

ACUICULTURA EN ASOCIACIONES CAMPESINAS RURALES DE LA PARTE NORTE DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA (COLOMBIA): ACUICULTURA DE RECURSOS LIMITADOS (AREL)

M. Palencia, T.A. Lerma, V.J. Palencia-Luna.



MT-Pallantia
Publisher

**Acuicultura en asociaciones campesinas rurales de la parte
norte del departamento de Córdoba (Colombia):
Acuicultura de Recursos Limitados (AREL)**



MT-Pallantia Publisher s.a.s. | ISBN 978-628-95372-1-5
Cali - Colombia 2023

Acuicultura en asociaciones campesinas rurales de la parte norte del departamento de Córdoba (Colombia): Acuicultura de Recursos Limitados (AREL)

Manuel Palencia

GI-CAT, Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali – Colombia.

Tulio A. Lerma

Mindtech-RG, Mindtech s.a.s., Montería – Colombia.

*Unidad de Desarrollo Tecnológico en Nuevos Materiales (UDT-NM), Polymeiker
sa.s., Montería – Colombia.*

Víctor J. Palencia Luna

Mindtech-RG, Mindtech s.a.s., Montería – Colombia.

*GIQBID, Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica “Golden-Hammer”, Montería
– Colombia.*



MT-Pallantia Publisher s.a.s. | ISBN 978-628-95372-1-5
Cali - Colombia 2023

Acuicultura en Asociaciones Campesinas Rurales de la Parte Norte del Departamento de Córdoba (Colombia): Acuicultura de Recursos Limitados (AREL).

Editors: Manuel Palencia, Tulio A. Lerma, Víctor J. Palencia-Luna

Publisher: MT-Pallantia Publisher s.a.s. | NIT: 901.469.254-6

ISBN 978-628-95372-1-5

DOI: 10.34294/b.003.2023.09

Language: Spanish

Cali - Colombia 2023



This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright the publisher according to License CC BY-ND 4.0



Publisher: MT-Pallantia Publisher s.a.s.
Editorial Project Manager: A. García-Quintero
Production Project Manager: A. García-Quintero, M.D. Palencia-Bolaños
Cover Designer: M.D. Palencia-Bolaños

Funds:

Desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas polímero-membrana de bajo consumo energético adaptable a familias campesinas, comunidades rurales, costeras y agropecuarias. Departamento Nacional de Planeación a través del Sistema General de Regalías y Mindtech s.a.s. Proyecto BPIN 2020000100261.

Cite as:

M. Palencia, T.A. Lerma, V.J. Palencia-Luna. 2023. Acuicultura en asociaciones campesinas rurales de la parte norte del departamento de Córdoba (Colombia): Acuicultura de Recursos Limitados (AREL). MT-Pallantia Publisher s.a.s., Cali – Colombia, pp. 106. DOI: 10.34294/b.003.2023.09.

Capítulo 3.

Acuicultura 4.0: Un enfoque conceptual

M. Palencia, A. García-Quintero, V.J. Palencia-Luna,
L.R. Anaya-Tatis, R.A. Bolaño-Vásquez

3.1.- El entorno de producción en la acuicultura: Descripción desde la perspectiva de sistema.

La acuicultura es un sector de la producción de alimento con un constante crecimiento. El éxito de la acuicultura en términos de producción se sustenta en el monitoreo y control de los factores que determinan el rendimiento del cultivo. Entre estos factores se encuentra la disponibilidad del agua, en cantidad y calidad, dado que es uno de los principales insumos productivos, la densidad de siembra, la que estará directamente relacionada con la alimentación y otras condiciones como la disponibilidad de oxígeno, la generación de residuos y la perturbación del entorno de crecimiento a medida que avanza el proceso productivo; otros factores a tener en cuenta es la calidad de la semilla, su naturaleza y las características del mercado (Vásquez-Quispesivana et al., 2022). En este contexto, resulta conveniente visualizar el entorno de producción como un proceso basado en procesos de biotransformación controlada que tienen lugar en un sistema dinámico y abierto. La principal analogía es, por su similitud conceptual, un biorreactor, el cual es un sistema de crecimiento de múltiples entidades bajo condiciones controladas para un fin en específico.

Cite as: M. Palencia, A. García-Quintero, V.J. Palencia-Luna, L.R. Anaya-Tatis, R.A. Bolaño-Vásquez. 2023. Acuicultura 4.0: Un enfoque conceptual. En: M. Palencia, T.A. Lerma, V.J. Palencia-Luna. Acuicultura en asociaciones campesinas rurales de la parte norte del departamento de Córdoba (Colombia): Acuicultura de Recursos Limitados (AREL). MT-Pallantia Publisher s.a.s., Cali - Colombia. pp. 50-63. DOI: 10.34294/b.003.c3.2023.09.

Bajo la óptica anterior, un entorno de crecimiento acuícola puede describirse como un sistema abierto, de matriz fluida de naturaleza acuosa, composición compleja y cambiante en el tiempo, donde tiene lugar, de forma controlada, la biogeneración de proteína animal a través de distintos procesos de transferencia de materia y energía desde el sistema al entorno y viceversa. Si imaginamos una situación ideal, un sistema cerrado donde se encuentra un único individuo en un metro cúbico agua, en su etapa inicial de su ciclo de crecimiento, el sistema no será viable. Las razones de la no favorabilidad, en concordancia con el concepto introducido, son:

- a) El medio no puede ser agua, el agua pura en esencia no aporta los requerimientos composicionales necesarios para el crecimiento del animal, en consecuencia, debemos referirnos al medio en términos de "matriz de naturaleza fluida acuosa" para especificar que realmente el medio de crecimiento es un ecosistema en sí mismo, con una composición compleja, características cambiantes y, además del animal de interés, están presentes otras entidades biológicas;
- b) Si el sistema es cerrado, no tienen lugar procesos de transferencia de materia desde el sistema al entorno, así como del entorno al sistema, en consecuencia, el crecimiento del animal agotará los recursos disponibles, por ejemplo, el oxígeno, y si estos no se reabastecen, el crecimiento se detendrá. Así mismo, también como resultado del crecimiento, más específicamente el metabolismo del animal, se producirán cambios en el medio de crecimiento, lo que también dará lugar a quimio-transformaciones que alteraran el medio hacia condiciones menos favorables;
- c) La composición compleja ha quedado descrita con los aspectos previamente indicados, sin embargo, esta composición no es sólo de naturaleza multicomponente, sino que es variable, es decir, dos sistemas no serán completamente idénticos debido a que los procesos que tienen lugar en ellos serán diferentes. Esto implica la definición de rangos y valores medios, límites u óptimos de trabajo;
- d) El animal en sí mismo es un biorreactor, consume el alimento y otros insumos del medio para biotransformarlo en proteína que es incorporada, con distinto grado de eficiencia, en el tejido vivo.

En sentido estricto, el animal es un subsistema, y el sistema de crecimiento un sistema de mayor escala que lo contiene. Este sistema de mayor escala intercambia materia y energía con el entorno, de forma similar

que lo hace el subsistema. Todos estos procesos van direccionados hacia una meta en común, el incremento de proteína animal tanto en el individuo (subsistema) como en el sistema (conjunto de individuos definidos por la densidad poblacional existente), por lo tanto, tanto el sistema como el subsistema, no son estáticos, cambian en el tiempo y los cambios responden a las características del entorno de cada uno de ellos, así como de los procesos que entre el sistema y su correspondiente entorno tengan lugar. Una ilustración se muestra en [Figura 3.1](#). Nótese que la definición de sistema introducida aquí tiene un enfoque material, o si se prefiere físico, a diferencia del concepto de sistema dentro del marco de lo que se define como proceso, esto es, un sistema entendido como una unidad productiva compuesta por parte interrelacionadas para un mismo fin.

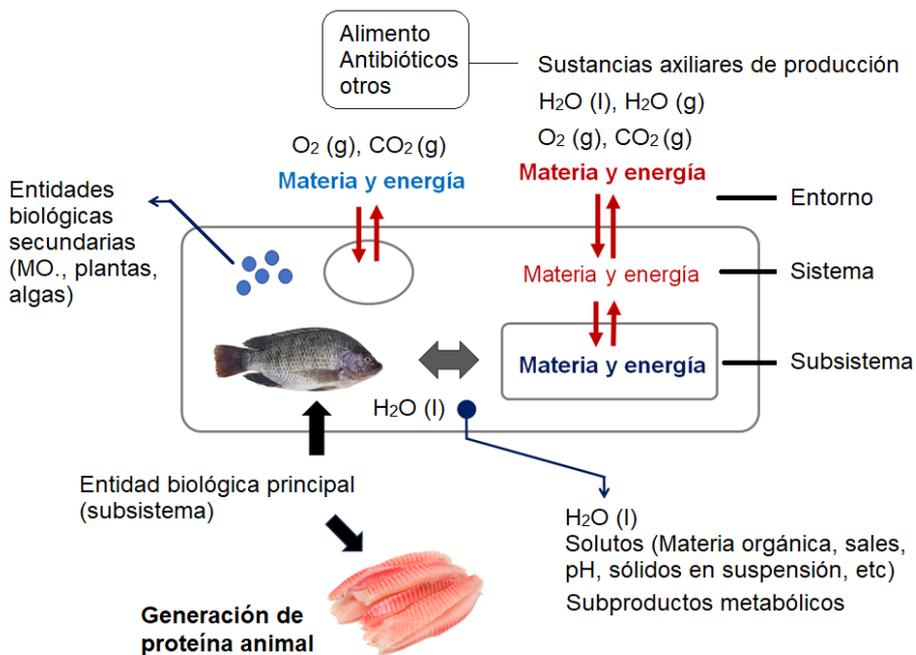


Figura 3.1. Esquemización del entorno de producción como un sistema (fuente: elaboración propia).

La descripción basada en sistemas materiales, contempla sin lugar a dudas múltiples subsistemas biológicos desarrollándose simultáneamente bajo las mismas condiciones de crecimiento. En consecuencia, más que interacciones cooperativas, tienen lugar interacciones competitivas por los recursos, tanto en entidades biológicas de especies diferentes como en

individuos de la misma especie. En consecuencia, las medidas sobre el sistema deben direccionarse hacia el favorecimiento de una entidad biológica respecto a las demás, de forma tal, que se maximice el crecimiento de la especie de interés. Otro enfoque, dependiendo de las características del sistema de producción, permitiría agregar a la afirmación previa la siguiente especificación “sin perjuicio de las entidades biológicas del entorno”, un ejemplo donde la aclaración anterior adquiere relevancia es el caso en que la reproducción se realiza en cuerpos de aguas naturales. En sentido estricto, desde el punto de vista de la eficiencia productiva, todo aquello que genere o contribuya a la disminución de los rendimientos debe ser intervenido de forma tal que se minimice el efecto en cuestión. Por ejemplo, en lo que respecta a la calidad del agua variables como temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad total, dureza total, nitritos, amonio total, entre otros parámetros deben ser optimizados, ellos variarán en la medida que avanza el proceso de producción. Otro ejemplo es la dosificación del alimento, el cual varía según la especie y para lo cual, en algunos casos, se cuentan con tablas de ración de alimento versus peso promedio del pez. Una ilustración se muestra en la [Figura 3.2](#).

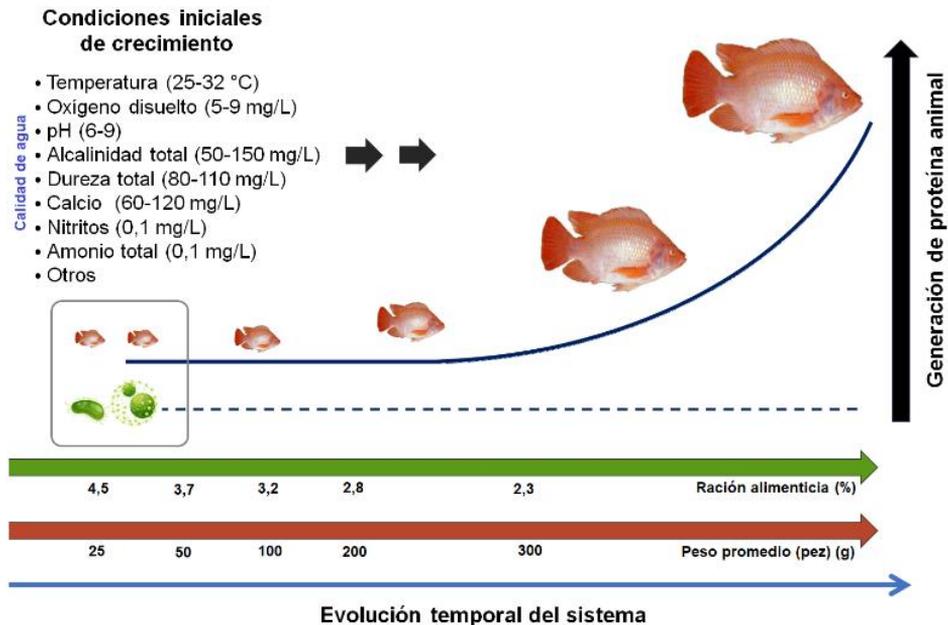


Figura 3.2. Ilustración de la evolución de las condiciones en el sistema de producción. Datos suministrados corresponden al cultivo de tilapia (fuente: elaboración propia; datos: Saavedra, 2006).

A partir de lo previamente expuesto es claro que, para el desarrollo óptimo del proceso de producción se requiere de la estandarización, seguimiento y control de un conjunto de variables tanto de origen fisicoquímico (e.g., calidad del agua, temperatura, etc.), biológico (e.g., ración de alimento, control microbiológico, etc.), biofísico (e.g., densidad de siembra), así como factores propios de la cadena de suministro (e.g., tipo y calidad de alimento, semillas, tipo de animal, etc.). En todas estas variables, así como en su convergencia y efecto para la maximización de la producción es posible la incorporación de nuevas tecnologías. Esta inmersión tecnológica implica la transformación productiva de la acuicultura, y es bajo este enfoque que surge la Acuicultura 4.0. Este concepto es análogo al de industria 4.0, sólo que delimitado al contexto de la producción acuícola. En los siguientes capítulos se dará una visión general del estado actual de esta innovación productiva y se analizará su impacto y capacidad de incorporación en sistemas de pequeña escala.

3.2.- Acuicultura 4.0: Una introducción conceptual.

La Acuicultura 4.0 consiste en la producción controlada de distintas especies acuáticas, mediante el uso de nuevas tecnologías de la información (NTI), i.e., sistemas de adquisición, procesamiento y análisis, con el fin de maximizar la producción. Entre las nuevas tecnologías se incluye la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT o Internet of Things), el big data, entre otros (Yue y Shen, 2022; Eze et al., 2023).

Para los fines del presente documento resulta importante delimitar adecuadamente el concepto anterior, nótese que la implementación de las NTI en etapas que no corresponde al proceso productivo acuícola, no se consideran para este documento Acuicultura 4.0, sino más bien extensiones de otros campos, por ejemplo, operaciones de venta del producto o control de calidad de la carne procesada. El primer ejemplo recae en una etapa del sector de la acuicultura asociada con la entrega del producto a los diferentes clientes, normalmente agrupados en la parte final de la cadena de valor, en este caso, la aplicación de las NTIs debería denominarse comercialización 4.0, comercialización inteligente, o marketing 4.0 asistido por las nuevas tecnologías, entre otras tantas denominaciones. Por otro lado, en el segundo ejemplo, más que acuicultura es una etapa de la transformación de materias primas propia de la industria de alimentos, la cual puede ir acompañada de las mismas adjetivaciones indicadas en la etapa de comercialización (ver Figura 3.3).

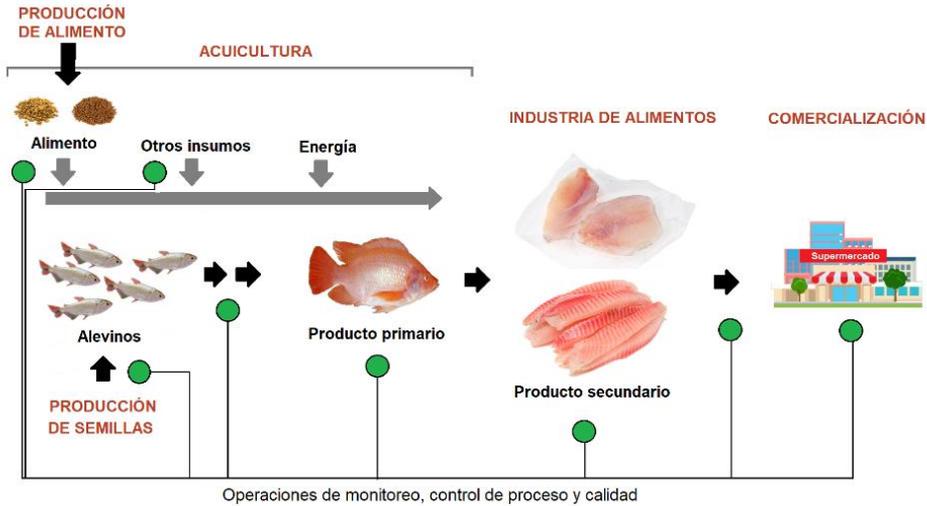


Figura 3.3. Ilustración de la cadena de valor de la acuicultura (fuente: elaboración propia).

Aunque interesante, lograr la transformación tecnológica de los sectores de producción, a primera vista puede pensarse que este tipo de innovaciones es sólo accesible en sistemas de producción de gran escala, de alta rentabilidad y que cumplen con los requerimientos mínimos en tema de infraestructura de producción idónea, conocimiento de proceso productivo, equipamiento para el procesamiento de datos, así como el conocimiento y apropiación de las NTI. Teniendo en cuenta que los requerimientos de implantación de estas tecnologías se suplen con recursos de inversión, la escasez de recursos parece ser la principal limitante para la implementación de esta tecnología en sistemas de producción de pequeña escala típico de la acuicultura de recursos limitados (AREL). Sin embargo, la transformación tecnológica es una realidad en muchos sistemas de producción, en consecuencia, con el crecimiento cada vez mayor de la acuicultura, podría pensarse que la estrategia de transformación tecnológica no radica en la tecnología en sí mismo, sino más bien en la forma en cómo se de la transición, así pues, el motor que posibilite la inserción de esta tecnología a sistemas de pequeña escala puede ser de origen gubernamental, o a través de pequeños pasos mediante sistemas de transferencia remota de datos.

Algunos de los aspectos críticos que se abordan desde la perspectiva de la Acuicultura 4.0, por ejemplo, en sistemas de recirculación de agua (RAS) son: el control de bioseguridad (e.g., control digital de protocolos de cuarentena, desinfección, control de movimiento de personal y

procesamiento de ingreso a instalaciones), monitoreo y control de materias primas y recursos (e.g., monitoreo 24/7 de todos los componentes asociados con la calidad del agua y demás variables susceptibles de medida, en lo que se incluye la activación automática de sistemas de respaldo de emergencia, o sistemas de dosificación, entre otros) (Biazi y Marques, 2023), además, en un contexto más amplio, algunos ejemplos de avances en este campo son: alimentación remota mediante smartphones, monitoreo de los parámetros de calidad de agua y su relación con el crecimiento de los peces, evaluación de la densidad poblacional, optimización de la calidad del alimento mediante en función de la temperatura y el oxígeno disuelto, entre otros (Deng et al., 2010; Atia et al., 2011; Saberioon and Cisar, 2018; Imaït et al, 2019; Vásquez-Quispesivana et al., 2022; Biazi y Marques, 2023).

3.3.- Ejemplo 1: Acuicultura 4.0 en la evaluación del crecimiento y determinación de la masa de los peces.

Un ejemplo en específico, con características prácticas y sobre el cual se puede ilustrar la aplicación de las NTI en acuicultura, es la medición de la masa de los peces. Este problema adquiere particular importancia no sólo en la etapa final del proceso productivo, ya que, idealmente, esta debe medirse durante el proceso con el fin de estimar la tasa de conversión proteica que está teniendo lugar. A partir de esta información se definen aspectos cruciales como el régimen de alimentación, el consumo de oxígeno, la homogeneidad de tamaño, la dosificación de antibióticos, el tiempo de clasificación y el momento en el que se llevarán a cabo las operaciones de cosechas. De forma convencional, la masa de los peces se obtiene mediante operaciones de muestreo y pesaje, en consecuencia, la operación de muestreo implica la colección de datos de una muestra representativa, para lo que se debe utilizar un número apreciable de mano de obra e induce condiciones de estrés en los peces, así como el riesgo de lesiones (Biazi y Marques, 2023).

La propuesta a partir de las NTI consiste en emplear sistemas de visión artificial, la cual tiene la ventaja de ser no invasiva y requerir muy poca mano de obra. Sin embargo, bajo este enfoque se requiere cámaras sumergibles o similares, con lo que se ha obtenido un error entre el 2 y el 5 % de la media respecto a la medida directa. Entre las desventajas se encuentra el tener que realizar operaciones más complejas de calibración y manipulación, y el hecho de que no se proporciona la información en tiempo real debido al posprocesamiento de la información. Además, la resolución espacial es función de la distancia del pez respecto al sensor, siendo menor con el aumento de la distancia (Gokturk et al., 2004; Biazi y Marques, 2023). Otras

aproximaciones basadas en el uso de cámaras de dispositivos de descarga acoplada y de escaneo láser han sido propuestas. Sin embargo, sólo mostraron ser útiles a bajas densidades de siembra y además presentan el inconveniente de que la calidad de la medida se ve afectada por la iluminación (Biazi y Marques, 2023).

Si se analiza con más detalle el problema de la masa del pez, se puede ilustrar la complejidad primigenia de la inserción de la tecnología. En primer lugar, si se retoma la descripción del problema, se desea medir, de la forma más exacta posible, la masa promedio de los peces en el sistema de crecimiento mediante técnicas 4.0. Las primeras cosas en entender son: (i) el valor de la masa a obtener es de organismos vivos y, por tanto, entidades móviles con características variables entre los individuos, (ii) el resultado debe ser representativo de la población y, en consecuencia, se requiere de un nivel adecuado de significancia estadística (i.e., adecuado tamaño de la muestra, un procedimiento adecuado para la definición del muestreo, y la eliminación de cualquier sesgo que afecte el resultado), y (iii) debe ser consistente con el método de referencia. Como método de referencia se debe optar por el método de menor incertidumbre o cuya medida se asuma como estándar. Así, la medida directa emerge como la mejor alternativa. Para obtener estos valores de referencia implícitamente se está diciendo que, para establecer la validez de los resultados y de las comparaciones en sí, se debe contar con datos en las condiciones lo más parecidas a las condiciones de interés. Esto implica, realizar varias veces la medida de masa de forma directa, teniendo en cuenta que un esfuerzo extra de esta índole sólo se justifica en una ventana de tiempo lo suficientemente grande que diluya este esfuerzo inicial.

Por otro lado, se requiere un método simple y fácil de realizar para obtener la información. Por ejemplo, si acudimos a la visión artificial mediante cámaras digitales, se requiere poder capturar la imagen de los especímenes individualmente con niveles de reproducibilidad adecuados. Supongamos, por conveniencia, que este problema se resuelve mediante cabinas sumergidas donde el pez ingresa dentro de su movimiento habitual, de forma tal que, sólo pueda seguir una única trayectoria. Así, mediante sensores de movimiento es posible obtener la imagen del pez cuando ingrese al espacio de medida.

Hasta este punto, dependiendo del número de cabinas habrá un número de registros igual al número de imágenes que se registre en cada cabina. Es decir, para 3 imágenes por cabina y por individuo, se dispone de 3 cabinas, y se toman imágenes de 50 individuos por cabina, se tendrán 450 imágenes

que deberán ser procesadas y analizadas. En este punto se puede observar como la información para el análisis se incrementa drásticamente. Se debe ahora lograr conectar las imágenes con la masa del individuo, lo cual puede hacerse mediante las medidas de tamaño. Es decir, la visión artificial se usa para registrar características morfológicas que, mediante su análisis computarizado, permiten calcular el tamaño del pez. El peso de un pez y su longitud se relacionan, de forma aproximada, mediante la ecuación modificada de Gulland (Granados-Flores, 2006). Esto es:

$$\frac{w_t}{w_\infty} = (1 - e^{-k(t-t_0)})^3$$

donde w_t es el peso del pez cuando tiene una edad t , w_∞ es el peso máximo que el pez puede alcanzar, k es el coeficiente de crecimiento, y t_0 es la edad hipotética del pez para que su longitud sea igual a cero. Sin embargo, es importante indicar que existen varios modelos de crecimiento que pueden ser empleados. Por ejemplo, en biología marina se emplea el modelo de Von Bertalanffy, de Bolte-Nath-Ernst, el modelo aleatorio de crecimiento CCT biparamétrico, entre otros (Alamar et al., 2001; FAO, 2023; Vieira, 2023).

Disponiendo de una relación operativa de la masa en función de parámetros morfológicos que pueden ser monitoreados a partir de un sistema de captura de imágenes, para que el dispositivo de visión artificial esté finalizado, se requieren aún otros aspectos más. El primero de ellos es el procesamiento de la imagen con el fin de su traducción en los datos de interés, y lo segundo, es el procesamiento y validación de los datos para confirmar que la información obtenida es la que se está buscando, y, por último, construir una herramienta de trabajo, es decir, la métrica para el análisis de todo el ciclo productivo (ver Figura 3.4).

Nótese que, respecto al procesamiento de la imagen, esta corresponde a una proyección 2D de un objeto 3D. Además, se debe identificar en la imagen la información útil de la “no útil”, entre la no útil se encuentra el color (en caso de haberlo), fluctuaciones de la imagen por fluctuaciones del medio, destellos, segmentos de la imagen del entorno, etc. Posteriormente, extraída la morfología, esta puede presentar variantes respecto a la orientación y el perfil, por lo que aún deben extraerse las características dimensionales independientemente de la posición – claramente estos valores serán promedios de diferentes operaciones de extracción de datos a partir de imágenes diferentes –. Posteriormente, la validación de los datos implica la adquisición suficiente de datos que permitan establecer la calidad analítica del resultado, precisión, exactitud, su reproducibilidad, etc.

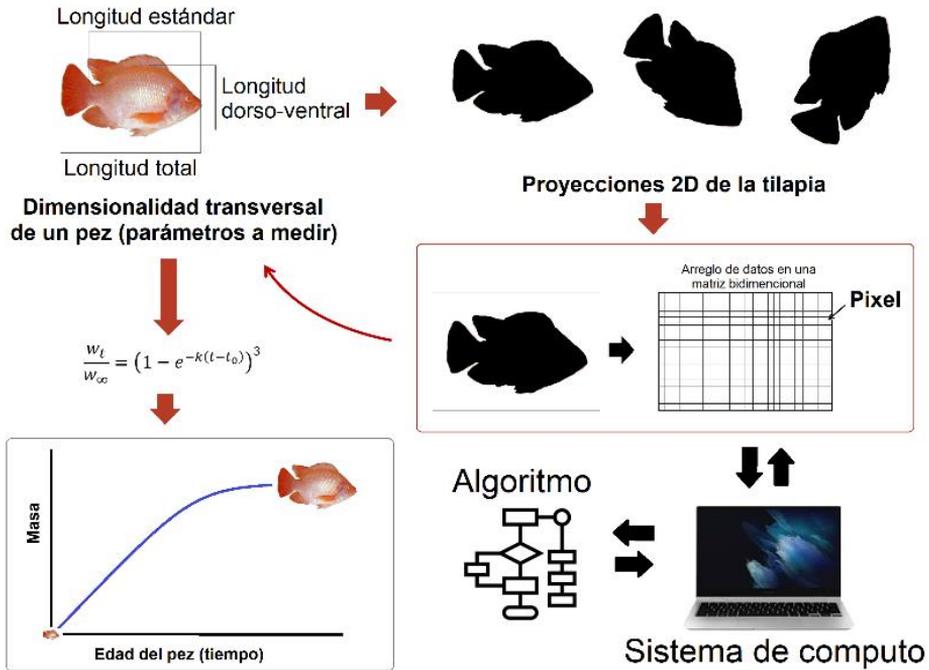


Figura 3.4. Ilustración una ruta de análisis basada en visión artificial para la determinación de la masa (fuente: elaboración propia).

Como puede inferirse del ejemplo anterior, existe un esfuerzo inicial relativamente grande, y un acumulado de conocimiento y técnicas que son requeridas, para poder establecer un sistema de medida de la masa de los peces de un cultivo mediante visión artificial. Esta ejemplificación pone en evidencia que la Acuicultura 4.0 es prometedora, sin embargo, se encuentra en un estadio inicial lo que la convierte en un nicho prometedor de investigación y desarrollo tecnológico.

3.4.- Ejemplo 2: la evaluación de la calidad del agua en acuicultura.

El monitoreo de la calidad del agua es un aspecto esencial en acuicultura, sin embargo, efectuar un monitoreo adecuado implica la realización de múltiples operaciones de medición de forma continua, con la mayor precisión posible, de un conjunto de parámetro que determinan en su conjunto la calidad del agua. Estas operaciones, mediante métodos convencionales, son costosos si se realizan a nivel de laboratorios externos, y requieren de una inversión inicial considerable si las medidas son realizadas mediante recursos disponibles. Una diferencia de las opciones

anteriores es la externalización de las necesidades de conocimientos específico en lo referente a los análisis cuando se efectúan mediante análisis externos. Pero a su vez, la externalización de los análisis y del conocimiento para su realización conlleva a un incremento en los tiempos para conocer los resultados y la inclusión de operaciones logísticas adicionales (e.g., toma de muestra, conservación, transporte de las muestras, etc.). En un sistema de producción estos tiempos adicionales son críticos, ya que, además de incrementar la complejidad del proceso, la toma de correctivos frente a una situación en específico se retrasa (Eze et al., 2023).

En este contexto, la Acuicultura 4.0 emerge como una alternativa que permite la construcción de sistemas de alerta temprana, basada en el monitoreo en tiempo real y metodologías de análisis y pronóstico de las tendencias en la variación de los datos. Dentro de las distintas metodologías que se han empleado para la evaluación de la calidad del agua, en distintos sistemas y fines, están: la IA basada en Redes Bayesianas, Regresión Vectorial, Inferencia Neuro-Fuzzy, Media móvil Autorregresiva, Análisis de Componentes Principales, entre otras (Ahmed et al., 2019; Ubah et al., 2021; Eze et al., 2023).

Para el análisis de la calidad del agua es importante definir el fin mismo del análisis. Esto definirá el dispositivo de adquisición de información. Por ejemplo, el uso de sensores específicos implica disponer de un conjunto de sensores que arrojan el valor de forma directa, pero se requerirán tantos sensores como parámetros, y los sistemas de análisis de información sólo registran e identifican tendencias. Claramente, una estrategia de este estilo implica sopesar la relación costo-beneficio y el aspecto central es la transmisión de datos para su procesamiento. Por otro lado, se puede establecer un rango de respuestas que engloben características variadas, de forma tal que el número de sensores se reduce drásticamente al unificarse en una única medida; sin embargo, el componente de análisis de datos se incrementa, por lo que el desarrollo de un sistema así aún es susceptible de investigación desde múltiples enfoques.

3.5.- Comentarios finales.

La Acuicultura 4.0 es el resultado de la evolución de la acuicultura en consonancia con las transformaciones tecnológicas que están ocurriendo en la actualidad. A diferencia de otros sectores y entornos de aplicación de estas tecnologías, la acuicultura tiene matices propios que requieren el ajuste de las NTI, principalmente en lo que al sistema productivo se refiere. Los sistemas de producción acuícola son un colectivo de organismos vivos

inmersos en un medio que no es el hábitat natural del investigador o del productor; lo que, en principio, impone el ajuste de las herramientas a un sistema diferente. En este sentido, es claro que la Acuicultura 4.0 se encuentra en un estado inicial de desarrollo, por lo que el potencial científico y tecnológico es muy alto.

En lo que respecta a las ilustraciones específicas aquí mostradas (secciones 3.3 y 3.4), la determinación de la masa de los peces tiene enorme relevancia y la visión artificial emerge como la más promisoría estrategia para la resolución del problema, sin embargo, se debe aclarar que no es única y que otras metodologías pueden emplearse, por ejemplo, mediante la medida de un parámetro del entorno que correlaciones fuertemente con el tamaño y masa de los peces. El crecimiento de los peces depende principalmente del tamaño y masa del pez, la disponibilidad de alimentos, el fotoperíodo, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto en el medio de crecimiento y las concentraciones de amonio (FAO, 2023). Finalmente, en relación con el ejemplo 2, la evaluación de la calidad del agua, por su importancia, son mayores sus avances y enfoques. En particular, se sugiere que el empleo de series de tiempo de un conjunto de parámetros principales puede ser una estrategia promisoría y bien establecida para la identificación de tendencias y predicción de eventos futuros.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, y al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto Desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas polímero-membrana de bajo consumo energético, adaptable a familias campesinas, comunidades rurales, costeras y agropecuarias - Proyecto BPIN 2020000100261.

Bibliografía.

- Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Shah A., Irfan R., García-Nieto J. **2019**. Efficient Water Quality Prediction Using Supervised Machine Learning. *Water*, 11, 2210. DOI: 10.3390/w11112210.
- Alamar M., Estruch V., Pastor J., Vidal A. **2001**. El modelo aleatorio de crecimiento CCT biparamétrico. VIII Congreso Nacional de Acuicultura, Santander, España.
- Atia, A.D.M., Fahmy, F. H., Ahmed, N. M., Dorrah, H.T. **2011**. Solar thermal aquaculture system controller based on artificial neural network. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 73, 378-384. DOI: 10.4236/eng.2011.38099.
- Biazi V., Marques C. **2023**. Industry 4.0-based smart systems in aquaculture: A comprehensive review. *Aquacultural Engineering*, 103, 102360. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2023.102360
- Deng, C., Gao, Y., Gu, J., Miao, X., Li, S. **2010**. Research on the growth model of aquaculture organisms based on neural network expert system. *Proceedings - 2010 6th International Conference on Natural Computation, ICNC 2010*, 4 1812-1815. DOI: 10.1109/ICNC.2010.5584492.
- Eze E., Kirby S., Attride J., Ajmal T. **2023**. Aquaculture 4.0: hybrid neural network multivariate water quality parameters forecasting model. *Scientific Reports*, 13, 16129. DOI: 10.1038/s41598-023-41602-7.
- FAO. **2023**. El modleo del crecimiento íctico. <https://www.fao.org/3/w5268s/W5268S09.htm>
- Granados-Flores K.M. **2006**. Estudio preliminar de edad y crecimiento de la Tilapia (*Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*), con base en escamas, en la Presa Fernando Hiriart Balderrama "Zimapán". Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., pp. 77.
- Imai, T., Arai, K., Kobayashi, T. **2019**. Smart aquaculture system: A remote feeding system with smartphones. 2019 IEEE 23 rd International Symposium on Consumer Technologies, ISCT 2019, 93-96. DOI: 10.1109/ISCE.2019.8901026.

- Ubah J.I., Orakwe L.C., Ogbu K.N., Awu J.I., Ahaneku I.E., Chukwuma E.C. **2021**. Forecasting water quality parameters using artificial neural network for irrigation purposes. *Scientific Reports*, 11, 24438. DOI: 10.1038/s41598-021-04062-5.
- Vásquez-Quispesivana W., Inga M., Betalleluz-Pallardel I. **2022**. Artificial intelligence in aquaculture: basis, applications and future perspective. *Scientia Agropecuaria*, 13. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2022.008
- Vieira A.R. **2023**. Assessment of Age and Growth in Fishes. *Fishes*, 8, 479. DOI: 10.3390/fishes8100479.
- Saavedra M.A. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. USAID, Nicaragua, pp. 24.
- Saberioon, M., Čísař, P. **2018**. Automated within tank fish mass estimation using infrared reflection system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 484-492. DOI: 10.1016/j.compag.2018.05.025.
- Yue K., Shen Y. **2022**. An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7, 111-120. DOI: 10.1016/j.aaf.2021.04.009.

