas reducen considerablemente el crecimiento de bacterias, pero no lo detienen. Tampoco se trata de un proceso de desinfección: si la carga bacteriana ya es elevada tras la recolección, también lo será al final de la fase de almacenamiento. Por lo tanto, es importante seguir los procedimientos de desinfección para el proceso de incubación y recolección y para el material utilizado para el almacenamiento en frío, y respetar los procedimientos generales de higiene y bioseguridad adecuados (ver Sección 3.1.1).

Alimentación

Cuando se necesitan nauplios de *Artemia*, se puede extraer la cantidad adecuada de alimento vivo de los contenedores de almacenamiento en frío y alimentarlos inmediatamente. Los nauplios de *Artemia* se recuperarán en pocos minutos de la condición de frío. La suspensión restante debe volver inmediatamente a condiciones de refrigeración hasta su próximo uso.

3.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE QUISTES DE *ARTEMIA*

Los quistes de *Artemia* se comercializan bajo diversas marcas procedentes de diferentes cepas, que se corresponden con una variedad de criterios de calidad. Estos criterios contribuyen al valor de cada marca. Para caracterizar la calidad de los productos de *Artemia*, la industria acuícola emplea una serie de herramientas de evaluación, entre las que destacan las siguientes: biometría de quistes y nauplios, características de eclosión de los quistes y perfil nutricional de los nauplios.

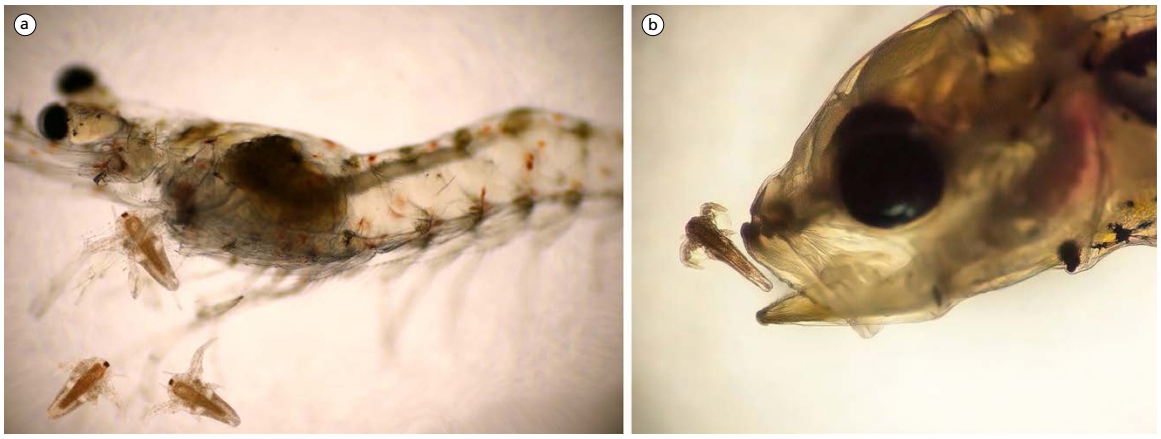
3.2.1. Características biométricas

La biometría se refiere al tamaño y la forma del organismo alimenticio, que afectan a su digestibilidad y, en última instancia, también a su eficacia nutricional. El tamaño de los nauplios, que varía mucho de una fuente geográfica de *Artemia* a otra (ver Sección 1.4.1), a menudo no es crítico para las larvas de crustáceos, que pueden capturar y desgarrar las partículas de alimento con sus apéndices alimenticios (Lámina 58). Por otro lado, para las larvas de peces marinos, que tienen una boca muy pequeña y tragan sus presas de un solo bocado, el tamaño de los nauplios es especialmente importante. Por ejemplo, las larvas de peces a las que se les ofrecen nauplios de *Artemia* demasiado grandes pueden morir de hambre porque no pueden ingerirlos. Los peces que producen huevos pequeños, como la dorada (*Sparus aurata*), turbot y el mero, deben alimentarse con rotíferos como primer alimento, ya que los nauplios de todas las cepas de *Artemia* son demasiado grandes. En estos casos, el tamaño de los nauplios (de una cepa seleccionada) determinará cuándo se puede cambiar la dieta de los peces de rotíferos a *Artemia*.

Por lo tanto, la evaluación de la calidad desde el punto de vista biométrico usa los siguientes parámetros:

- Diámetro de los quistes hidratados, no desencapusulados (regulares) y de quistes decapsulados. Se requiere una hidratación completa ya que en esta condición los quistes totalmente esféricos alcanzan su tamaño máximo;
- Grosor del corion; y
- Largo y ancho de los nauplios recién eclosionados.

LÁMINA 58
Larva de camarón (a) y de pez (b) alimentándose con larvas de *Artemia*



© INVE Aquaculture
© C. Weirich, USDA Agricultural Research Service

Si bien en el pasado la biometría de los quistes se realizaba mediante mediciones manuales con microscopio (ver Anexo 8), hoy en día es más habitual el análisis de imágenes por ordenador, con software y hardware especializados, en los casos de aplicación rutinaria.

Biometría de los quistes

En todos los parámetros biométricos se observan diferencias importantes entre las cepas de *Artemia* (ver Sección 1.4.1), y las cepas se pueden diferenciar en cierta medida en función de sus características biométricas. Por ejemplo, el diámetro medio de la mayoría de los quistes hidratados no decapsulados varía entre 220 µm y 290 µm. Según el tamaño, se pueden distinguir tres grupos:

- Los más pequeños: 220-230 µm, por ejemplo, Bahía de San Francisco (Estados Unidos de América) y cepas originarias de ésta, como la Vinh Chau (Viet Nam).
- Los de tamaño intermedio: 240-260 µm, por ejemplo, Gran Lago Salado (Estados Unidos de América).

- Los de mayor tamaño: varias cepas partenogenéticas: 260-290 µm, por ejemplo, las de Bolshoe Yarovoe (Federación de Rusia); cepas del Tibet, China, tales como Lagkor Co.

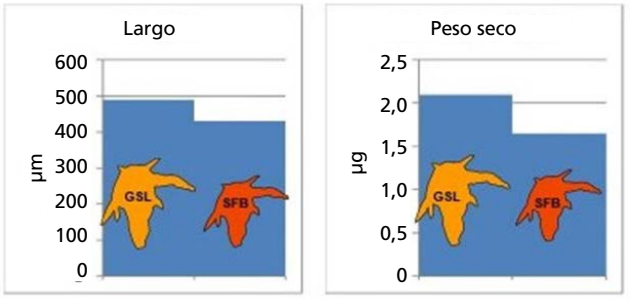
Dado que los quistes pequeños también tienen un peso individual menor, la biometría de los quistes también influye en la eficiencia de eclosión (ver Sección 3.2.2). Dentro de una misma cepa, el tamaño medio de los quistes se mantiene más o menos constante entre los lotes recolectados en diferentes épocas del año o en diferentes años. No obstante, las condiciones ambientales, como la temperatura, la salinidad y las variaciones en las condiciones alimentarias, pueden provocar pequeñas diferencias en el tamaño de los quistes. Por consiguiente, el diámetro de los quistes puede considerarse principalmente específico de cada cepa.

En el caso de los quistes decapsulados, se observa un rango de diferencias similar al de los quistes no tratados entre las diferentes cepas, con un diámetro medio de los decapsulados que varía entre 200 µm y 270 µm. No existe relación entre el tamaño de los quistes no decapsulados y el grosor del corion.

Biometría de los nauplios

Dado que los parámetros biométricos de los quistes y los nauplios están significativamente correlacionados entre sí, los datos biométricos de los nauplios siguen las diferencias entre las cepas, tal y como se observa en el tamaño de los quistes (Figura 45); el diámetro de los quistes es uno de los factores que determina el precio del producto en el mercado, siendo los quistes pequeños los que alcanzan precios más elevados. El conocimiento de las características biométricas de los nauplios adquiere un valor práctico a la hora de seleccionar la cepa más adecuada como fuente de alimento para depredadores como los peces larvarios:

FIGURA 45
Deferencias específicas de cepas en el tamaño de nauplios en instar I (izquierda) y peso seco (derecha) entre el Gran Lago Salado y la bahía de San Francisco (SFB) *Artemia*



© IAARC

- Los nauplios más grandes con un peso individual mayor son beneficiosos si el tamaño de los nauplios no es crítico para el mecanismo de ingestión: el depredador gasta menos energía al ingerir un número menor de nauplios más grandes para satisfacer sus necesidades alimenticias. Esto es especialmente cierto en el caso de las larvas de peces, que no son eficientes a la hora de cazar presas.
- Si el tamaño de los nauplios es crítico para el mecanismo de ingestión, se pueden obtener mejores resultados utilizando nauplios pequeños.

3.2.2. Calidad de eclosión

Para obtener una buena calidad de eclosión, productos de quiste aceptable debe contener, en primer lugar, cantidades mínimas de impurezas, como arena, cáscaras rotas y vacías, plumas y cristales de sal. Junto con un bajo contenido de agua, esto contribuirá a un alto número de quistes por gramo de producto. Como parámetros más comunes, la eficiencia de eclosión (el número de nauplios eclosionados por gramo de producto de quistes [secos]) y el porcentaje de eclosión (el porcentaje total de quistes completos que realmente eclosionan) se observan después de un período de incubación de eclosión estándar, generalmente de 24 h. Estos parámetros suelen variar considerablemente entre los diferentes productos comerciales y, obviamente, explican gran parte de las diferencias de precio. A este respecto, la eficiencia de eclosión se considera un mejor criterio comercial global que el porcentaje de eclosión, ya que refleja la cantidad de presa (nauplios) proporcionada por gramo de producto de quistes tal cual, teniendo

en cuenta sus impurezas, contenido de agua, etc. Los valores de eficiencia de eclosión de los productos comerciales de quistes pueden ser tan bajos como 10 000 nauplios/g, mientras que, por ejemplo, los quistes de primera calidad del Gran Lago Salado producen 250 000 nauplios/g (con un porcentaje de eclosión equivalente superior al 90 %). Los lotes de quistes pequeños (p. ej., los quistes de Viet Nam del tipo de la bahía de San Francisco) pueden producir un número aún mayor de nauplios (es decir, >300 000 nauplios/g): Dado que un quiste pequeño también tiene un peso menor (ver Sección 3.2.1), 1 gramo de producto de quistes de una cepa caracterizada por quistes pequeños contiene más quistes que 1 g de una cepa de quistes más grandes. Por lo tanto, el potencial de eficiencia de eclosión del producto de la cepa más pequeña es correspondientemente mayor.

Otro aspecto de la calidad de la eclosión no se refiere a la eclosión obtenida tras un periodo de incubación estándar, sino a la velocidad con la que una muestra de quistes alcanza la eclosión máxima; esto es lo que se conoce como sincronía de eclosión. La velocidad y la sincronía de eclosión deben ser lo suficientemente altas; cuando se incuba en agua de mar a 32 g/L a 28 °C, los primeros nauplios deben aparecer después de 8-12 h de incubación (T_0; véase más adelante), y los últimos nauplios deben haber eclosionado en un plazo de más o menos 8 h a partir de entonces (T_{100}). De forma análoga, se pueden formular otros valores T (p. ej., T_{90} es el tiempo necesario para que eclosione el 90 % de todos los quistes eclosionables). Cuando la eclosión no es lo suficientemente sincrónica (T_{100}-T_0 >10 h), los primeros nauplios eclosionados habrán mudado a la segunda fase larvaria y habrán consumido gran parte de sus reservas de energía cuando los últimos nauplios hayan eclosionado y se haya realizado la recolección. Además, estas últimas etapas larvarias pueden presentar un mayor riesgo de bioseguridad, ya que pueden haber absorbido el *Vibrio* patógeno presente en el entorno de eclosión (mientras que los instares de primera etapa no se alimentan). Cuando el período de incubación total necesario para obtener la eclosión máxima supera las 24 h, el usuario de quistes no podrá reponer los mismos contenedores de eclosión para la recolección del día siguiente, lo que a su vez implica mayores costes de infraestructura.

Para evaluar la calidad de eclosión de un producto de quistes, se deben seguir los siguientes criterios:

Contenido de agua (% H_2O) (ver Anexo 9):
Para estudiar la interrelación entre el contenido de agua y el metabolismo en los quistes de *Artemia*, se pueden seguir varios enfoques de cuantificación (p. ej., el contenido de agua del quiste completo en comparación con el del embrionado y el de la cubierta del quiste; y el contenido de agua por gramo de producto del quiste o por gramo de peso seco de los quistes). Para su uso práctico, y a fin de garantizar una larga vida útil con una alta tasa de eclosión, el contenido de agua de una muestra de quistes, secada y calculada según un protocolo estándar, debe ser inferior al 10 % (ver Sección 2.4.2.4). Además, un mayor contenido de agua de una muestra comercial de quistes conduce a una eficiencia de eclosión correspondientemente menor (ya que el agua de los quistes también contribuye a su peso, y la eficiencia de eclosión se expresa en función del peso). Por lo general, se busca un contenido de agua del 8 %.

Conteo de quistes (quistes/g) (ver Anexo 10):
= Número de quistes (llenos + vacíos) por gramo de producto. Este criterio ofrece una primera indicación sobre:

- La calidad del procesamiento previo de la muestra (grado de impurezas, cáscaras agrietadas, etc.).
- La cantidad de quistes vacíos (juntamente con el porcentaje de eclosión y los datos de eficiencia).

- El peso individual de los quistes, por lo tanto, su tamaño (p. ej., más quistes/g para cepas más pequeñas). Por ejemplo, los valores típicos son los siguientes: (ver Sección 3.2.1 para ejemplos de cepas de las diferentes categorías de tamaño):
  - Quistes pequeños: >300 000 quistes/g
  - Quistes intermedios: 250 000 a 300 000 quistes/g
  - Quistes grandes: <250 000 quistes/g

Como cálculo alternativo, se puede utilizar el recuento de embriones, en el que solo se tiene en cuenta el número de quistes completos por gramo de producto.

Porcentaje de eclosión (H%) (ver Anexo 10):
= Número de nauplios que pueden ser producidos bajo condiciones estándar de eclosión a partir de 100 quistes llenos dentro de un período estándar de incubación; este criterio no tiene en cuenta las impurezas de los quistes (cáscaras rotas, arena, sal, etc.) y se refiere únicamente a la capacidad de eclosión de los quistes completos, que a su vez depende de:

- Grado de finalización de la diapausa: los quistes que aún se encuentran en diapausa no eclosionan, incluso en condiciones favorables para la eclosión (ver Sección 1.5.4).
- Contenido energético de los quistes: la energía puede ser demasiado baja para acumular niveles suficientes de glicerol que permitan la ruptura y la eclosión (ver Sección 1.5.2), como consecuencia, por ejemplo, de un procesamiento y/o almacenamiento inadecuado y de condiciones ambientales o genotípicas que afectan a la generación parental.
- Cantidad de embriones muertos, ya sea de forma natural o como resultado de un procesamiento y/o almacenamiento inadecuado.

Para determinar el H%, normalmente solo se tienen en cuenta los nauplios que nadan libremente y se consideran "quistes eclosionados". Sin embargo, dentro del período de incubación estándar de 24 h, es posible que no todos los embriones eclosionados hayan alcanzado la fase de nauplio y que algunos aún se encuentren en la fase de paraguas. Para tener una visión más completa del potencial de eclosión de la muestra, a veces estos paraguas también se consideran "quistes eclosionados" y se incluyen en el cálculo, lo que da como resultado el valor denominado "porcentaje de eclosión" (H+%). La diferencia entre H+% y H% indica la cantidad de quistes que eclosionan relativamente tarde.

Eficiencia de eclosión (HEff) (ver Anexo 10):
= Número de nauplios que se pueden producir a partir de 1 g de producto de quistes secos en condiciones normales de eclosión y durante un período de incubación estándar. Dado que este criterio se refiere generalmente al producto comercial listo para su uso, tiene implicaciones muy prácticas, ya que el precio del producto puede estar directamente relacionado con su rendimiento. Como se ha descrito anteriormente, este criterio refleja:

- El porcentaje de eclosión (ver arriba).
- El número de embriones (quistes llenos) por gramo. Esto es a su vez afectado por:
  - la presencia de otros componentes además de los quistes completos en el producto de quistes (es decir, cáscaras vacías, sal, arena, contenido de agua de los quistes); y
  - el peso seco individual (es decir, mayor número de quistes/g para cepas más pequeñas).

Por consiguiente, el cálculo "% de eclosión × recuento de embriones" puede utilizarse para expresar el número de nauplios producidos a partir de 1 g de producto de quistes (o eficiencia de eclosión).

De forma análoga al cálculo de H+% (ver arriba), también puede calcularse el valor HE+.

Tasa de eclosión (ver Anexo 10):
La tasa de eclosión se refiere al período de tiempo que transcurre desde el inicio de la incubación (= inicio de la hidratación de los quistes) hasta la liberación de los nauplios (eclosión). No se expresa como un valor único, sino que considera varios intervalos de tiempo, como T_{10} (período de incubación necesario hasta que el 10 % de los quistes incubables hayan eclosionado), T_{90} (90 % de eclosión) y T_{100} (eclosión máxima). Los datos sobre la tasa de eclosión permiten calcular el período de incubación óptimo para obtener el máximo número de nauplios de estadio I recién eclosionados, es decir, los que contienen el mayor contenido energético.

La sincronía de eclosión es el lapso durante el cual eclosionan la mayoría de los nauplios, considerando generalmente el período entre T_{90} y T_{10}, por lo que Ts = T_{90}-T_{10}. Una alta sincronía de eclosión garantiza un número máximo de nauplios en estadio I disponibles en un breve lapso; en caso de sincronía deficiente, es necesario recolectar varias veces el mismo tanque de eclosión para evitar una población mixta en estadios I-II-III cuando se recolecta solo una vez, en T_{90} o T_{100}.

Rendimiento de la eclosión ("*Hatching output*"):
= Biomasa seca de nauplios que se puede producir a partir de 1 g de producto de quistes secos incubados en condiciones estándar de eclosión durante un período de incubación estándar; los mejores productos producen alrededor de 600 mg de biomasa seca de nauplios por gramo de quistes.

El rendimiento de la eclosión se calcula de la siguiente manera: eficiencia de eclosión × peso seco individual de nauplios en estadio I.

La eficiencia de eclosión solo tiene en cuenta el número de nauplios que se producen, y no el tamaño de estos nauplios (que depende de la cepa). El criterio de rendimiento de la eclosión está relacionado con la cantidad total de biomasa alimentaria disponible para el depredador por gramo de quistes (véase el cálculo de la conversión alimentaria). Aunque en el campo es habitual utilizar biomasa alimentaria viva (basada, por tanto, en el peso húmedo [vivo] de los nauplios), la determinación del peso húmedo es difícil de estandarizar, por lo que el peso seco es un parámetro mucho más reproducible para expresar la cantidad de alimento suministrada al depredador.

Teniendo en cuenta la definición de los criterios de eclosión, tal como se ha descrito anteriormente, y la correlación entre los parámetros biométricos, existen algunas relaciones directas entre algunos criterios de calidad de eclosión de un producto de quistes y las características biométricas de la cepa a la que pertenece (Tabla 23). Otras relaciones son más complejas: por ejemplo, los quistes grandes con nauplios grandes (Bolshoe Yarovoe en la Tabla 23) pueden alcanzar un rendimiento de eclosión más alto que los quistes de tamaño pequeño (p. ej., Vinh Chau), incluso si la eficiencia de eclosión es mucho menor.

TABLA 23
Ejemplo de las características de una muestra de quistes de cepa pequeña (VC: Vinh Chau, Viet Nam); quistes de cepa intermedia (GSL: Gran Lago Salado, por sus siglas en inglés, Estados Unidos de América); y quistes de cepa grande (por: Bolshoe Yarovoe, Federación de Rusia), con sus correspondientes características biométricas

Cepa	Tamaño quiste (µm)	Tamaño Instar I (µm)	Número de quistes (quistes/g)	Número de embriones (quistes llenos/g)	% Quistes vacíos	HE (nauplios/g)	H%	PS ind. de nauplios (µg)	Rendimiento de eclosión (mg)
VC (pequeño)	239	472*	333 211**	322 566	3,19	285 342**	88.46	1,65*	471
GSL (intermedio)	248	483	309 444	273 780	11,53	253 000	92.41	2,40	607
BY (grande)	262	498*	260 428**	240 442	7,68	204 665**	85.12	3,30*	675

Nota: Para las cepas de VC y BY, un asterisco (*) indica parámetros que están positivamente correlacionados con el tamaño del quiste; dos asteriscos (**) indican parámetros que están negativamente correlacionados con el tamaño del quiste. H% = porcentaje de eclosión; HE = eficiencia de eclosión; Ind. PS = peso seco individual.

Fuente: Elaboración de los autores (LAARC).

3.2.3. Calidad nutritiva de los metanauplios

3.2.3.1. Composición nutritiva y digestibilidad del alimento vivo

Las larvas de casi todas las especies de peces marinos y de muchas especies de peces de agua dulce, así como las larvas de crustáceos, necesitan organismos vivos como primer alimento. La inclusión de alimentos vivos en los protocolos de alimentación sigue dando mejores resultados en términos de crecimiento y supervivencia que cuando se aplican únicamente dietas artificiales. Se han propuesto varias explicaciones para ello, por ejemplo, los estímulos químicos y visuales de los organismos vivos que sirven de alimento, pero también muchos factores relacionados con la composición y la calidad nutricional de los alimentos, como la estructura y la digestibilidad de las proteínas. Si bien los alimentos vivos también son una fuente de enzimas digestivas exógenas, la importancia de esto para el proceso digestivo de las larvas de peces sigue siendo objeto de debate.

La calidad nutricional general de los organismos vivos depende del contenido y equilibrio de carbohidratos, proteínas y lípidos, lo que se conoce como composición proximal. Las concentraciones de proteínas, lípidos, carbohidratos y también cenizas pueden cambiar significativamente durante la eclosión y el posterior desarrollo de *Artemia*, como se describe más adelante en esta sección. La Tabla 24 ofrece una visión general de la composición de macronutrientes, vitaminas y minerales de los nauplios recién eclosionados de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado.

TABLA 24
Composición de nutrientes, vitaminas y minerales de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado recién eclosionada

Macronutrientes (g/kg masa seca)	**Cantidad**
Aminoácidos totales (TAA, por sus siglas en inglés)	471-503
Nitrógeno	85-102
Factor Proteína/nitrógeno	4,7-5,6
aminoácidos solubles (% de TAA)	54 ± 4
aminoácidos libres (% de TA)	9-10
Lípidos totales (TL, por sus siglas en inglés)	102
Lípidos polares (% de TL)	31
Lípidos neutros (% of TL)	69
Total de ácidos grasos	119
Glicógeno	74-96
Ceniza	90
Vitaminas (mg/kg masa seca)	**Cantidad**
Vitamina A (retinol)	0
Provitamina A (carotenoides)	630-750
Vitamina B1 (thiamina)	4,2
Vitamina B2 (riboflavina)	37
Vitamina B3 (niacina)	159
Vitamina B6 (piridoxina)	28
Vitamina B7 (biotina)	4,5
Vitamina B9 (ácido fólico)	14
Vitamina B12 (cobalamina)	0
Vitamina C (ácido ascórbico)	798
Macrominerales (g/kg masa seca)	**Cantidad**
Fósforo	12-19
Calcio	1,9-2,0
Magnesio	2,0-5,0

TABLA 24 (CONTINUACIÓN)

Microminerales (g/kg masa seca)	Cantidad
Yodo	0,5-4,6
Manganeso	4-30
Cobre	7-40
Zinc	120-310
Selenio	2,2
Hierro	63-130

Fuentes:
Hamre, K., Yú Fera, M., Rønnestad, I., Boglione, C., Conceiçã, L.E.C. y Izquierdo, M. 2013. Fish larval nutrition and feed formulation: Knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. *Reviews in Aquaculture*, 5(s1): S26-S58. https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01086.x

Hamre, K., Fera, M.Y., Rønnestad, I., Boglione, C., Conceição, L.E. y Izquierdo, M. 2002. Nutrient composition and metamorphosis success of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) larvae fed natural zooplankton or *Artemia*. *Aquaculture Nutrition*, 8(2): 139–148. https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00201.x

Hamre, K., Holen, E. y Moren, M. 2007. Pigmentation and eye migration in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus,* L.) larvae: New findings and hypotheses. *Aquaculture Nutrition*, 13(1): 65–80. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00467.x

Hamre, K., Erstad, B., de Kok, J., Norberg, B. y Harboe, T. 2020. Change in nutrient composition of *Artemia* grown for 3–4 days and effects of feeding on-grown *Artemia* on performance of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) larvae. *Aquaculture Nutrition*, 26: 1542–1554. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.13101

Las larvas de peces y camarones tienen altas necesidades nutricionales de aminoácidos debido a su gran potencial de crecimiento y a la amplia movilización de aminoácidos en su metabolismo energético. Además, se ha demostrado que, durante las primeras etapas, las larvas absorben los aminoácidos libres (FAA, por sus siglas en inglés) más rápidamente y los retienen de forma más eficiente que los polipéptidos.

Los FAA y los péptidos pequeños suelen ser solubles en agua y se absorben eficazmente en el intestino sin necesidad de digestión previa, por lo que pueden considerarse proteínas alimentarias pre digeridas. Los nauplios de *Artemia*, a diferencia de los alimentos formulados, contienen una alta proporción de proteínas solubles en agua (67 % del nitrógeno total; Tabla 25) y péptidos pequeños, que son muy digestibles para las larvas. Además, la fracción insoluble de *Artemia* también parece ser muy digestible (digestibilidad del 71 %), lo que permite estimar que la digestibilidad de un nauplio completo de *Artemia* alcanza hasta el 84 %, mientras que la digestibilidad de las dietas inertes suele ser sustancialmente menor (Tabla 26).

TABLA 25
Distribución de la proteína cruda en fracciones solubles y no solubles en agua en *Artemia* vs alimentos vivos alternos e ingredientes de los alimentos formulados

Muestra	Fracción soluble en agua (%)	Fracción insoluble (%)
Artemia (nauplios)	67	33
Calanus (copépodos)	54	46
Harina de calamar	11	89
Harina de pescado	17	83
Harina de huevo de pescado	11	89

Fuente: Tonheim, S.K., Nordgreen, A., Høgøy, I., Hamre, K. y Rønnestad, I. 2007. *In vitro* digestibility of water-soluble and water-insoluble protein fractions of some common fish larval feeds and feed ingredients. *Aquaculture*, 262(2–4): 426–435. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.10.030

TABLA 26
Digestibilidad de alimento vivo *in vitro* e ingredientes usados en alimentos de inicio para larvas de peces en acuicultura

Muestra	Digestibilidad de fracción soluble en agua (%)			Digestibilidad de fracción insoluble (%)			Total digestibilidad (%)		
	0 h	1 h	12 h	0 h	1 h	12 h	0 h	1 h	12 h
Artemia (nauplios)	37	66	91	17	46	71	30	59	84
Calanus (copépodos)	93	88	96	9	45	72	54	68	87
Harina de calamar	79	85	90	7	42	75	15	47	77
Harina de pescado	56	99	103	6	46	71	15	55	77
Harina de huevo de pescado	57	71	91	6	21	43	12	27	49
Dieta con proteína encapsulada							1	29	53
Ingredientes mixtos para una dieta con proteína encapsulada							8	54	74

Nota: En este estudio, la digestibilidad se evaluó como el porcentaje de nitrógeno en la fracción soluble tras el tratamiento de la fuente de proteínas con proteasas y la posterior precipitación de las proteínas no digeridas mediante ácido tricloroacético. Para cada componente analizado, las muestras para determinar la digestibilidad se analizaron a las 0,1 y 12 horas tras la adición de las proteasas.

Fuente: Tonheim, S.K., Nordgreen, A., Høgøy, I., Hamre, K. y Rønnestad, I. 2007. *In vitro* digestibility of water-soluble and water-insoluble protein fractions of some common fish larval feeds and feed ingredients. *Aquaculture*, 262(2–4): 426–435. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.10.030

3.2.3.2. Proteínas y aminoácidos

La calidad de las proteínas alimentarias tiene una importancia fundamental. Se ha demostrado que la inclusión de niveles bajos a medios de proteínas altamente digestibles en las dietas de las larvas de peces y camarones mejora la supervivencia y el crecimiento.

La concentración de proteínas de *Artemia* puede medirse mediante dos métodos diferentes: midiendo los aminoácidos hidrolizados totales (TAA, por sus siglas en inglés) y mediante el análisis de nitrógeno. El método TAA no detecta la cisteína, la cistina y el triptófano, por lo que subestima el contenido de proteínas. Cuando se utiliza el análisis de nitrógeno, se determina la cantidad de nitrógeno y se multiplica por un factor de conversión estándar de nitrógeno a proteína (el factor de Jones) para obtener la proteína total. En las proteínas animales, se suele suponer que la concentración de proteínas es N × 6,25. Sin embargo, en realidad, cada organismo tiene su propia proporción (o factor de Jones), y se ha descubierto que el factor de conversión de nitrógeno a proteína es más bien de 4,7 en los nauplios de *Artemia* y de 5,3 en las *Artemia* crecidas (Hamre *et al.*, 2013, 2020).

El contenido proteico de *Artemia* varía entre el 47 % y el 51 % en los quistes y la fase de paraguas, y disminuye gradualmente durante el desarrollo posterior. Dado que los quistes (y los nauplios de estadio I) pertenecientes a diferentes especies y cepas de *Artemia* pueden presentar diferencias de tamaño específicas de cada cepa (ver Sección 1.4.1), la cantidad total de proteína contenida en un nauplio individual puede variar (Tabla 27), por ejemplo, las cepas partenogenéticas más grandes contienen más proteína por individuo que las cepas pequeñas o medianas de *A. franciscana* de la bahía de San Francisco o del Gran Lago Salado, respectivamente.

TABLA 27
Contenido de proteínas en nauplios en instar I para diferentes poblaciones eclosionadas en 35 g/L

Población de *Artemia*	Proteína (µg/individual)
Macau (MAC), Brasil	1,12
Vinh Chau (VC), Viet Nam	1,00
Gran Lago Salado (GSL, por sus siglas en ingles), Estados Unidos de América	1,19
Bahía de San Francisco (SFB, por sus siglas en ingles), Estados Unidos de América	0,91
Megalon Embolon (MEG), Grecia	1,56
Swakopmund (SWA), Namibia	1,38

Notas: MAC, VC, GSL y SFB son cepas de *Artemia franciscana*, mientras que MEG y SWA son cepas partenogénicas.

Fuente: Helland, S., Triantaphyllidis, G.V., Fyhn, H.J., Evjen, M.S., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 2000. Modulation of the free amino acid pool and protein content in populations of the brine shrimp *Artemia* spp. *Marine Biology*, 137: 1005–1016. https://link.springer.com/article/10.1007/s002270000409

TABLA 28
Composición del conjunto de aminoácidos libres (pmol/individuo) en quistes decapsulados para diversas poblaciones de *Artemia*

Aminoácido	Población de *Artemia*					
	MAC	VC	GSL	SFB	MEG	SWA
Esencial						
Leucina	1,0	1,5	1,1	1,7	5,4	2,4
Valina	1,1	1,7	1,4	1,6	6,0	2,7
Isoleucina	0,6	1,2	0,8	1,1	3,0	1,9
Lisina	5,8	3,8	2,7	4,2	9,9	7,0
Treonina	1,9	2,4	2,6	2,3	9,6	3,0
Arginina	Trazas	2,1	1,6	1,1	7,3	3,4
Fenilalanina	Trazas	0,5	0,9	1,5	3,8	1,8
Histidina	4,3	2,4	2,0	3,0	14,0	6,5
Tirosina	1,7	1,0	1,5	3,4	4,3	1,9
Metionina	Trazas	Trazas	0,1	Trazas	Trazas	Trazas
No-esencial						
Alanina	18,6	32,6	24,9	28,8	80,7	63,1
Serina	8,4	8,3	8,3	9,2	19,5	11,3
Ácido glutámico	7,6	19,4	5,8	19,9	42,5	23,1
Glicina	7,6	8,4	7,8	14,6	49,7	28,5
Taurina	10,3	18,1	11,5	32,0	194,3	103,6
Prolina	3,2	6,3	5,6	5,7	24,0	7,3
Ácido aspártico	11,0	19,3	5,4	20,8	61,7	20,1
Ácido α -Aminobutírico	Trazas	Trazas	0,1	Trazas	Trazas	0,4
Glutamina	Trazas	1,2	0,8	0,5	0,8	Trazas
Fosfocerína	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Total FAA	**82**	**131**	**85**	**151**	**536**	**288**
% esencial	**20,0**	**13,2**	**17,4**	**13,0**	**14,5**	**13,7**

Nota: FAA = aminoácidos libres, por sus siglas en inglés; GSL = Gran Lago Salado, por sus siglas en inglés, Estados Unidos de América; MAC = Macau, Brasil; MEG = Megalon Embolon, Grecia; SFB = Bahía de San Francisco, por sus siglas en inglés, Estados Unidos de América; SWA = Swakopmund, Namibia; VC = Vinh Chau, Viet Nam.

Fuente: Helland, S., Triantaphyllidis, G.V., Fyhn, H.J., Evjen, M.S., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 2000. Modulation of the free amino acid pool and protein content in populations of the brine shrimp *Artemia* spp. *Marine Biology*, 137: 1005–1016. https://link.springer.com/article/10.1007/s002270000409

La composición total de aminoácidos de las proteínas en *Artemia* parece ser notablemente similar entre las distintas cepas, lo que sugiere que no está determinada por el medio ambiente de la misma manera que los ácidos grasos. Sin embargo, dadas las diferencias de tamaño de los quistes específicas de cada cepa, el contenido total de aminoácidos libres (FAA) de los quistes decapsulados puede variar entre las poblaciones de *Artemia* (Tabla 28). Aunque es difícil definir un patrón general, estas diferencias entre cepas en el contenido de FAA son a veces menores en los nauplios recién nacidos (Tabla 29).

Se ha analizado la relación entre el contenido de proteínas individuales y el contenido de FAA en el desarrollo de nauplios de *Artemia* en *A. franciscana* tipo Vinh Chau (ver Figura 46). A medida que el desarrollo del quiste de *Artemia* avanza hacia la etapa de paraguas y se produce la eclosión, el contenido de FAA individual aumenta aproximadamente tres veces y luego disminuye lentamente hacia el estadio III. En relación con el contenido de proteínas, la reserva de FAA asciende aproximadamente al 1,5 % en los quistes y al 4 % en las etapas tardías de paraguas y nauplius. La tendencia general del contenido de FAA en el nauplio individual de *Artemia* es disminuir después de la eclosión, aunque algunos aminoácidos (como el aspartato y el glutamato) pueden alcanzar su nivel máximo. El análogo del aminoácido taurina parece aumentar y

TABLA 29
Composición del conjunto de aminoácidos libres (pmol/individual) en nauplios en instar I para varias poblaciones de *Artemia*

Aminoácido	Población de *Artemia*					
	MAC	VC	GSL	SFB	MEG	SWA
Esencial						
Leucina	3,6	3,7	4,0	3,1	6,9	4,7
Valina	5,2	4,2	5,3	4,4	11,2	5,4
Isoleucina	2,8	2,3	2,5	2,5	4,0	2,5
Lisina	11,9	14,2	15,3	9,5	15,4	12,5
Treonina	17,3	12,5	18,6	12,0	30,7	18,0
Arginina	20,5	12,6	20,2	15,5	33,6	21,4
Fenilalanina	2,7	2,2	2,7	2,4	3,7	3,2
Histidina	13,6	18,2	15,3	13,3	18,6	13,6
Tirosina	10,6	5,3	12,8	6,8	11,3	11,0
Metionina	Trazas	Trazas	0,4	1,3	Trazas	Trazas
No-esencial						
Alanina	22,1	19,6	25,8	20,9	50,0	48,6
Serina	37,4	32,7	39,2	26,7	49,2	49,8
Ácido glutámico	30,3	23,8	39,2	26,6	66,4	61,9
Glicina	36,5	34,7	48,8	32,6	116,2	123,7
Taurina	48,0	29,5	57,9	41,5	149,0	172,3
Prolina	15,5	14,9	79,1	21,0	70,1	27,7
Ácido aspártico	29,9	25,8	31,8	27,2	54,4	33,4
Ácido α -Aminobutírico	0,7	Trazas	1,0	Trazas	1,1	Trazas
Glutamina	3,2	28,8	8,1	2,3	Trazas	1,1
Fosfoserina	Trazas	Trazas	10,4	5,2	30,3	22,6
Total FAA	**312**	**312**	**431**	**306**	**722**	**634**
% esencial	**28,2**	**26,0**	**22,5**	**26,5**	**18,7**	**14,7**

Nota: aminoácidos libres, por sus siglas en inglés; GSL = Gran Lago Salado, por sus siglas en inglés, Estados Unidos de América; MAC = Macau, Brasil; MEG = Megalon Embolon, Grecia; SFB = Bahía de San Francisco, por sus siglas en ingles, Estados Unidos de América; SWA = Swakopmund, Namibia; VC = Vinh Chau, Viet Nam.

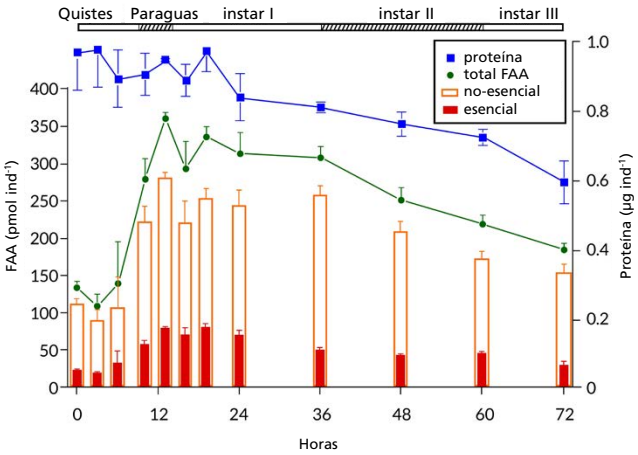
Fuente: Helland, S., Triantaphyllidis, G.V., Fyhn, H.J., Evjen, M.S., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 2000. Modulation of the free amino acid pool and protein content in populations of the brine shrimp *Artemia* spp. *Marine Biology*, 137: 1005–1016. https://link.springer.com/article/10.1007/s002270000409

acumularse en el desarrollo de *Artemia* y representa aproximadamente el 50 % del FAA total a las 72 horas después de la eclosión. En general, los niveles de aminoácidos esenciales en *Artemia* no se consideran un problema importante, dado su valor nutricional.

3.2.3.3. Lípidos y ácidos grasos

A finales de la década de 1970 y principios de la de 1980, cuando muchos criaderos de peces y camarones aumentaron su producción, se identificó una importante característica nutricional de los nauplios de *Artemia* y surgieron problemas inesperados al cambiar de una fuente de *Artemia* a otra. Investigadores estadounidenses, europeos y japoneses estudiaron estos problemas y pronto

FIGURA 46
Contenido de aminoácidos libres (FAA, por sus siglas en ingles) y proteína durante la eclosión y desarrollo temprano de *Artemia franciscana* de Vinh Chau, Viet Nam 35 g/L



Fuente: Helland, S., Triantaphyllidis, G.V., Fyhn, H.J., Evjen, M.S., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 2000. Modulation of the free amino acid pool and protein content in populations of the brine shrimp *Artemia* spp. *Marine Biology*, 137: 1005–1016. https://link.springer.com/article/10.1007/s002270000409

confirmaron variaciones en el valor nutricional al utilizar diferentes fuentes geográficas (cepas) de *Artemia* para especies de peces y camarones. La situación se volvió aún más crítica cuando se obtuvieron diferencias muy significativas en los rendimientos de producción con lotes distintos de la misma cepa de *Artemia*.

Estudios realizados en Japón y el estudio multidisciplinar sobre *Artemia* revelaron que la concentración del ácido graso esencial 20:5ω3 ácido eicosapentaenoico (EPA, por sus siglas en inglés) en nauplios de *Artemia* era lo que determinaba el valor nutricional para las larvas de diversos peces y crustáceos marinos. Se obtuvieron diversos resultados con diferentes lotes de la misma fuente geográfica de *Artemia*, que contenían diferentes cantidades de EPA y, en consecuencia, dieron lugar a variaciones en el crecimiento y la supervivencia del organismo de ensayo, el camarón *Mysidopsis bahia*, alimentado con estas *Artemia*. Los niveles del ácido graso esencial EPA en *Artemia* varían sustancialmente de una cepa a otra e incluso de un lote a otro (Tabla 30; ver también las Secciones 1.4.6 y 3.1.7), siendo el factor causante las fluctuaciones en la composición bioquímica de los productores primarios (microalgas) disponibles para la población adulta reproductora de *Artemia*. Los niveles de éste y otros ácidos grasos ω3 altamente insaturados (HUFAs, por sus siglas en ingles), tales como el 22:6ω3 (ácido docosahexaenoico, DHA, por sus siglas en ingles), en *Artemia* afectan a diversos aspectos del rendimiento de las larvas de marisco (crustáceos), incluyendo la tasa de supervivencia, el crecimiento, la inflación de la vejiga natatoria, la supervivencia tras el estrés de la manipulación, la pigmentación (de los peces planos) y el desarrollo en general, tal y como se ha observado en numerosas especies de peces y crustáceos. Las provisiones comerciales de quistes de *Artemia* con altos niveles de EPA son limitadas y, en consecuencia, estos quistes son más caros. Por lo tanto, el uso de quistes con alto contenido en EPA debe restringirse al periodo de alimentación en el que es necesario alimentar a nauplios recién nacidos de pequeño tamaño.

Los niveles de las diferentes categorías de lípidos, que en conjunto conforman el perfil lipídico (p. ej., lisofosfolípidos, fosfolípidos, pigmentos, colesterol y otros lípidos neutros), y cómo estos evolucionan a lo largo de las diferentes etapas de desarrollo de *Artemia* (quistes, estadio I, estadio II) se han estudiado en detalle en *A. franciscana* del Gran Lago Salado utilizando cromatografía en capa fina (Tabla 31). El fosfolípido fosfatidilcolina (PC, por sus siglas en ingles), por ejemplo, es relativamente abundante en los quistes (alrededor del 22 % del total de lípidos), pero disminuye en las dos etapas naupliales sucesivas (hasta alrededor del 13 %). La fosfatidiletanolamina (PE, por sus siglas en ingles) y el fosfatidilglicerol (PG, por sus siglas en ingles) juntos constituyen alrededor del 9-10 % a lo largo de estas tres etapas; además, el contenido de fosfatidilserina (PS, por sus siglas en ingles) se mantiene estable, aunque a un nivel mucho más bajo (≤1 %). Por otro lado, algunos lisofosfolípidos muestran un aumento desde los quistes hasta la fase II.

En general, la abundancia de lípidos neutros en los quistes (80 % del total de lípidos, siendo el resto lípidos polares) y en los nauplios (60 % del total de lípidos) indica una

TABLA 30
Ejemplos de variabilidad intra-cepa del contenido de 20:5ω3 (EPA) en diferentes poblaciones de *Artemia*

Población de *Artemia*	20:5ω3 rango (mg/g peso seco)
Vinh Chau, Viet Nam	14.0–21.8
Gran Lago Salado, Estados Unidos de América	0.6–2.9
Bolshoe Yarovoe, Federación de Rusia	0.7–4.9
Lago Aibi, China	2.9–14.5

Nota: Los valores representan un rango (mg/g peso seco) y están basados en varias muestras al azar analizadas en el Laboratorio de Acuicultura del Centro de Referencia de *Artemia*, Universidad de Gante, Bélgica, por ende no necesariamente representan el rango máximo que puede ser encontrado en las poblaciones en cuestión.

Fuente: Elaboración de los autores (LAARC).

TABLA 31
Clases de lípidos polares y neutros en quistes, nauplios de estadio I y metanauplios de estadio II de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado, Estados Unidos de América

Clases de lípidos polares y neutros identificados en quistes, estadio I y estadio II			
Clase de lípido polar	**Quistes**	**instar I % lípidos totales**	**instar II**
LPC	0,9 ± 0,6	1,8 ± 0,4	2,6 ± 0,5
PI + SM + LPE	4,6 ± 1,5	4,0 ± 1,0	4,3 ± 1,1
PS	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,2	1,0 ± 0,3
PC	21,8 ± 5,6	12,9 ± 2,2	12,7 ± 1,3
PE + PG	9,7 ± 2,8	8,6 ± 0,9	9,3 ± 1,3
CL	1,8 ± 0,7	3,9 ± 0,8	4,1 ± 0,9
Neutral lipid classes	**% lípidos neutros totales**		
Ésteres de colesterol	21,3 ± 7,2	20,3 ± 8,1	20,7 ± 11,1
TAG	67,0 ± 3,5	49,0 ± 3,5	47,3 ± 6,6
FFA	3,7 ± 0,6	20,0 ± 1,0	20,3 ± 1,1
Chol	5,7 ± 2,9	4,0 ± 1,7	4,7 ± 2,1
DAG	2,0 ± 1,0	6,3 ± 1,5	6,3 ± 1,5

Nota: Chol = colesterol; Chol–esters = ésteres de colesterol; CL = cardiolipina; DAG = diacylglycerol; FFA = ácidos grasos libres; LPC = lisofosfatidilcolina; LPE = lisofosfatidiletanolamina; PC = fosfatidilcolina; PE = fosfatidiletanolamina; PG = fosfatidilgliceroll; PI = fosfatidilinositol; PS = fosfatidilserina; SM = esfingomielina; TAG = triacilglicerol.

Fuente: Lopalco, P., Lobasso, S., Alfama Lopes Dos Santos, R. M., Van Stappen, G. y Corcelli, A., 2019, Lipid profile changes during the development of *Artemia franciscana*, from cysts to the first two naupliar stages, Frontiers in Physiology, 9, https://doi,org/10,3389/fphys,2018,01872

alta disponibilidad de energía en forma de lípidos de almacenamiento en estas etapas de desarrollo de *Artemia*. En los quistes, estos lípidos neutros constituyen el 67 % de los triacilgliceroles, que disminuyen hasta el 47-4 9 % a lo largo del desarrollo hasta las etapas instar I e instar II. Además, mientras que los niveles de ácidos grasos libres (AGL, por sus siglas en ingles) y diacilglicerol (DAG, por sus siglas en ingles) son muy bajos en los quistes (3,7 % y 2,0 % del total de lípidos neutros, respectivamente), sus niveles aumentan hasta el 20 % AGL y el 6 % DAG en ambas etapas naupliales. Por último, los niveles de colesterol y ésteres de colesterol no cambian mucho durante el desarrollo de *Artemia*.

A raíz de estas observaciones, se han desarrollado técnicas adecuadas para mejorar el perfil lipídico de las cepas de *Artemia* deficientes en HUFA (ver Sección 3.1.7). Se ha logrado aumentar con éxito los HUFA junto con los lípidos polares en metanauplios de *Artemia* enriquecidos utilizando una combinación de una emulsión comercial rica en HUFA a base de lípidos neutros y lecitina de soya, o fosfolípidos ricos en HUFA. Los fosfolípidos son componentes estructurales de las bio membranas y, por lo tanto, muy necesarios para las larvas en rápido crecimiento. Los fosfolípidos también intervienen en la digestión, absorción y transporte de lípidos desde el intestino al resto del cuerpo. Hay varios indicios de que las larvas son incapaces de sintetizar fosfolípidos de manera eficiente a un ritmo lo suficientemente rápido como para cubrir su elevada demanda; por lo tanto, los fosfolípidos deben ser aportados por la dieta.

3.2.3.4. Metabolismo del glicerol y de los carbohidratos

El glicerol está presente en los quistes secos antes de la incubación para la eclosión en una proporción de aproximadamente el 5% del peso seco del quiste (Clegg, 1962). Este contenido de glicerol en el embrión aumenta progresivamente durante la formación del nauplio, al tiempo que también aumentan los niveles de glucógeno (ver Tabla 32). La fuente de este glucógeno es la trehalosa, un disacárido no reductor de la glucosa, que está presente en los quistes en concentraciones relativamente altas (hasta un 15-17 % del peso seco) y que es el principal sustrato de almacenamiento para el metabolismo

TABLA 32
Contenido de glicerol y glicógeno en los quistes (divididos entre embriones y cáscaras) y nauplios recién eclosionados de *Artemia* (bajo la inferencia de que el peso seco del embrión es el 78 % del peso del quiste completo)

Estadio de Desarrollo	Glicerol (% del peso seco)	Glicogeno (% del peso seco)
Quiste entero (cascara + embrión)	4,91	1,13
Cáscara	0,19	0,04
Embrión	6,30	1,86
Nauplio recién eclosionado	4,85	15,1

Fuente: Clegg, J.S. 1962. Free glycerol in dormant cysts of the brine shrimp *Artemia salina*, and its disappearance during development. The Biological Bulletin, 123: 295–301. https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.2307/1539275

energético y la síntesis de carbohidratos en los quistes hidratados. Como se explica con más detalle en la Sección 1.5.2, el aumento de los niveles de glicerol da lugar a un aumento de la presión osmótica dentro del quiste, lo que finalmente conduce a la fase de ruptura, en función de la salinidad del medio de eclosión: cuanto menor sea la salinidad, antes se producirá la ruptura.

3.2.3.5. Ceniza
Los niveles de ciertos minerales en *Artemia* se muestran en la Tabla 24. Los requisitos minerales de los organismos marinos son poco conocidos, y se acepta generalmente que pueden satisfacerse mediante la asimilación de agua de mar. La principal preocupación con respecto a la composición mineral de *Artemia* es si cumple los requisitos de las larvas de peces o crustáceos criadas en agua dulce. Los niveles de oligoelementos, con la excepción del yodo y el zinc, son adecuados en *Artemia*. La concentración de yodo puede aumentarse fácilmente disolviendo yoduro de potasio en el agua utilizada para el enriquecimiento. Alternativamente, el yodo puede aportarse incorporándolo en la propia emulsión de enriquecimiento. Se puede aplicar una estrategia similar para aumentar el contenido de zinc utilizando sales de zinc.

3.2.3.6. Vitaminas
Se han analizado los niveles de vitaminas en nauplios recién eclosionados de *Artemia franciscana* del Gran Lago Salado (Tabla 24). Según los requisitos de los peces juveniles y adultos como referencia, la mayoría de las vitaminas hidrosolubles están presentes en cantidades adecuadas en estas *Artemia* no enriquecidas. Las excepciones son la tiamina y la cobalamina (Tabla 24). De las vitaminas liposolubles, la vitamina A y la vitamina E están bien descritas, junto con los carotenoides, que son las formas de provitamina A en las presas vivas. Las presas vivas no enriquecidas normalmente no contienen vitamina A; sin embargo, *Artemia* contiene grandes cantidades de cantaxantina. En los quistes de *Artemia* está presente una forma estable de la vitamina C hidrosoluble (ácido ascórbico 2-sulfato). Este derivado se hidroliza para liberar ácido ascórbico durante la eclosión; se encontraron niveles de ácido ascórbico en el rango de 310-520 µg/g de peso seco en *Artemia* recién eclosionada de diferentes cepas (Merchie, Lavens y Sorgeloos, 1997). Por lo que se sabe, no hay datos sobre los niveles típicos de vitamina D y vitamina K en *Artemia* no enriquecida, pero estos niveles pueden manipularse utilizando emulsiones enriquecidas con vitaminas

3.2.3.7. Enzimas
La presencia de varias enzimas proteolíticas en los embriones y nauplios de *Artemia* en desarrollo ha llevado a suponer que estas enzimas exógenas desempeñan un papel importante en la descomposición de los nauplios de *Artemia* en el tracto digestivo de las larvas depredadoras. Esto se ha convertido en una pregunta importante, teniendo en cuenta los niveles relativamente bajos de enzimas digestivas en muchas larvas que se

TABLA 33
Actividad enzimática (mmoles/100 µg peso seco en 5 minutos) determinada en poblaciones partenogénicas de *Artemia* griega (salinas de Milos, Polychnitos y Messolongi) en diferentes estadios de desarrollo

Enzima (mmoles/100 µg peso seco en los siguientes 5 min)	Quistes decapsulados	Instar I	Instar II	Instar III
Fosfatasa alcalina	0,57	27,19	66,09	68,99
Tripsina	0,00	0,00	0,00	3,12
Leucin aminopeptidasa	12,84	101,77	140,90	92,45
Valin aminopeptidasa	2,06	11,74	24,88	16,56
Cistin aminopeptidasa	0,38	9,07	21,55	13,83
Lipasa (C14)	0,20	0,00	4,63	3,12
Esterasa lipasa (C8)	1,69	12,85	18,50	15,81
Esterasa (C4)	2,07	24,39	45,47	32,43
Fosfatasa ácida	12,43	22,19	28,36	19,76
β-Galactosidasa	10,95	77,27	133,62	79,59
β-Glucosidasa	1,89	12,88	21,78	14,71
N-acetyl-β-glucosaminidasa	11,63	19,54	35,17	25,62
α-Fucosidasa	5,24	15,63	26,42	15,71
Naftol-AS-BI-fosfohidrolasa	0,95	5,16	14,99	8,25

Fuente: Moraiti-Ioannidou, M., Castritsi-Catharios, J., Miliou, H. y Kotzamanis, Y.P. 2007. Fatty acid composition and biometry of five Greek *Artemia* populations suitable for aquaculture purposes. *Aquaculture Research*, 38(15): 1664–1672. https://doi.org/10.1111/J.1365-2109.2007.01835.X

alimentan por primera vez, junto con la limitada idoneidad de los alimentos artificiales frente a las presas vivas. Se ha demostrado que los embriones y larvas enquistados de *A. franciscana* contienen una proteasa de cisteína que representa más del 90 % de la actividad proteasa en estos organismos. Se cree que esta proteasa de cisteína en los embriones y larvas de *Artemia* funciona en la utilización de la yema como enzima de eclosión en la apólisis durante el ciclo de muda y como enzima digestiva cuando las larvas nadadoras comienzan a alimentarse. Además, se encuentran grandes cantidades de dos proteasas de serina en el medio de incubación de eclosión durante las dos primeras etapas larvarias de *A. franciscana*, junto con N acetil-β-glucosaminidasa, una enzima degradadora de quitina bien descrita. Se descubrió que estas proteasas eran casi idénticas a dos proteasas de serina sintetizadas durante el desarrollo larvario temprano (Warner *et al*., 1995; Warner y Matheson, 1998) en *Artemia* y se cree que son enzimas digestivas. La aparición o secreción de estas proteasas de serina en el medio de incubación durante el desarrollo larvario es necesaria para la apólisis y la ecdisis y parece depender de la actividad de la proteasa de cisteína en la capa epidérmica bajo la cutícula. Se ha realizado un estudio sistemático de los niveles de diversas enzimas en quistes decapsulados y en estadios sucesivos de la metamorfosis para varias cepas partenogenéticas de *Artemia* procedentes de salinas costeras de Grecia (Tabla 33).

3.2.3.8. Métodos analíticos

La composición nutricional de *Artemia* puede medirse mediante métodos rutinarios certificados por la ISO (Organización Internacional de Normalización, por sus siglas en inglés). La Tabla 34 presenta una visión general de los métodos bioquímicos más comunes con los principios analíticos utilizados, junto con las referencias bibliográficas relacionadas.

TABLA 34
Métodos analíticos para diversos nutrientes

Analito	Método analítico – principio	Referencia
Materia seca	Método gravimétrico (103 °C – 4 h)	ISO 6496:2001
Proteína*	Análisis Kjeldahl	García–Ortega *et al*. (1998)
	Analizador LECO N	Hamre y Mangor–Jensen (2006)
Aminoácidos totales	Hidrólisis, derivatización y análisis HPLC	Espe *et al.* (2006)
Aminoácidos libres	HPLC y derivatización post-columna	Srivastava *et al.* (2006)
Lípidos totales	Folch	Folch *et al.* (1957)
Ácidos grados	Extracción por Transmetilación y GC/FID	Lepage y Roy (1984)
Clases de lípidos	HPTLC	Jordal *et al.* (2007)
Carbohidratos totales	Reacción con ácido Fenol-sulfúrico	García–Ortega *et al.* (1998)
Glicógeno	Detección por Hidrolisis y detección espectrometrica	Hemre *et al.* (1989)
Digestibilidad in vitro	Método modificado de Babinszky *et al*. (1990)	García–Ortega *et al.* (1998)
Tiamina = vitamina B1	HPLC	CEN (2003a)
Riboflavina = vitamina B2	HPLC	CEN (2003a)
Niacina = vitamina B3	Microbiológico	Mæland *et al*. (2000)
Ácido fólico = vitamina B9	Microbiológico	Mæland *et al*. (2000)
[Sum]Vitamina B6	HPLC	CEN (2005)
Vitamina C	HPLC	Maeland y Waagbø (1998)
[Sum]Vitamina A	HPLC	CEN (2000a)
[Sum]Vitamina D	HPLC	CEN (1999)
[Sum]Vitamina E	HPLC	CEN (2000b)
[Sum]Vitamina K	HPLC	CEN (2003b)
Microminerales	ICP–MS	Julshamn, Dahl y Eckhoff (2001)
Macrominerales	ICP–MS	Liaset, Julshamn y Espe (2003)
Yodo	ICP–MS	Julshamn, Dahl y Eckhoff (2001)
Proteasa total	Método modificado de caseína, Walter (1984) en una muestra homogenizada y sonicada	García–Ortega *et al.* (1998)
Actividad de tripsina	Método modificado de Hofer y Köck y Bergmeyer	García–Ortega *et al*. (1998)

* La proteína es calculada como N × 6.25 (factor Jones general); para nauplios en instar I y II se debe usar N × 4.7; para *Artemia* grande N × 5.3.

Nota: GC/FID = cromatografía de Gases con Detector de Ionización de Llama; HPLC = cromatografía Líquida de Alta Eficiencia; HPTLC = cromatografía fina de alta resolución; ICP–MS = espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente

Fuente: Hamre, K., Erstad, B., de Kok, J., Norberg, B. y Harboe, T. 2020. Change in nutrient composition of *Artemia* grown for 3–4 days and effects of feeding on-grown *Artemia* on performance of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) larvae. Aquaculture Nutrition, 26: 1542–1554. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.13101

3.2.4. Aspectos microbiológicos del proceso de eclosión (por *Peter De Schryver*)

3.2.4.1. Introducción

Las bacterias son, en gran medida, el tipo de microorganismo más importante (y generalmente el único) bajo estudio cuando se analiza el proceso de eclosión. La calidad bacteriana de los nauplios de *Artemia* alimentados es un factor importante para el éxito del cultivo de larvas de peces y camarones. Por lo tanto, la presencia y el crecimiento de bacterias durante el proceso de eclosión de *Artemia* deben ser un punto de atención constante. Métodos adecuados de análisis para evaluar las poblaciones bacterianas durante y después de la eclosión, tanto en el agua de eclosión como en los nauplios, son necesarias para este fin.

Existe una gran variedad de tecnologías que pueden utilizarse para el análisis bacteriano de muestras, cada una con sus propias características, ventajas y desventajas. En la siguiente sección se presentan brevemente las tecnologías más relevantes que existen actualmente para estudiar la composición bacteriana del agua de eclosión y de los nauplios de *Artemia*.

LÁMINA 59
Placa TCBS



© LAARC

3.2.4.2. Cultivo en agar

El cultivo en agar es un método basado en el cultivo. Se coloca una muestra del agua de eclosión o de los nauplios de *Artemia* en una placa de agar rica en nutrientes, lo que permite que las bacterias de la muestra crezcan en la placa. A continuación, se cuenta el número de colonias que han crecido y se puede estimar el número de bacterias en la muestra analizada, que luego se puede recalcular al número de "unidades formadoras de colonias (UFC)/ml de agua de eclosión" o "unidades formadoras de colonias (UFC)/nauplios".

Además de los medios de agar no selectivos, que permiten el crecimiento de una amplia gama de tipos de bacterias, también se pueden utilizar composiciones selectivas de agar. El objetivo es permitir que crezcan grupos bacterianos específicos de la muestra para obtener información sobre la presencia y el número de grupos bacterianos de interés. En el contexto de la eclosión de *Artemia*, el tipo de agar selectivo más utilizado es el agar Tiosulfato-Citrato-Sales Biliares-Sacarosa (TCBS, por sus siglas en inglés), con el fin de estimar el número de *Vibrio* presentes en la muestra (Lámina 59).

El cultivo en agar se ha utilizado durante décadas en la investigación microbiológica y la vigilancia medioambiental, incluyendo la industria acuícola. Su uso está muy extendido, ya que es barato, relativamente rápido y fácil de ejecutar. La principal desventaja del método es que los resultados a menudo se malinterpretan. En primer lugar, solo el 1 % de las poblaciones bacterianas de una muestra ambiental puede crecer en una placa de agar. El 99 % restante se considera "incultivable". Esto se conoce como la "gran anomalía del recuento en placa". En la práctica, esto significa que el número de bacterias determinado por el recuento en placa se subestima, en promedio, unas 100 veces. Una segunda razón para la mala interpretación es que los llamados medios selectivos a menudo no son completamente selectivos, lo que significa que las poblaciones bacterianas de grupos no objetivo pueden crecer en el medio selectivo, o que no todas las poblaciones de un grupo objetivo pueden crecer en el medio selectivo. Este es, por ejemplo, el caso del agar TCBS. Por lo tanto, los resultados de los medios selectivos deben utilizarse como una estimación para el grupo o grupos de bacterias de interés. Si se tienen en cuenta ambas desventajas al evaluar los resultados, el método puede resultar muy valioso. El cultivo en agar es actualmente el método más utilizado para evaluar la calidad bacteriana del agua de eclosión de *Artemia* y de los nauplios de *Artemia*, principalmente por su practicidad y la posibilidad de ejecutarlo fácilmente in situ. Sin embargo, la facilidad de ejecución del método lleva rápidamente a la sensación de que "cualquiera puede hacerlo", lo que a menudo da lugar a una subestimación de la necesidad de trabajar con precisión y mucho cuidado. El muestreo y el almacenamiento inadecuados de las muestras, las diluciones inexactas durante la preparación de las

muestras y la contaminación por bacterias no procedentes de la muestra, entre otras, puede dar lugar a resultados equivocados. Por lo tanto, como prerrequisito es usar un buen protocolo el mismo que debe ser seguido cuidadosamente.

En el Anexo 11 se incluye un protocolo para determinar la carga bacteriana en el agua de eclosión de *Artemia* y sus nauplios.

3.2.4.3. Secuenciación de amplicones del gen ARNr 16S

La secuenciación de amplicones es un método de análisis de comunidades bacterianas basado en la detección molecular y la identificación de todas las bacterias presentes en una muestra. Dado que se basa en la detección de los genes de las bacterias presentes en la muestra, este método no requiere cultivo. El gen del ácido ribonucleico ribosómico (ARN) 16S es el gen marcador más utilizado, ya que se encuentra en todos los taxones bacterianos y contiene tanto regiones conservadas como regiones variables. Las regiones conservadas garantizan que todas las bacterias de la muestra se incluyan en el análisis, mientras que las regiones variables permiten diferenciar filogenéticamente las bacterias detectadas. Cada bacteria detectada en la muestra se identifica durante el análisis, de modo que se obtiene una lista de nombres taxonómicos, también denominados unidades taxonómicas operativas (OTU, por sus siglas en inglés).

En resumen, durante la secuenciación del amplicón del gene rRNA 16S, primero se extrae el gen 16S rRNA bacteriano (= ADN) de todas las bacterias de la muestra. A continuación, se amplifica (= se copia) una región seleccionada (o fragmento) de todos los genes 16S rRNA extraídos de la muestra en un proceso denominado reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Como resultado, se obtienen muchas copias de fragmentos para cada bacteria, y cuanto mayor sea el número de una bacteria específica en la muestra original, mayor será el número de copias de fragmentos. A continuación, se determina la secuencia genética de cada copia en un proceso denominado secuenciación. El resultado es un enorme conjunto de secuencias de fragmentos conocidas (= datos de lectura sin procesar). Durante la etapa de agrupación, se determinan y cuentan las copias idénticas, de modo que se conoce el número de secuencias de fragmentos diferentes y la abundancia de cada una de ellas. Por último, cada secuencia diferente se compara con una base de datos de referencia para obtener la identidad taxonómica (o la OTU) asociada a esas secuencias. El resultado es una lista de las diferentes OTU detectadas en la muestra, cada una con su frecuencia de detección, lo que proporciona información sobre la composición de la comunidad microbiana de la muestra (Figura 47).

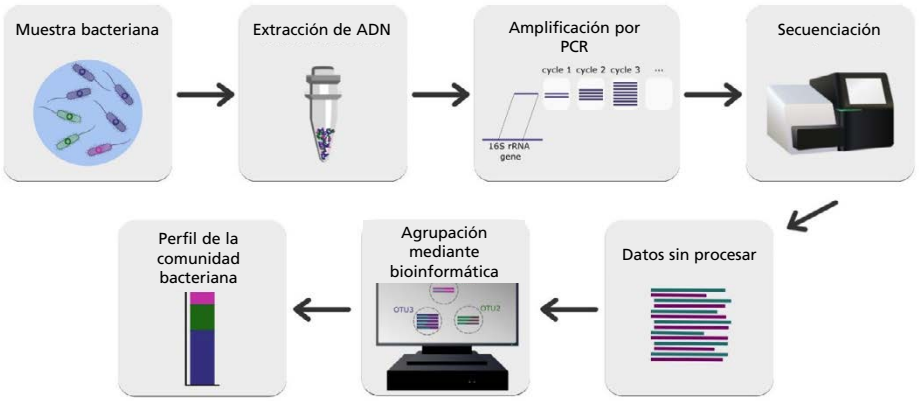
Aunque el método se ha generalizado en la investigación microbiológica y la vigilancia medioambiental, su ejecución no es sencilla ni rápida y no es tan barata como el cultivo en agar. Por lo tanto, en aplicaciones acuícolas no se utiliza a menudo para análisis rutinarios, sino principalmente en un contexto de investigación. Dicho esto, las posibilidades de realizar este tipo de análisis son muy amplias, ya que muchos institutos de investigación académica y empresas comerciales ofrecen este servicio.

La principal desventaja del método es que no se obtiene una cuantificación absoluta de las OTU detectadas en la muestra. Como resultado de la etapa de amplificación, solo se obtienen abundancias relativas, es decir, el porcentaje de la comunidad bacteriana total que representa la OTU. Por lo tanto, se desconoce el número total de bacterias de la muestra y el número de cada tipo de bacteria.

Lo ideal sería poder convertir la abundancia genómica específica de cada taxón en un número más tangible de células. Sin embargo, esto requiere información específica sobre la ploidía, es decir, el número de copias del genoma por célula. Históricamente, se ha considerado que los procariotas son monoploides (una copia del genoma por célula). Sin embargo, varios estudios recientes han encontrado arqueas y bacterias oligoploides (<10 copias del genoma por célula) y poliploides (>10 copias del genoma por célula), y parece que los procariotas monoploides son más la excepción que la regla. Es difícil corregir la ploidía. Por consiguiente, la conversión precisa entre la abundancia

FIGURA 47
Ilustración del diagrama de flujo para investigar la composición y estructura de una comunidad bacteriana

Se extrae el ADN de una muestra, tras lo cual se amplifica mediante PCR y se secuencia una secuencia génica marcadora, por ejemplo, (parte del) gen 16S rRNA. Los datos sin procesar se tratan mediante un proceso bioinformático para: (1) eliminar los datos erróneos y de baja calidad; y (2) construir unidades ecológicas discretas que comprenden la diversidad biológica (por ejemplo, unidades taxonómicas operativas). La tabla de contingencia resultante proporciona información sobre la comunidad bacteriana



Fuentes:
Props, R. 2018. Microbial population and community dynamics in natural and managed freshwater systems: From methodology development to mechanistic insights. Ghent University, Belgium. PhD dissertation. 282 pp. https://biblio.ugent.be/publication/8576485

Heyse, J. 2021. *Identifying drivers of microbial dynamics in aquaculture: from single–cell technology to metagenomics*. Ghent University, Ghent, Belgium PhD dissertation. 206 pp. https://lib.ugent.be/catalog/pug01:8734215

genómica y el número de células, así como la biomasa, sigue siendo un reto.

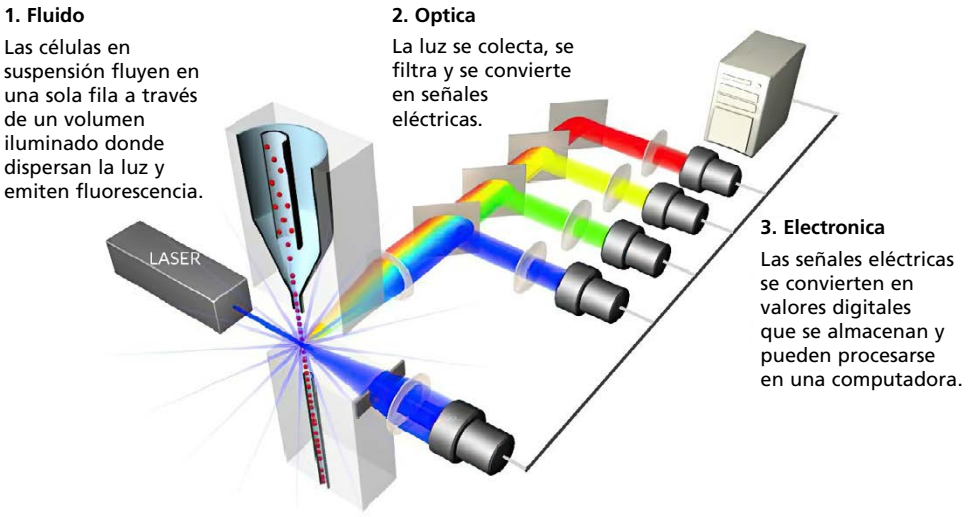
3.2.4.4. Citometría de flujo

La citometría de flujo es una técnica de análisis de comunidades bacterianas que utiliza la detección óptica de bacterias individuales en una muestra, pero que no proporciona información sobre la identidad de las bacterias. La detección óptica de cada célula bacteriana en la muestra se logra marcándolas con fluorescencia y luego pasándolas una por una en una corriente de fluido dirigida a través de un rayo láser (Figura 48). Cuando el rayo láser impacta en una célula, produce tanto una dispersión de luz visible como fluorescencia, que se detectan para contar la célula. Como esto se hace con todas las bacterias de la muestra, se cuenta el número total de bacterias de la muestra. La tecnología permite detectar miles de células por segundo, por lo que se pueden obtener los resultados de una muestra en cuestión de minutos.

Además del simple recuento, las señales de dispersión de luz y fluorescencia también se convierten en señales eléctricas. Dado que estas señales difieren en función de los rasgos fenotípicos (estructura física y química) de las células detectadas, la citometría de flujo permite detectar las diferentes poblaciones fenotípicas de bacterias y su cantidad y, como resultado, la técnica también puede utilizarse para perfilar comunidades microbianas.

Aunque la citometría de flujo es una tecnología muy conocida en la investigación microbiológica y la vigilancia medioambiental, sin embargo, solo desde hace relativamente poco tiempo se utiliza para el perfilado de comunidades microbianas. Sin duda, en el contexto de la acuicultura, la tecnología se encuentra todavía en una fase de uso muy inicial, y solo unos pocos proveedores pueden ofrecer la citometría de flujo como servicio. Por lo tanto, aunque sin duda la tecnología muestra un gran potencial, una desventaja importante es el hecho de que actualmente aún no se pueden identificar las bacterias dentro de la comunidad. En algunos casos, esto constituye claramente una limitación.

FIGURA 48
Diagrama esquemático de la citometría de flujo



Fuente: Ilustraciones por Thermo Fisher Scientific - Life Sciences Solutions.

REFERENCIAS

Babinszky, L. van der Meer, J.M., Boer, H. y den Hartog, L.A. 1990. An in vitro method for prediction of the digestible crude protein content in pig feeds. *J. Sci. Food Agric*., 50: 173–178.

Bardocz, T., Kovacs, E., Radics, F. y Sandor, Zs. 1999. Experiments for the improved use of decapsulated *Artemia* cysts in intensive culture of African catfish larvae. *Journal of Fish Biology*, 55(sA): 227–232. https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.1999.TB01058.X

Bell, J.G. y Sargent, J.R. 2003. Arachidonic acid in aquaculture feeds: Current status and future opportunities. *Aquaculture*, 218(1–4): 491–499. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00370-8

CEN. 1999. Comité Européen de Normalisation. *Foodstuffs – Determination of vitamin D by high performance liquid chromatography - Measurement of cholecalciferol (D3) and ergocalciferol (D2)*. EN12821.

CEN. 2000a. Comité Européen de Normalisation. *Foodstuffs - Determination of vitamin A by high performance liquid chromatography - Part 1: Measurement of all-E-retinol and 13-Z-retinol*. EN 12823-1:2014

CEN. 2000b. Comité Européen de Normalisation. *Foodstuffs - Determination of vitamin E by high performance liquid chromatography - Measurement of* α-, β-, γ- *and* δ-*tocopherol*. EN 12822:2014

CEN. 2003a. Comité Européen de Normalisation. *Foodstuffs – Determination of Vitamin B1 by HPLC*. EN 14122.

CEN. 2003b. Comité Européen de Normalisation. *Foodstuffs - Determination of Vitamin K1 by HPLC*. EN14148.

CEN. 2005. Comité Européen de Normalisation. *Foodstuffs – Determination of vitamin B6 (including its glycosylated forms) by HPLC*. EN 14663.

Clegg, J.S. 1962. Free glycerol in dormant cysts of the brine shrimp *Artemia salina*, and its disappearance during development. *The Biological Bulletin*, 123: 295–301. https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.2307/1539275

Clegg, J.S., Zettlemoyer, A.C. y Hsing, H.H. 1978. On the residual water content of dried but viable cells. *Experientia*, 34: 734–735. https://doi.org/10.1007/BF01947290

Clegg, J.S. y Conte, F. 1980. A review of the cellular and developmental biology of *Artemia*. En: G.P. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels & E. Jaspers, eds. *The brine shrimp, Artemia*, *Vol. 2*, pp. 11–54. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Clegg, J.S. 2001. Cryptobiosis – a peculiar state of biological organization. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 128(4): 613–624. https://doi.org/10.1016/S1096-4959(01)00300-1

Clegg, J.S. y Trotman, C.N.A. 2002. Physiological and biochemical aspects of *Artemia* ecology. En: T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg & P. Sorgeloos, eds. *Artemia*: *Basic and Applied Biology*, pp.129–170. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Clegg, J.S. 2005. Desiccation tolerance in encysted embryos of the animal extremophile, *Artemia* 1. *Integrative and Comparative Biology*, 45(5): 715–724. https://doi.org/10.1093/icb/45.5.715

Cobo, M. de L., Wouters, R., Wille, M., Sonnenholzner, S. y Sorgeloos, P. 2015. Evaluation of frozen umbrella-stage *Artemia* as first animal live food for *Litopenaeus vannamei* (Boone) larvae. *Aquaculture Research*, 46: 2166–2173. https://doi.org/10.1111/are.12372

De Los Santos, C. Jr, Sorgeloos, P., Lavina, E. y Bernardino, A. 1980. Successful inoculation of *Artemia* and production of cysts in man-made salterns in the Philippines: En: G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels & E. Jaspers, eds. The brine shrimp *Artemia*, pp. 159–163. *Vol. 3. Ecology, culturing, use in aquaculture*. Wetteren, Belgium, Universa Press. 456 pp. http://hdl.handle.net/10862/230

Hai, T.N., Phuong, N.T., Hoa, N.V, Viet, L.Q., Khanh, L.V., Chau Tai Tao, C.T., Anh, N.T.N., Thao, N.T.T. y Sorgeloos, P. 2020. Promoting Coastal Aquaculture for Adaptation to Climate Change and Saltwater Intrusion in the Mekong Delta, Vietnam. *World Aquaculture*, 19–26

Espe, M., Lemme, A., Petri, A. y El-Mowafi, A. 2006. Can Atlantic salmon (*Salmo salar*) grow on diets devoid of fish meal? *Aquaculture*, 255(1–4): 255–262. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2005.12.030

FAO. 2003. *Inland water resources, and aquaculture service. Health management and biosecurity maintenance in white shrimp (Penaeus vannamei) hatcheries in Latin America*. No. 450. Rome. https://www.fao.org/3/y5040e/y5040e.pdf

FAO. 2007. *Biosecurity priority area for interdisciplinary action. FAO biosecurity toolkit*. Rome. https://www.fao.org/3/a1140e/a1140e00.htm

Folch, J., Lees, M. y Sloane Stanley, G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of biological chemistry*, 226(1): 497–509. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5

García-Ortega, A., Verreth, J.A.J., Coutteau, P., Segner, H., Huisman, E.A. y Sorgeloos, P. 1998. Biochemical and enzymatic characterization of decapsulated cysts and nauplii of the brine shrimp *Artemia* at different developmental stages. *Aquaculture*, 161(1–4): 501–514. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00297-4

Global Seafood Alliance. 2022. *Hatchery Standard 2.0. Best Aquaculture Practices Certification Standard*. 76 pp.

Hamre, K., Fera, M.Y., Rønnestad, I., Boglione, C., Conceição, L.E. y Izquierdo, M. 2002. Nutrient composition and metamorphosis success of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae fed natural zooplankton or *Artemia. Aquaculture Nutrition*, 8(2): 139–148. https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00201.x

Hamre, K. y Mangor-Jensen, A. 2006. A multivariate approach to optimization of macronutrient composition in weaning diets for cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture Nutrition*, 12(1): 15–24. https://doi.org/10.1111/J.1365-2095.2006.00377.X

Hamre, K., Holen, E. y Moren, M. 2007. Pigmentation and eye migration in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae: New findings and hypotheses. *Aquaculture Nutrition*, 13(1): 65–80. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00467.x

Hamre, K., Yú Fera, M., Rønnestad, I., Boglione, C., Conceiçã, L.E.C. y Izquierdo, M. 2013. Fish larval nutrition and feed formulation: Knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. *Reviews in Aquaculture*, 5(s1): S26–S58. https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01086.x

Hamre, K., Erstad, B., de Kok, J., Norberg, B. y Harboe, T. 2020. Change in nutrient composition of *Artemia* grown for 3–4 days and effects of feeding on-grown *Artemia* on performance of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) larvae. *Aquaculture Nutrition*, 26: 1542-1554. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.13101

Helland, S., Triantaphyllidis, G.V., Fyhn, H.J., Evjen, M.S., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 2000. Modulation of the free amino acid pool and protein content in populations of the brine shrimp *Artemia* spp. *Marine Biology*, 137: 1005–1016. https://link.springer.com/article/10.1007/s002270000409

Hemre, G.I., Lie, Ø., Lied, E. y Lambertsen, G. 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): Digestibility and retention. *Aquaculture*, 80(3–4): 261–270. https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90174-9

Herald, R. y M. Rakowicz. 1951. Stable requirements for raising sea horses. *Aquarium* J., 22: 234–242.

Heyse, J. 2021. *Identifying drivers of microbial dynamics in aquaculture: from single–cell technology to metagenomics*. Ghent University, Ghent, Belgium PhD dissertation. 206 pp. https://lib.ugent.be/catalog/pug01:8734215

Hibshman, J.D., Clegg, J.S. y Goldstein, B. 2020. Mechanisms of desiccation tolerance: themes and variations in brine shrimp, roundworms, and tardigrades. *Frontiers in Physiology*, 11: 592016. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.592016

Hofer, R. y Köck, G. 1989. Method for quantitative determination of digestive enzymes in fish larvae. *Pol. Arch. Hydrobiol*., 36: 439–441

Jordal, A.-E.O., Lie, Ø., Torstensen, B.E. y Torstensen, B.E. 2007. Complete replacement of dietary fish oil with a vegetable oil blend affects liver lipid and plasma lipoprotein levels in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*, 13: 114–130. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00455.x

Julshamn, K., Dahl, L. y Eckhoff, K. 2001. Determination of iodine in seafood by inductively coupled plasma/mass spectrometry. *Journal of AOAC International*, 84(6): 1976–1983. https://doi.org/10.1093/jaoac/84.6.1976

Léger, Ph., Vanhaecke, P. y Sorgeloos, P. 1983. International Study on *Artemia* XXIV. Cold storage of live *Artemia* nauplii from various geographical sources: Potentials and limits in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 2(1983): 69–78.

Léger, Ph., Naessens-Foucquaert, E. y Sorgeloos, P. 1987. International Study on *Artemia*. XXXV. Techniques to manipulate the fatty acid profile in *Artemia* nauplii and the effect on its nutritional effectiveness for the marine crustacean *Mysidopsis bahia* (M.). En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir & E. Jaspers, eds. *Artemia Research and its Applications*. 1987.Vol. 3. Ecology, culturing, use in aquaculture. Universa Press, Wetteren, Belgium.

Léger, P., Bengtson, D.A., Sorgeloos, P., Simpson, K.L. y Beck, A.D. 1987. The nutritional value of *Artemia*: A review. En: P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decleir & E. Jaspers, eds. *Artemia Research and its Applications. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture,* pp. 357–372. Wetteren, Belgium, Universa Press.

Lepage, G. y Roy, C.C. 1984. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification. *Journal of Lipid Research*, 25: 1391–1396. https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)34457-6

Liang, P. y MacRae, T.H. 1999. The synthesis of a small heat shock/a-crystallin protein in *Artemia* and its relationship to stress tolerance during development. *Developmental Biology*, 207(2): 445–456. https://doi.org/10.1006/dbio.1998.9138

Liaset, B., Julshamn, K. y Espe, M. 2003. Chemical composition and theoretical nutritional evaluation of the produced fractions from enzymic hydrolysis of salmon frames with Protamex™. *Process Biochemistry*, 38(12): 1747–1759. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00251-0

Lim, L.C., Cho, Y.L., Dhert, P., Wong, C.C., Nelis, H. y Sorgeloos, P. 2002. Use of decapsulated *Artemia* cysts in ornamental fish culture. *Aquaculture Research*, 33(8): 575–589. https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00687.x

Liu, Y.L., Zhao, Y., Dai, Z.M., Chen, H.M. y Yang, W.J. 2009. Formation of diapause cyst shell in brine shrimp, *Artemia parthenogenetica*, and its resistance role in environmental stresses. *Journal of Biological Chemistry*, 284(25): 16931–16938. https://doi.org/10.1074/jbc.M109.004051

Lopalco, P., Lobasso, S., Alfama Lopes Dos Santos, R.M., Van Stappen, G., y Corcelli, A. 2019. Lipid profile changes during the development of *Artemia franciscana*, from cysts to the first two naupliar stages. *Frontiers in Physiology*, 9. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01872

MacRae, T.H., Bagshaw, J.C. y Warner, A.H., eds. 1989. *Biochemistry and cell biology of Artemia*. Boca Raton, Florida, CRC Press, USA. https://doi.org/10.1201/9781351070157

Mæland, A. y Waagbø, R. 1998. Examination of the qualitative ability of some cold-water marine teleosts to synthesize ascorbid acid. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 249-255. https://www.semanticscholar.org/paper/EXAMINATION-OF-THE-QUALITATIVE-ABILITY-OF-SOME-COLD-M%C3%A6land-Waagb%C3%B8/af577ebdd1f2d44e2e1364fe07244f8f6c612d8b

Mæland, A., Rønnestad, I., Fyhn, H.J., Berg, L. y Waagbø, R. 2000. Water-soluble vitamins in natural plankton (copepods) during two consecutive spring blooms compared to vitamins in *Artemia franciscana* nauplii and metanauplii. *Marine Biology*, 136: 765–772. https://link.springer.com/article/10.1007/s002270000280

Merchie, G., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1997. Optimization of dietary vitamin C in fish and crustacean larvae: A review. *Aquaculture*, 155: 165–181.

Moraiti-Ioannidou, M., Castritsi-Catharios, J., Miliou, H. y Kotzamanis, Y.P. 2007. Fatty acid composition and biometry of five Greek *Artemia* populations suitable for aquaculture purposes. *Aquaculture Research*, 38(15): 1664–1672. https://doi.org/10.1111/J.1365-2109.2007.01835.X

Morris, R.W. 1956. Some aspects of the problem of rearing marine fishes. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*, 1082. 61 pp.

Navarro, J.C., Amat, F. y Sargent, J.R. 1992. Fatty acid composition of coastal and inland *Artemia* sp. Populations from Spain. *Aquaculture*, 102: 219–230. https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90150-J

Navarro, J.C., Amat, F. y Sargent, J.R. 1993. The lipids of the cysts of freshwater-and marine-type *Artemia*. *Aquaculture*, 109(3–4): 327–336. https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90172-U

Props, R. 2018. Microbial population and community dynamics in natural and managed freshwater systems: From methodology development to mechanistic insights. Ghent University, Belgium. PhD dissertation. 282 pp. https://biblio.ugent.be/publication/8576485

Provasoli, L. 1969. Laboratory methods in cultivation. En: J.D. Costlow, ed. *Marine Biology*, pp. 225–398. Proc. 5th Int. Interdiscip. Conf. Gordon and Breach, New York, N.Y.

Ribeiro, F.A.L.T. y Jones, D.A. 1998. The potential of dried, low-hatch, decapsulated *Artemia* cysts for feeding prawn post-larvae. *Aquaculture International,* 6(6): 421–440. https://doi.org/10.1023/A:1009231417434

Rosenthal, H. 1969. Verdauungsgeschwindigkeit, Nahrungswahl und Nahrungsbedarf bei den Larven des Herings, Clupea harengus L. *Berichte der Deutschen wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung, Neue Folge*, 20: 60–69. https://doi.org/10.2312/berichte_dwkfm_20_60-69

Sorgeloos, P., Bossuyt, E., Laviña, E., Baeza-Mesa, M. y Persoone, G. 1977. Decapsulation of *Artemia* cysts: A simple technique for the improvement of the use of brine shrimp in aquaculture. *Aquaculture*, 12(4): 311–315. https://doi.org/10.1016/0044-8486(77)90209-5

Srivastava, A., Hamre, K., Stoss, J., Chakrabarti, R. y Tonheim, S.K. 2006. Protein content and amino acid composition of the live feed rotifer (*Brachionus plicatilis*): With emphasis on the water soluble fraction. *Aquaculture*, 254(1–4): 534–543. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2005.11.014

Stael, M., Sanggontanagit, T., Van Ballaer, E., Puwapanich, N., Tunsutapanich, A. y Lavens, P. 1995. Decapsulated cysts and *Artemia* flakes as alternative food sources for the culture of *Penaeus monodon* postlarvae. En: P. Lavens, E. Jaspers & I. Roelants, eds. *Larvi' 95, Book of Abstracts*, pp: 342–345. European Aquaculture Society, Special Publication No. 24, Ghent, Belgium.

Stults, V.J. 1974. *Nutritional value of brine shrimp cysts. Encysted eggs of* Artemia salina. Michigan State University, East Lansing, Michigan. Xerox University Microfilms, Ann Arbor, Michigan, 75-7262. Thesis. 110 pp.

Sui, L. 2000. Use of *Artemia* biomass in practical diets and decapsulated cysts as food source for common carp (*Cyprinus carpio* L.). Ghent University, Ghent, Belgium. MSc thesis.

Tanguay, J.A., Reyes, R.C. y Clegg, J.S. 2004. Habitat diversity and adaptation to environmental stress in encysted embryos of the crustacean *Artemia*. *Journal of Biosciences,* 29(4): 489–501. https://doi.org/10.1007/BF02712121

Tonheim, S.K., Nordgreen, A., Høgøy, I., Hamre, K. y Rønnestad, I. 2007. *In vitro* digestibility of water-soluble and water-insoluble protein fractions of some common fish larval feeds and feed ingredients. *Aquaculture*, 262(2–4): 426–435. https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.10.030

Van Can Nhu, Dierckens, K., Thu Huong Nguyen, Mai Thien Tran y Sorgeloos, P. 2009. Can umbrella-stage *Artemia franciscana* substitute enriched rotifers for Cobia (*Rachycentron canadum*) fish larvae? *Aquaculture*, 289(1–2): 64–69. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.01.014

Vandekerkhove, B., Parmentier, L., Van Stappen, G., Grenier, S., Febvay, G., Rey, M. y de Clercq, P. 2009. *Artemia* cysts as an alternative food for the predatory bug *Macrolophus pygmaeus*. *Journal of Applied Entomology*, 133(2): 133–142. https://doi.org/10.1111/J.1439-0418.2008.01332.X.

Vanhaecke, P., Lavens, P. y Sorgeloos, P. 1983. International study on *Artemia*. XVII. Energy consumption in cysts and early larval stages of various geographical strains of *Artemia*. In: *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*, pp. 155–164. Vol. 113, No. 2. https://users.ugent.be/~gstappen/WWW/pdf/Vanhaecke1983.pdf

Vanhaecke, P., De Vrieze, L., Tackaert, W. y Sorgeloos, P. 1990. The use of decapsulated cysts of the brine shrimp *Artemia* as direct food for carp *Cyprinus carpio* L. larvae. *Journal of the World Aquaculture Society*, 21(4): 257–262. https://doi.org/10.1111/J.1749-7345.1990.TB00537.X

Van Wyk, P. y Scarpa, J. 1999. Water quality requirements and management. In: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*, pp. 141–161. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Farming+marine+shrimp+in+recirculating+freshwater+systems&author=Van+Wyk%2C+P.&publication_year=1999

Venkateswarlu, V., Seshaiah, P.V., Arun, P. y Behra, P.C. 2019. A study on water quality parameters in shrimp L. vannamei semi-intensive grow out culture farms in coastal districts of Andhra Pradesh, India. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7.4: 394–399. https://www.fisheriesjournal.com/archives/2019/vol7issue4/PartF/7-4-64-509.pdf

Verreth, J., Storch, V. y Segner, H. 1987. A comparative study on the nutritional quality of decapsulated *Artemia* cysts, micro-encapsulated eng diets and enriched dry feeds for *Clarias gariepinus* (Burchell) larvae. *Aquaculture*, 63(1–4): 269–282. https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90078-0

Walter, H.E., 1984. Proteinases: methods with haemoglobin, casein and azocoll as substrates. En: Bergmeyer, H.U. (Ed.), Methods of Enzymatic Analysis, Vol. 5. Verlag Chemie, Weinheim, Germany, pp. 270–277.

Warner, A.H., MacRae, T.H. y Bagshaw, J.C., eds. 1989. *Cell and molecular biology of Artemia development*. New York, Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0004-6

Warner, A.H., Perz, M.J., Osahan, J.K. y Zielinski, B.S. 1995. Potential role in development of the major cysteine protease in larvae of the brine shrimp *Artemia franciscana*. *Cell and Tissue Research,* 282(1): 21–31. https://doi.org/10.1007/BF00319129

Warner, A.H. y Matheson, C. 1998. Release of proteases from larvae of the brine shrimp *Artemia franciscan*a and their potential role during the molting process. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 119(2): 255–263. https://doi.org/10.1016/S0305-0491(97)00323-4

Anexo 1

TABLA DE CONVERSIÓN DE SALINIDAD

TABLA A1

Tabla de conversión para diferentes unidades de salinidad para lecturas de agua de mar concentrada[1]

Densidad (g/ml)	Grados Baumé (°Bé)	Salinidad (g/L)	Densidad (g/ml)	Grados Baumé (°Bé)	Salinidad (g/L)
1 020	2,8	28.6	1 061	8,4	
1 021	3,0		1 062	8,5	
1 022	3,1		1 063	8,7	
1 023	3,3		1 064	8,8	
1 024	3,4		1 065	8,9	
1 025	3,6		1 066	9,0	
1 026	3,7		1 067	9,2	
1 027	3,8		1 068	9,3	
1 028	4,0		1 069	9,4	
1 029	4,1		1 070	9,5	99,4
1 030	4,2	42,4	1 071	9,6	
1 031	4,4		1 072	9,7	
1 032	4,5		1 073	9,9	
1 033	4,7		1 074	10,0	
1 034	4,8		1 075	10,1	
1 035	4,9		1 076	10,2	
1 036	5,0		1 077	10,3	
1 037	5,1		1 078	10,5	
1 038	5,3		1 079	10,6	
1 039	5,4		1 080	10,7	114,1
1 040	5,5	56,4	1 081	10,8	
1 041	5,7		1 082	11,0	
1 042	5,8		1 083	11,1	
1 043	6,0		1 084	11,2	
1 044	6,1		1 085	11,3	
1 045	6,2		1 086	11,5	
1 046	6,4		1 087	11,6	
1 047	6,5		1 088	11,7	
1 048	6,7		1 089	11,8	
1 049	6,8		1 090	11,9	128,6
1 050	6,9	70,6	1 091	12,0	
1 051	7,0		1 092	12,1	
1 052	7,2		1 093	12,3	
1 053	7,3		1 094	12,4	
1 054	7,5		1 095	12,5	
1 055	7,6		1 096	12,6	
1 056	7,7		1 097	12,7	
1 057	7,9		1 098	12,8	
1 058	8,0		1 099	13,0	
1 059	8,1		1 100	13,1	144
1 060	8,2	84,9	1 101	13,2	

[1] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

TABLA A1 (CONTINUACIÓN)

Densidad (g/ml)	Grados Baumé (°Bé)	Salinidad (g/L)	Densidad (g/ml)	Grados Baumé (°Bé)	Salinidad (g/L)
1 102	13,4		1 141	17,8	
1 103	13,5		1 142	17,9	
1 104	13,6		1 143	18,0	
1 105	13,7		1 144	18,1	
1 106	13,8		1 145	18,2	
1 107	14,0		1 146	18,3	
1 108	14,2		1 147	18,5	
1 109	14,3		1 148	18,6	
1 110	14,4	159,5	1 149	18,7	
1 111	14,5		1 150	18,8	222,1
1 112	14,6		1 151	19,0	
1 113	14,7		1 152	19,1	
1 114	14,9		1 153	19,2	
1 115	15,0		1 154	19,3	
1 116	15,1		1 155	19,4	
1 117	15,2		1 156	19,5	
1 118	15,3		1 157	19,6	
1 119	15,4		1 158	19,7	
1 120	15,5	175,1	1 159	19,8	
1 121	15,6		1 160	19,9	237,8
1 122	15,7		1 161	20,0	
1 123	15,8		1 162	20,2	
1 124	15,9		1 163	20,3	
1 125	16,0		1 164	20,4	
1 126	16,2		1 165	20,5	
1 127	16,3		1 166	20,6	
1 128	16,4		1 167	20,7	
1 129	16,5		1 168	20,8	
1 130	16,6	190,6	1 169	20,9	
1 131	16,7		1 170	21,0	253,7
1 132	16,8		1 171	21,1	
1 133	16,9		1 172	21,2	
1 134	17,0		1 173	21,3	
1 135	17,1		1 174	21,4	
1 136	17,3		1 175	21,5	
1 137	17,4		1 176	21,6	
1 138	17,5		1 177	21,7	
1 139	17,6		1 178	21,8	
1 140	17,7	206,3			

Anexo 2

ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN PARA EL CULTIVO INTENSIVO DE *ARTEMIA*[2]

En la primera semana

- T* <15 cm; no alimentar y/o incrementar la renovación del agua.
- <15 T <20 cm; mantenga el nivel de alimentación.
- T >20 cm; incremente la tasa de alimentación y/o de alimento manualmente.

En la segunda semana

- T <20 cm; no alimentar y/o incrementar la renovación del agua.
- <20 T <25 cm; mantenga el nivel de alimentación.
- T >25 cm; incremente la tasa de alimentación y/o de alimento manualmente.

A partir de la etapa pre adulta: tasa de alimentación diaria = 10% de WW** biomasa/L agua de cultivo. La WW biomasa/L se mide así

- Recolectar algunos litros de agua de cultivo y pasarlos por un tamiz que retenga a los animales.
- Enjuague con agua de la llave.
- Deje que el agua escurra y seque la malla con un papel o tela.
- Pese el filtro; WW biomasa/L = (peso total – peso de la malla vacía (volumen de la muestra de agua de cultivo).

* T = transparencia, mediante un disco Secchi

** WW = wet (live) weight (peso seco vivo)

[2] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

Anexo 3

DESINFECCIÓN DE QUISTES[3] DE *ARTEMIA* NO ENCAPSULADOS

Cálculo del volumen

La solución de desinfección puede ser elaborada (con anterioridad) usando cloro líquido o hipoclorito de sodio (NaOCl) en una solución acuosa. Por ejemplo, un producto de grado técnico de VWR Chemicals, etiquetado como al 14% Cl_2 (cloro activo), si es fresco, tiene un rango de actividad entre 14–15% w/w. Use las siguientes proporciones:

- 50–100 g quistes por litro de agua de mar.
- Prepare una solución de hipoclorito con 200 µL de cloro activo/L o 10 000 µl/L (mediante la dilución de una solución acuosa comercial de NaOCl con una concentración de cloro activo de por lo menos 14%). Diferentes concentraciones de la solución requieren un tiempo diferente de incubación (ver a continuación).
- Cálculo: ver la hoja de Excel 1 para un ejemplo práctico y para cálculos detallados.

Enlace web: EXCEL 1: Disinfección de quistes de *Artemia*

Paso de hidratación

- Se llena el tanque con la cantidad calculada de agua de mar
- Agregar quistes
- Se brinda una aireación fuerte mediante un tubo abierto
- Tiempo de hidratación: 45 min.



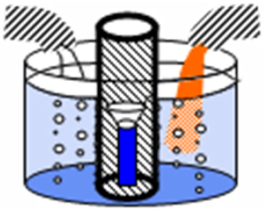
Paso de desinfección

- Agregue la cantidad calculada de solución de hipoclorito de sodio (NaOCl)
- Para desinfectar:
  - 20 min en 200 µl/L de solución activa de cloro o
  - 1 min en 10 000 µl/L de solución activa de cloro



Paso de lavado

- Se colectan los quistes en un enjuagador
- Enjuague bien los quistes con agua de mar
- Los quistes están listos para ser incubados



[3] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

Anexo 4

PROCEDIMIENTO PARA LA DECAPSULACIÓN DE LOS QUISTES[4] DE *ARTEMIA*

Cálculo del volumen

La solución para decapsulación puede ser elaborada (con anterioridad) usando cloro líquido, ej. Hipoclorito de socio (NaOCl) en una solución acuosa. Por ejemplo, un producto de grado técnico de VWR Chemicals, etiquetado como al 14% Cl_2 (cloro activo), si es fresco, tiene un rango de actividad entre 14–15% del peso húmedo. Use las siguientes proporciones:

- 0,5 kg cloro activo por kg de quistes
- 0,33 L de hidróxido de sodio (NaOH–grado técnico) 30% en una solución acuosa por kg de quistes
- Agua de mar para llevar a la solución final a un volumen de 14 L por kg de quistes.
- Cálculo: ver la hoja de Excel 2 para un ejemplo práctico y cálculos detallados.

Enlace web: EXCEL 2: Decapsulación de quistes de *Artemia*

Paso de hidratación



- Llenar el tanque con la cantidad prevista de agua de mar a 20°C.
- Agregar quistes
- Aireación fuerte a través de un tubo abierto
- Tiempo de hidratación: 50–60 min.

Paso de decapsulación



- Luego de 50–60 min, agregar hidróxido de sodio (NaOH)
- Luego agregar la cantidad calculada de hipoclorito de sodio (NaOCl)
- Finalmente, agregar 250–500 µl anti espuma/L (se recomienda disolver el anti espuma en una pequeña cantidad de agua antes de agregarla al tanque)

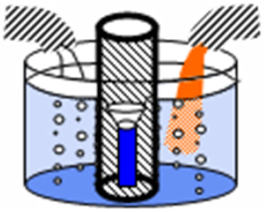
Monitoreo del proceso de decapsulación



- Siga el cambio del color de los quistes de marrón a naranja: esto puede ser hecho tomando muestras con una pipeta o bajo un microscopio binocular.
- Cuando los quistes están cambiando de marrón-gris a naranja y el 90% de los quistes se están hundiendo, el proceso está finalizando.

[4] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

Paso de lavado y desactivación



- Los quistes son recolectados en un concentrador/ enjuagador con agua y tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) a 50 g por kg de quistes
- Enjuagar en un flujo de ± 100 % por minuto
- Agregar 250–500 µl/L de anti espuma.
- Se continua el enjuague hasta que todo el cloro se ha neutralizado y el agua que sale es cristalina.
- Se pueden detectar residuos de hipoclorito mediante la adición de algunos quistes decapsulados en una pequeña cantidad de indicador de almidón-yodo (= almidón, KI, H_2SO_4 y agua). Si el reactivo se vuelve azul, se debe seguir lavando y desactivando.

Anexo 5

MÉTODO TITRIMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORO ACTIVO EN SOLUCIONES DE HIPOCLORITO[5]

Principio

El cloro activo libera yodo libre a partir de una solución de yoduro de potasio (KI) a un pH igual o inferior a 8. El yodo liberado se valora con una solución patrón de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$), utilizando almidón ($C_6H_6O_6$) como indicador. El porcentaje de cloro activo es una unidad de concentración utilizada para los blanqueadores a base de hipoclorito (soluciones acuosas de cloro). Un gramo de hipoclorito con un 100% de cloro activo tiene el mismo poder blanqueador que un gramo de cloro. Se utiliza el término "cloro activo" porque la mayoría de los hipocloritos comerciales contienen cantidades sustanciales de cloro en forma de iones cloruro, que no tienen propiedades blanqueadoras.

Reactivos

Tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 0.1 mol/L:

En un matraz aforado (1 000 ml):

- Agregar el tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) → 24.8 g
- Agregar agua destilada hasta completar 1 L
- Mezcle el matraz aforado hasta su completa disolución.

Solución de almidón al 10 g/L

En un vaso de precipitado de 250 ml, agregar:

- Agua destilada → 100 ml
- Almidón $(C_6H_6O_6)n$ → 0.5 g
- Insertar una barra magnética y poner el vaso de precipitación en un mezclador magnético.
- Calentar hasta que hierva y el almidón se haya disuelto completamente.
- Dejar enfriar a temperatura ambiente.

Solución indicadora

En un matraz Erlenmeyer de 250 ml agregar:

- Agua destilada → 50 ml
- Ácido acético glacial (100 %) (CH_3COOH) → 5 ml
- Ioduro de Potasio (KI) → una cucharita
- 1 ml de solución de hipoclorito

[5] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

Valoración de cloro activo

- Enjuague y llene la bureta con tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) a 0,1 mol/L.
- Realice la valoración al abrigo de la luz solar directa y añada con cuidado el tiosulfato de sodio 0,1 M de la bureta al matraz Erlenmeyer que contiene la solución indicadora. El color amarillo-marrón del yodo liberado debe desaparecer.
- Añada 1 ml de la solución de almidón $(C_6H_6O_6)n$; la solución debería oscurecerse (azul oscuro).
- Con la bureta, añadir la solución de tiosulfato de sodio gota a gota hasta que el líquido pierda completamente su color y se vuelva transparente.
- Esperar 2 minutos y asegurarse de que la solución no se ha vuelto a teñir de azul; si la solución vuelve a presentar color, añadir más tiosulfato de sodio, gota a gota, hasta que el líquido se vuelva incoloro.

Cálculos

- 1 ml de 0.1 mol/L tiosulfato de sodio pentahidratado equivale a 3.54 mg de cloro activo.

Anexo 6

PREPARACIÓN DEL TANQUE Y ECLOSIÓN DE QUISTES DE *ARTEMIA*[6]

Se debe respetar unas condiciones básicas para asegurar la eclosión óptima de quistes en la incubadora:

Condiciones de almacenamiento

Conserve los quistes en un lugar seco y a una temperatura inferior a +4 °C. Una temperatura superior a 4 °C puede reducir la calidad del producto. Durante el almacenamiento, el envase debe mantenerse bien cerrado. Una vez abierto, el producto debe utilizarse inmediatamente.

Densidad de quistes

Se recomienda una densidad de 2 g/L.

Salinidad del agua

Por razones prácticas, la salinidad debe mantenerse entre 25–30 g/L.

Luz exterior

Durante todo el proceso de eclosión deben darse unas condiciones de iluminación óptimas, con una intensidad de al menos 2 000 lux en la superficie del agua.

Temperatura del agua

La eclosión óptima se obtiene cuando el agua se mantiene constante entre 25–30 °C.

pH

Debe mantenerse entre 8,0 y 8,5 durante todo el proceso de eclosión; si es necesario, añadir bicarbonato sódico ($NaHCO_3$) o carbonato sódico (Na_2CO_3) disueltos. Es preferible añadir el bicarbonato media hora antes de la incubación y, inmediatamente antes de añadir los quistes, añadir también 120 mg/L de hidróxido de sodio (NaOH). En general, será necesaria una segunda dosis de 120 mg/L de hidróxido de sodio tras 12 h de incubación de eclosión.

Preparación del tanque

- Retire todas las piezas desmontables (por ejemplo, los tubos) y límpielas por separado con jabón; enjuáguelas y desinféctelas sumergiéndolas en una solución de cloro (lejía o hipoclorito) (150 mg/l de cloro activo).
- Cepille a fondo el tanque con jabón después de enjuagarlo.
- Repita el proceso con la solución de cloro.
- Aclare de nuevo abundantemente con agua y llene el tanque con agua de mar filtrada. Asegúrese de que se eliminan todos los quistes y sus envolturas (por ejemplo, los que hayan quedado en la salida y en las válvulas del tanque de la eclosión anterior).

[6] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

- Desinfecte el agua de incubación con 10 mg/l de cloro activo y airee suavemente durante aproximadamente 1 h.
- Desactive el cloro restante añadiendo 8 mg/l de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).

Protocolo de eclosión

- Revise la temperatura.
- Abra el aire, debe ser vigoroso.
- Confirmar la calidad del agua: tome una muestra para análisis microbiológico (ver Anexo 11).
- Pese la cantidad requerida de quistes.
- Prenda las luces encima del tanque de eclosión.
- Agregue los quistes al tanque de eclosión.
- Revise el pH.

Anexo 7

COSECHA DE NAUPLIO INSTAR I DE *ARTEMIA*[7]

- Cubrir al tanque de eclosión.
- Detenga la aireación.
- Permita la separación de los nauplios y las cáscaras por unos 10 minutos.

Durante este período, los quistes que no eclosiones se hundirán, los nauplios migrarán al fondo del tanque y las cáscaras se colectarán en la superficie. Como los nauplios son fototácticos, su concentración en la parte inferior del tanque puede ser mejorada al dar sombra a la parte de superior del tanque de eclosión (uso de tapa) y ubicando una fuente de luz en la parte cónica transparente del fondo.

- Luego de 5–10 min de separación, empiece a drenar el tanque de eclosión. Los nauplios no deben ser mantenidos por mucho tiempo (por ejemplo, máximo 5 a 10 minutos) en la punta del contenedor cónico, pues se pueden morir por falta de oxígeno.
  - ✔ En primer lugar, se eliminan los quistes no eclosionados y otros residuos que se han acumulado debajo de los nauplios.
  - ✔ A continuación, se recogen los nauplios en una red fina (<150 µm), que debe permanecer sumergida en todo momento para evitar daños físicos a los nauplios, o mejor aún, en un dispositivo concentrador-enjuagador (ver Lámina A7.1).
  - ✔ Deja de vaciar el tanque de incubación y mantenga los quistes flotantes en el tanque.

Los nauplios de *Artemia* son enjuagados vigorosamente con agua de mar limpia y desinfectada, para así remover posibles contaminantes y metabolitos de eclosión, como el glicerol y *Vibrio* que se han desarrollado en el tanque de eclosión una vez que el glicerol que se han desarrollado en el tanque de eclosión una vez que el glicerol se ha convertido en un sustrato adecuado para su proliferación. La instalación de sistemas automatizados simplifica las técnicas de producción en las operaciones comerciales (por ejemplo, mediante el uso de un concentrador-enjuagador (Lámina A7.1), permite la recolección rápida de grandes volúmenes de nauplios de *Artemia* y facilita la eliminación completa de residuos del medio de incubación. Esto se traduce en una reducción significativa de los costes de mano de obra y producción.

Tras un enjuague minucioso con agua limpia y desinfectada, los nauplios pueden administrarse directamente a las larvas, almacenarse en frío (ver Sección 3.1.8) o trasladarse a un tanque preparado para su enriquecimiento (ver Sección 3.1.7).



© INVE



© IAARC

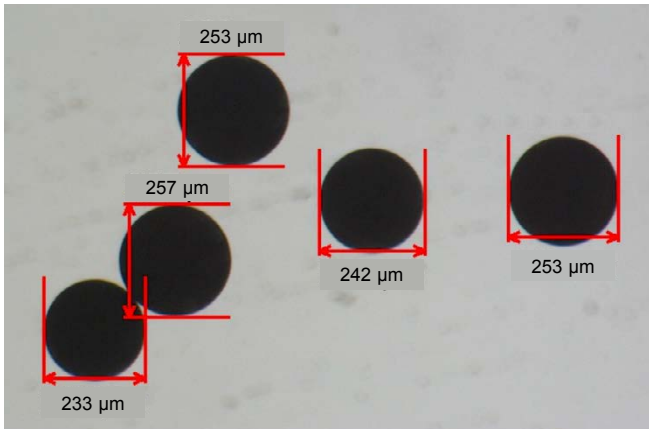
LÁMINA A7.1
Ejemplos de concentrador-enjuagador en funcionamiento

[7] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

Anexo 8

DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DEL QUISTE DE *ARTEMIA*, GROSOR DEL CORION, LARGO Y PESO SECO (PS) DE CADA NAUPLIO INSTAR I[8]

LÁMINA A8.1
Diámetro de quistes no decapsulados, variedad Gran Lago Salado



© LAARC

Diámetro de un quiste no desencapsulado

- Incubar una pequeña muestra de quistes en 35 g/L agua de mar; agregar 1 % de solución de lugol (ver a continuación); incubar por 2 horas.
- Agregar nuevamente solución de lugol al 1 %.
- Al realizar la medición manualmente, mida el diámetro de al menos 100 quistes completamente hidratados con un microscopio equipado con un ocular que incorpore una regla calibrada (Lámina A8.1).
- Calcular el promedio y la desviación estándar.

Diámetro de quistes decapsulados

- Incubar una pequeña muestra de quistes en agua de mar a 35 g/L durante 1 h.
- Decapsular los quistes con hidróxido de sodio (NaOH) e hipoclorito de sodio (NaOCl); comprobar al microscopio si la decapsulación es completa.
- Enjuagar bien los quistes e incubarlos en agua de mar; añadir una solución de lugol al 1 % e incubar durante 1 h más.
- Añadir nuevamente solución de lugol al 1 %.
- Si se realiza la medición manualmente, mida el diámetro de al menos 100 quistes decapsulados y completamente hidratados con un microscopio equipado con un ocular con regla calibrada.
- Calcule el promedio y la desviación estándar.

Grosor del corion

- Calcular el grosor del corion:

$$\frac{\text{Diámetro promedio de quistes no decapsulados} - \text{Diámetro promedio de quistes decapsulados}}{2}$$

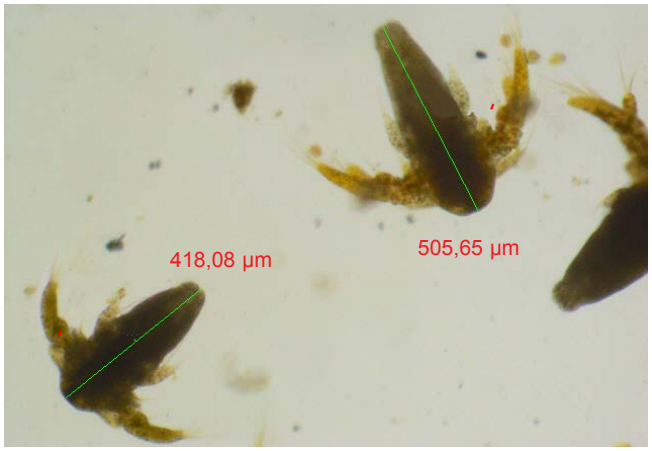
Longitud del nauplio instar I

- Incubar los quistes bajo condiciones estándares de eclosión (ver Anexo 6). Cosechar los nauplios luego de 22 horas (para asegurar la mayoría de nauplios en etapa de instar I); fijar los nauplios con solución de lugol.

[8] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

- Al realizar la medición manualmente, mida el diámetro de al menos 100 quistes completamente hidratados con un microscopio equipado con un ocular que incorpore una regla calibrada (Lámina A8.2).
- Calcule el promedio y la desviación estándar.

LÁMINA A8.2
Medición de la longitud de un nauplio instar I



© LAARC

Determinación del peso seco (PS) individual de nauplios instar I

- Incubar una pequeña cantidad de quistes para eclosión en condiciones estándar (ver Anexo 6).
- Cosechar *Artemia* luego de 22 h (para asegurar la mayoría de nauplios instar I) y concentrarlos en el tubo cónico; dar aireación desde el fondo.
- Determinar con exactitud (cuentas por triplicado) la concentración de los nauplios en el tubo cilindro-cónico (= Y nauplio/ml) tomando 3 submuestras de 250 µl con una micropipeta y contando los nauplios bajo un binocular.
- Filtrar un volumen exacto (= Z ml) de nauplios en suspensión en filtros de microfibra de vidrio pesados previamente (= A g) usando un aparato Büchner (por triplicado).
- Calcular la cantidad total de nauplios filtrados: $Y \frac{nauplio}{ml} \times Z\ ml = N\ nauplio$
- Lavar el filtro con una solución (0.5 mol/L) de formiato de amonio (NH_4HCO_2) para remover las sales.
- Secar los filtros a 103 °C por 4 horas para volatilizar el formiato de amonio.
- Pesar los filtros (= B g).
- Calcular el peso seco (PS) (en µg) individual de nauplios en instar I:

Ver Excel hoja 3 para un ejemplo práctico y para cálculos detallados.

Enlace web: EXCEL 3: Peso seco de una *Artemia*

NOTA: Composición y preparación de la solución de lugol

SOLUCIÓN 1: pesar 300 g yoduro de potasio (KI) y 150 g de yodo (I_2) en un vaso de precipitados y agregar 600 ml de agua destilada. Mover (con un mezclador magnético) hasta su disolución.

SOLUCIÓN 2: pesar 150 g de acetato de sodio ($NaCH_3COO$) en un vaso de precipitados y agregar 1 500 ml de agua destilada. Mover (con un mezclador magnético) hasta su disolución.

Mezcle la solución 1 y 2; la solución de lugol puede ser mantenida a temperatura ambiente pero en la oscuridad.

Anexo 9

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (PORCENTAJE DE H_2O) DE QUISTES DE *ARTEMIA*[9]

- Tarar 3 recipientes pequeños de aluminio = T_1, T_2, T_3.
- Llenar cada recipiente con una muestra de quistes, determine el peso bruto = peso tara + peso húmedo de la mezcla de = W_1, W_2, W_3.
- Calcular la masa de la muestra = M_1, M_2, M_3.
- Poner los recipientes de aluminio en un horno de secado: 4 h a 103 °C.
- Calcular el peso bruto sin agua = peso de la tara + peso seco de la muestra de quiste = D_1, D_2, D_3.
- Calcular el peso del contenido de agua para cada una de las tres réplicas:

$$\text{Contenido de agua (en \%)} = \frac{(T + M - D)}{M} \times 100$$

- Calcular el contenido de agua por gramo de peso seco:

$$\text{g } H_2O \text{ / g peso seco} = \frac{\frac{(T + M - D)}{M}}{1 - \left(\frac{T + M - D}{M}\right)} \times 100$$

- Calcular el promedio y la desviación estándar de las tres réplicas.

Ver Excel hojas 4.1 y 4.2 para ejemplos prácticos y cálculos detallados.

Enlace web:

EXCEL 4.1: Determinación del contenido de agua en *Artemia* (%H_2O)

EXCEL 4.2: Determinación del contenido de agua en *Artemia* (g H_2O/g DW)

[9] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante Bélgica.

Anexo 10

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE QUISTES, PORCENTAJE Y EFICIENCIA DE ECLOSIÓN Y TASA DE ECLOSIÓN DE QUISTES DE *ARTEMIA*[10]

Para el control de calidad de los quistes de *Artemia*, trabaje bajo las condiciones estándares (ver Lámina A10.1)

LÁMINA A10.1
Diseño para el control de calidad de eclosión



© LAARC

- Usar de preferencia tubos cilindrocónicos o cónicos (por ejemplo, cono Imhoff) o un cilindro graduado. Haga el ejercicio por triplicado.
- Incubar exactamente 2 g quistes en exactamente 1 000 ml de 32 g/L agua de mar.
- Proporcione iluminación continua (>2 000 lux).
- Mantener la temperatura constante a 28 °C.
- Brindar aireación desde el fondo para mantener los quistes en suspensión (no muy fuerte para prevenir que haga espuma; oxígeno debe ser >2 mg/L).
- pH entre 8.0 y 8.5.

Conteo de quistes

- Luego de incubar por 2 h (= quistes bien hidratados) usando una micropipeta colecte 6 submuestras de 250 µl cada una del cono de eclosión.
- Con una pipeta, ponga cada submuestra en un tubo de ensayo pequeño y fije los quistes con unas pocas gotas de la solución de lugol (para la preparación del lugol: ver Anexo 8).
- De cada una de las 6 muestras de cada cono de eclosión, contar los quistes bajo un microscopio y calcule el valor promedio por cono de eclosión.
- Calcular el promedio y la desviación estándar de 3 conteos:

$$Conteo\ de\ quistes\ =\ \frac{(quistes \times 4 \times 1000)}{2}\ o\ conteo\ de\ quistes = quistes \times 2000$$

(= multiplicar el número de quistes contados por el factor de conversión 2 000)

Ver Excel hoja 5 para ejemplo práctico y cálculos detallados

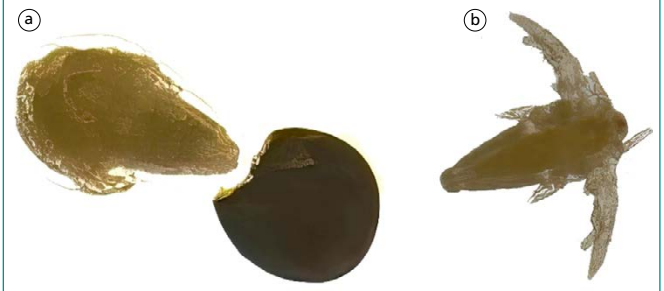
Enlace web: EXCEL 5: conteo de quistes

[10] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

Porcentaje de eclosión (H%) y eficiencia de eclosión (HEff)

- Luego de incubar por 24 h, tome 6 submuestras de 250 µl cada una de cada cono de eclosión.
- Con una pipeta, ponga cada submuestra en un tubo de ensayo pequeño y fije los quistes con unas pocas gotas de la solución de lugol (para la preparación del lugol: ver Anexo 8).
- De cada una de las 6 muestras de cada cono de eclosión, contar los nauplios bajo un microscopio y calcule el valor promedio de los nauplios; contar los paraguas, calcular el promedio de los paraguas (Lámina A10.2).

LÁMINA A10.2
Nauplio paraguas (a) y instar I (b)



© LAARC

- Decapsular los quistes sin eclosionar y disuelva las cáscaras vacías agregando unas pocas gotas de hipoclorito de sodio (NaOCl) a cada tubo de ensayo.
- Por cono, contar los embriones que no eclosionaron (de color naranja) y calcular el valor promedio.
- Calcular el porcentaje de eclosión:

$$H\% = \left(\frac{nauplio}{nauplio + paraguas + embriones}\right) \times 100$$

$$H + \% = \left(\frac{nauplio + paraguas}{nauplio + paraguas + embriones}\right) \times 100$$

- Cálculo de la eficiencia de eclosión:

$$HEff = \frac{nauplio \times 4 \times 1000\ \text{ml}}{2\ \text{g}} \quad \text{o} \quad \text{EEff} = nauplio \times 2000$$

$$HEff+ = \frac{(nauplio + paraguas) \times 4 \times 1000}{2}$$

Ver Excel hoja 6 para ejemplo práctico y cálculos detallados.

Enlace web: EXCEL 6: Porcentaje de eclosión de los quistes y eficiencia de eclosión

Proporción de quistes llenos y vacíos

- Calcular el número de quistes llenos por gramo de muestra, usando el porcentaje de eclosión y la eficiencia de eclosión:

$$Quistes\ llenos = \frac{Eficiencia\ de\ eclosión}{Porcentaje\ de\ eclosión} \times 100$$

- Calcular el porcentaje de quistes llenos y vacíos usando el número de quistes llenos por gramo, y el número del conteo de quistes (ver arriba):

$$\%\ Quistes\ lenos = \frac{Quistes\ llenos}{Numero\ de\ quistes} \times 100$$

$$\%\ Quistes\ vacíos = 100 - \%\ quistes\ llenos$$

Tasa de eclosión

- Comience a tomar submuestras y a calcular la eficiencia de eclosión a partir de las 8 horas de incubación (siga el procedimiento anterior).
- Continúe con los procedimientos de muestreo y recuento hasta que el valor medio de la eficiencia de eclosión se mantenga constante durante 3 h consecutivas.
- A continuación, los valores medios por hora se expresan como porcentaje de esta eficiencia de eclosión máxima.
- Se puede trazar una curva de eclosión; los valores T_{10}, T_{90} y otros valores T pueden extrapolarse a partir del gráfico.
- Un procedimiento simplificado consiste en tomar muestras, por ejemplo, cada 3 horas o más

Ver Excel hoja 6 para ejemplo práctico y cálculos detallados.

Enlace web: EXCEL 7: Tasa de eclosión de los quistes y sincronía de la eclosión

Anexo 11

DETERMINACIÓN DE LA CARGA BACTERIANA EN EL AGUA DE ECLOSIÓN DE *ARTEMIA* O EN NAUPLIOS ECLOSIONADOS[11]

Preparación de la muestra de agua de eclosión de *Artemia*

- Tome una submuestra de 20 ml de 1 L de agua de eclosión de Artemia con una pipeta estéril y pásela inmediatamente por un filtro celular estéril de 40 µm para eliminar las partículas..
- Recoja el filtrado en un frasco estéril. Esto corresponde a una dilución de 100.
- Continúe con el resto del protocolo lo antes posible y no deje el filtrado a temperatura ambiente, ya que el recuento bacteriano puede variar rápidamente. Si no es posible procesar la muestra inmediatamente, almacene el filtrado a 4 °C, pero analícelo en cuestión de horas.
- El resto de los pasos deben realizarse de forma estéril. Por lo tanto, trabaje en una cabina de flujo laminar o muy cerca de un mechero Bunsen encendido.
- Realice una serie de diluciones decuplicadas del filtrado:
  - Con una pipeta estéril, transfiera 1 ml del filtrado a un tubo de ensayo estéril que contenga 9 ml de agua de mar estéril. Cierre el tubo de ensayo y homogenícelo. Esto corresponde a una dilución de 10^{-1}.
  - A continuación, utilizando otra pipeta estéril, transfiera 1 ml del tubo de ensayo con la dilución 10^{-1} a un segundo tubo de ensayo lleno de 9 ml de agua de mar estéril. Cierre el segundo tubo de ensayo y homogenice. Esto representa una dilución de 10^{-2}.
  - Repita este proceso para obtener diluciones de 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, … y así sucesivamente hasta alcanzar la dilución objetivo. La dilución objetivo 10^{-X} es aquella que da como resultado un número de colonias comprendido entre 30 y 300 tras el crecimiento en la placa de agar. Se considera que menos de 30 colonias no es aceptable por razones estadísticas, mientras que más de 300 colonias se considera demasiado difícil para distinguir claramente las UFC (unidades formadoras de colonias) separadas.
  - Por último, realice una dilución más de $10^{-(X+1)}$.
  - Al realizar el plaqueado por primera vez, se desconoce la dilución objetivo, por lo que es necesario preparar suficientes diluciones. Según la experiencia, la dilución objetivo se conoce tras realizar el plaqueado en agar varias veces.
- Las diluciones están ahora listas para el plaqueado en agar (ver a continuación: distribución de las diluciones en las placas de agar).

Preparación de muestra de agua para eclosión de *Artemia*

- Tome aproximadamente 1 L de agua de eclosión de *Artemia* y separe los nauplios eclosionados de los quistes sin eclosionar y de las cáscaras vacías de los quistes (ver Sección 3.1.6). Todos los materiales utilizados durante la etapa de

[11] Producido por el Laboratorio de Acuicultura y el Centro de Referencia de Artemia, Universidad de Gante, Bélgica.

separación deben estar esterilizados cuando entren en contacto con el medio de eclosión o con los nauplios, a fin de evitar contaminación.

- Enjuague suavemente los nauplios de *Artemia* recogidos con 1 L de agua de mar estéril en un colador limpio y desinfectado, y luego transfiéralos a un recipiente limpio de 1 L lleno de agua de mar limpia y desinfectada.
- Complete el volumen de agua del recipiente con *Artemia* hasta 1 L con agua de mar estéril y airee suavemente el recipiente de 1 L
- Extraiga un volumen de 100 ml del recipiente de 1 L con una pipeta volumétrica estéril y transfiéralo a un filtro celular estéril de 40 µm. Asegúrese de que todos los nauplios de los 100 ml se depositen en el filtro celular, lo cual es muy importante.
- El resto de los pasos deben realizarse en una cabina de flujo laminar o muy cerca de un mechero Bunsen encendido.
- Enjuague los nauplios que se encuentran en el filtro celular tres veces con 10 ml de agua de mar estéril y, a continuación, seque la parte inferior del filtro celular con un pañuelo de papel limpio.
- Transfiera todos los nauplios del colador celular a un tubo estéril de 50 ml (si se utiliza una batidora en el siguiente paso) o a una bolsa estéril Stomacher (si se utiliza una batidora de laboratorio Stomacher en el siguiente paso). Para ello, coloque el colador celular boca abajo sobre el tubo o la bolsa y enjuague el fondo con exactamente 10 ml de agua de mar estéril utilizando una pipeta estéril de 10 ml.
- Homogenice los nauplios de *Artemia* en el vial o en la bolsa Stomacher utilizando un mezclador de laboratorio (por ejemplo, un mezclador Ultra Turrax) o una batidora de laboratorio Stomacher, respectivamente, de la siguiente manera:
- Si se utiliza un mezclador de laboratorio, primero hay que limpiarlo. Llene 3 tubos de plástico limpios con un volumen que permita sumergir la parte mezcladora del mezclador. Los líquidos que se deben añadir a cada uno son:
  - ✔ Tubo de ensayo 1: agua de mar estéril
  - ✔ Tubo de ensayo 2: etanol (EtOH)
  - ✔ Tubo de ensayo 3: líquido limpiador antiséptico
    - – Mezcle el líquido limpiador antiséptico con el mezclador durante unos segundos y, a continuación, seque el mezclador con un pañuelo de papel limpio. A continuación, mezcle el etanol durante unos segundos con el mezclador y, a continuación, seque el mezclador con un pañuelo de papel limpio. Por último, mezcle el agua de mar durante unos segundos y, a continuación, seque el mezclador con un pañuelo de papel limpio.
    - – Cuando sea necesario mezclar varias muestras de *Artemia* con el mezclador, repita este proceso de limpieza entre cada muestra.
- Si se utiliza una batidora de laboratorio Stomacher, no es necesario seguir ningún paso de limpieza específico.
- Mezcle los nauplios en el tubo estéril utilizando la batidora a alta velocidad, o homogenícelos en la bolsa estéril Stomacher a alta velocidad, hasta que solo se observen restos y ya no haya nauplios de *Artemia* intactos en la suspensión. Esta *Artemia* suspensión de restos de nauplios representa una dilución 10^0.

- Continúe con el resto del protocolo lo antes posible y no deje reposar la suspensión de restos de nauplios de *Artemia* a temperatura ambiente, ya que el recuento bacteriano puede cambiar rápidamente. Si no es posible procesar la muestra inmediatamente, guárdela a 4 °C, pero analícela lo antes posible.
- Realice una serie de diluciones decuplicadas de la suspensión de restos de nauplios de *Artemia*:
  - ✔ Con una pipeta estéril, transfiera 1 ml de la suspensión de restos de nauplios de *Artemia* a un tubo de ensayo estéril lleno de 9 ml de agua de mar estéril. Cierre el tubo de ensayo y homogenícelo. Esto corresponde a la dilución 10^{-1}.
  - ✔ A continuación, con otra pipeta estéril, transfiera 1 ml del tubo de ensayo con la dilución 10^{-1} a un segundo tubo de ensayo lleno de 9 ml de agua de mar estéril 10^{-2}.
  - ✔ Cierre el segundo tubo de ensayo y homogenice. Esto representa una dilución de 10^{-2}.
  - ✔ Repita este proceso para obtener diluciones de 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, y así sucesivamente hasta alcanzar la dilución objetivo. La dilución objetivo 10^{-X} es aquella que da como resultado un número de colonias comprendido entre 30 y 300 tras el crecimiento en la placa de agar.
  - ✔ Por último, realice una dilución más de $10^{-(X+1)}$.
  - ✔ Al realizar el sembrado por primera vez, se desconoce la dilución objetivo, por lo que es necesario preparar suficientes diluciones. Según la experiencia, la dilución objetivo se conoce tras realizar varios sembrados en agar.

  Determine la densidad de nauplios en el recipiente de 1 L del que se extrajeron los nauplios para el plaqueado:
  - ✔ Extraiga una muestra de 1 ml del recipiente de 1 L utilizando una pipeta de 1 000 µl. Asegúrese de que la abertura de la punta de la pipeta sea lo suficientemente grande como para permitir la recogida de los nauplios de *Artemia*.
  - ✔ Transfiera la muestra a una placa de Petri provista de una rejilla de recuento con una fina capa de agua de mar.
  - ✔ Repita los dos pasos anteriores 10 veces para obtener 10 placas de Petri que contengan nauplios de *Artemia*.
  - ✔ Añada a cada placa de Petri unas gotas de solución de lugol para fijar y teñir los nauplios de *Artemia*.
  - ✔ Cuente la cantidad de nauplios en cada placa de Petri.
  - ✔ Calcule la densidad media de los nauplios (***Artemia*/ml**) en el recipiente de 1 L tomando la media de las 10 placas de Petri.
  - ✔ Multiplique este volumen por 100 para obtener el número de nauplios de *Artemia* en la suspensión de restos de nauplios (#*Artemia*/suspensión de restos de nauplios). Este valor es necesario para calcular la carga bacteriana en los nauplios (ver a continuación: Calcular la carga bacteriana).
  - ✔ **#*Artemia* / suspensión de restos de nauplios = *Artemia* / ml × 100 ml**

Esparcimiento de muestras de dilución en las placas de agar

- La siembra de las muestras de dilución debe realizarse de forma estéril. Por lo tanto, se debe trabajar en una cabina de flujo laminar o muy cerca de un mechero Bunsen encendido.

- Siembre cada una de las diluciones del agua de eclosión de *Artemia* o de la suspensión de restos de nauplios en el medio de agar de su elección (normalmente agar marino o agar TCBS):
  - ✔ Tome 2 espátulas Drigalski de plástico estériles o, alternativamente, 2 espátulas Drigalski de metal y sumérjalas en etanol.
  - ✔ En el caso de las espátulas de metal, manténgalas durante 2 segundos en la llama del mechero Bunsen hasta que el etanol se haya evaporado. Deje que las espátulas Drigalski de metal se enfríen. Ahora están estériles: no toque las espátulas hasta que sea necesario para esparcir las muestras en la placa.
  - ✔ Aplique Vortex a la muestra más diluida, extraiga 100 µl con una micropipeta con punta estéril y deposítela en una placa de agar sin usar etiquetada como "$10^{-(x+1)}$, A". Repita utilizando una nueva punta de pipeta estéril, pero coloque esta segunda muestra en otra placa de agar etiquetada como "$10^{-(x+1)}$, B". Estas dos placas son duplicados.
  - ✔ Repita los pasos anteriores para todas las diluciones que se vayan a sembrar. El resultado es el siguiente conjunto de placas de agar, cada una de las cuales contiene 100 µl de muestra diluida:
    - $10^{-(X+1)}$, A y $10^{-(X+1)}$, B
    - 10^{-x}, A y 10^{-x}, B
    - $10^{-(X-1)}$, A y $10^{-(X-1)}$, B
    - $10^{-(X-2)}$, A y $10^{-(X-2)}$, B
    - …
    - 10^{0}, A y 10^{0}, B

      Cuando – basado en la experiencia – la dilución objetivo es conocida, solo las siguientes placas pueden ser inoculados con 100 µl: $10^{-(X+1)}$, 10^{-x}, $10^{-(X-1)}$
  - ✔ Tome la placa "A" con la dilución más alta, $10^{-(x+1)}$, y utilice una espátula Drigalski estéril.
  - ✔ Extienda la muestra de 100 µl de manera homogénea por toda la placa moviendo la espátula Drigalski de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba. A continuación, mantenga la placa abierta unos instantes hasta que se seque y vuelva a cerrarla.
  - ✔ Pase a la placa "A" con la segunda dilución más alta, 10^{-X}, y repita el procedimiento de sembrado. No es necesario desinfectar la espátula entre cada paso.
  - ✔ Repita esto para todas las placas "A", pasando de la dilución más alta a la más baja.
  - ✔ A continuación, repita los tres pasos anteriores para las placas "B" duplicadas, pero utilice la otra espátula Drigalski.
  - ✔ Cuando se hayan sembrado todas las placas, séllelas con parafilm e incúbelas durante 48 h a 28–30 °C boca abajo.

Conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC)

- Tras 24 horas de incubación, se cuenta por primera vez el número de colonias de cada placa y se anota. Las colonias contadas se marcan con un rotulador en la tapa o en el fondo de las placas. Tras este primer recuento, las placas se incuban durante otras 24 horas a 28-30 °C, colocadas boca abajo. Tras estas 24 h adicionales de incubación (= 48 h de incubación en total), se cuentan

también las colonias que han crecido entre las 24 h y las 48 h, y se suman al número de colonias a las 24 h para obtener el número total de UFC.

- Las placas con <30 colonias y >300 colonias por placa no se tienen en cuenta para calcular la carga bacteriana. Se considera que menos de 30 colonias no es aceptable por razones estadísticas, mientras que más de 300 colonias se considera demasiado difícil para distinguir claramente las UFC separadas.
- Las colonias que se solapan y que no tienen un núcleo claramente separado se cuentan como 1 colonia.
- Cuando se utiliza agar TCBS, deben contarse las colonias verdes y amarillas.

Cálculo de la carga bacteriana

- Antes de calcular la carga bacteriana, se debe comprobar si las placas "A" y "B" de la misma dilución presentan un número similar de colonias (dentro del mismo rango de 10 veces). De no ser así, el protocolo no se ha ejecutado correctamente y los resultados no serán fiables.
- Para calcular la carga bacteriana en el agua de eclosión de *Artemia* ("UFC/ml de agua de eclosión"), se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{CFU/ml} = [Z / V_{tot}]$$

Dónde:

Z = es la suma del conteo de todas las placas en todas las diluciones y duplicados luego de 48 horas de incubación;

$V_{tot.}$ = suma de todos los volúmenes (en ml) de la muestra inoculada en todas las placas.

V_{tot} se calcula así:

$$V_{tot} = n \times V \times (d_1 + d_2 + ... + d_{x+1})$$

Dónde:

n = número de replicas por dilución = 2 (placa A y placa B);

V = volumen de la muestra inoculada en cada placa en ml = 0.1 ml;

$d_1 + d_2 + ... + d_{x+1}$ = diluciones de las muestras inoculadas en las placas (d = 1 para dilución 10^0, d= 0.1 para dilución 10^{-1}, d = 0.01 para dilución 10^{-2}, etc, hasta d = 0.00…01 para dilución $10^{-(x+1)}$.

- Si hay menos de 30 colonias en las placas de la dilución 100, el resultado se indica como < 300 UFC/ml.
- Si crecen más de 300 colonias en las placas de la dilución más alta $10^{-(X+1)}$, el resultado se indica como $>3.0 \times 10^{(X+3)}$ CFU/ml.
- Para calcular la carga bacteriana en los nauplios de *Artemia*, primero hay que calcular la carga bacteriana en la suspensión de restos de nauplios "UFC/ml de suspensión de restos de nauplios de *Artemia*". Esto se hace exactamente igual que para la carga bacteriana en el agua de eclosión de *Artemia*, pero ahora utilizando los recuentos de colonias de las placas inoculadas con la suspensión de restos de nauplios de *Artemia* (o sus diluciones). Esto da como resultado el número de "UFC/ml de suspensión de restos de nauplios de *Artemia*".
- A continuación, la carga bacteriana por nauplio de *Artemia* (UFC/nauplio de *Artemia*) puede calcularse por pasos teniendo en cuenta las siguientes fórmulas:

- Para calcular la carga bacteriana en la suspensión de restos de nauplios de *Artemia*, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mathbf{CFU}_{\mathbf{ArtSus}} = \text{CFU/ml suspensión de restos de nauplios de } \textit{Artemia} = [Z / V_{tot}]$$

Dónde:

Z = suma de todas las colonias contadas en todas las placas en todas las diluciones y duplicados luego de 48 horas de incubación;

$V_{tot.}$ = suma de todos los volúmenes (en ml) de la muestra inoculada en todas las placas.

V_{tot} calculada así:

$$V_{tot} = n \times V \times (d_1 + d_2 + ... + d_{x+1})$$

Anexo 12

EL CONSORCIO INTENACIONAL SOBRE LA ACUICULTURA DE *ARTEMIA*

Hace más de 40 años, el Estudio Internacional sobre *Artemia*, un estudio interdisciplinario sobre las especies y cepas de *Artemia*, generó conocimientos fundamentales que dieron lugar a importantes avances en la acuicultura de peces y crustáceos. Gracias a este estudio, a la publicación del primer manual sobre *Artemia* (Sorgeloos *et al*., 1986) y a la organización de cursos de formación locales, se identificaron muchos nuevos recursos relacionados con *Artemia* y se generalizó el uso de quistes en los criaderos.

Hoy en día, *Artemia* sustenta la producción de alrededor de 10 millones de toneladas de productos acuícolas de alto valor. Anualmente se comercializan entre 3 500 y 4 000 toneladas de quistes, pero alrededor del 90 % de estos quistes siguen obteniéndose de lagos salados naturales, que se encuentran en constante riesgo debido a las actividades humanas y a la variación climática. Es necesario desarrollar un suministro sostenible de quistes a partir de fuentes alternativas para garantizar el abastecimiento a los criaderos destinados a la producción de semillas para la acuicultura.

El Consorcio Internacional de Acuicultura de *Artemia* (IAAC) es una nueva iniciativa que reúne a 46 universidades e instituciones de I+D de más de 30 países, auspiciada por la Red de Centros de Acuicultura de Asia-Pacífico. El consorcio tiene como objetivo garantizar el suministro sostenible de Artemia a la industria acuícola y ampliar los límites del conocimiento, explorando nuevas oportunidades en:

- Conservación de la biodiversidad de *Artemia* y de lagos salinos.
- Uso de protocolos y directrices con base científica para la recolección sostenible de fuentes silvestres.
- Oportunidades socioeconómicas para la integración de la producción de *Artemia* como fuente de ingresos complementarios en las numerosas salinas artesanales estacionales de Asia y África.
- Estudiar el impacto de cambio climático en la producción de *Artemia*.
- Ampliación de los conocimientos sobre cuestiones de biología básica de *Artemia* (partenogénesis, diapausa, metabolismo lipídico, etc.).
- Desarrollo de nuevas aplicaciones mediante la selección de cepas y la cría selectiva.
- Integración de la cría extractiva de *Artemia* con la acuicultura intensiva de peces y crustáceos.
- Uso de la biomasa de *Artemia* como ingrediente proteico de alto valor en las dietas humanas locales.
- Difusión de directrices de utilización mejoradas y de servicios de formación y extensión.
- Elaboración de directrices sobre la certificación de los productos de quistes de *Artemia* en lo que respecta a cuestiones como la especie, la cepa, el origen geográfico, las condiciones para obtener tasas de eclosión óptimas y los protocolos de recolección sostenible.

El papel del IAAC en el desarrollo de la tecnología y el manejo sostenible de los recursos naturales de *Artemia* fue reconocido formalmente por el Undécimo Comité de Pesca (COFI) de la FAO, Subcomité de Acuicultura (SCA), celebrado en Roma en 2022. La 12a reunión del COFI-SCA, celebrada en México (Hermosillo, 2023), recomendó además la elaboración de protocolos sobre prácticas de recolección sostenible de recursos silvestres y la certificación de productos de quistes, junto con iniciativas para conservar la biodiversidad.

Para obtener más información sobre el IAAC, incluidas sus actividades, sus miembros y sus comités directivos y consultivos, consulte el sitio web del Consorcio: www.artemia.info.

El IAAC se conceptualizó en noviembre de 2019 durante una reunión de acuicultura en Kuala Lumpur. De izquierda a derecha: Meezanur Rahman, Yeong Yik Sung, Sui Liying, Patrick Sorgeloos, Gilbert Van Stappen y Nguyen Van Hoa



Referencia:

Sorgeloos, P., Lavens, P., Léger, Ph., Tackaert, W. y Versichele, P. 1986. *Manual for the culture and use of brine shrimp Artemia in aquaculture*. State University of Ghent, Belgium, 319 pp.

Esta publicación de la FAO sobre la *Artemia* es un manual dirigido a todas aquellas personas que utilizan la *Artemia* o tienen interés en este organismo, ya sea como fuente de alimento vivo en los criaderos, como organismo modelo en la investigación o para cualquier otro fin. Está destinado a quienes deseen actualizar sus conocimientos sobre su biología, producción o uso, pero también a quienes quieran familiarizarse con la *Artemia* por primera vez. Un equipo de destacados expertos en *Artemia* de todo el mundo, con diversos antecedentes y experiencia, y que trabajan en la investigación, la educación y/o la industria, ha contribuido conjuntamente a su redacción.

Este manual presenta de forma concisa información esencial sobre la biología de la *Artemia* y los recursos naturales de quistes más importantes que llegan al mercado de la acuicultura. También proporciona información detallada sobre los principios generales y los procedimientos prácticos para producir *Artemia* en estanques y en sistemas de tanques. Por último, el manual ofrece una recopilación de directrices y metodologías de vanguardia relacionadas con el uso adecuado de este organismo vivo fundamental en la acuicultura. Las ilustraciones, tablas y hojas de trabajo prácticas ayudarán al lector a aplicar los procedimientos correctos en la producción y el uso de la *Artemia*. Esta publicación es imprescindible para cualquiera que trabaje con este organismo único.

International
Artemia
Aquaculture
Consortium

ISBN 978-92-5-140979-4 ISSN 2070-7037

9 789251 409794

CD0313ES/1/09.26