



Maximizando la productividad: el papel de los sensores en la acuicultura.

Manuel Espinoza-Ortega, Carla Torres, Carlos Mora-Pinargote
Arturo Moreno, Rafael Samaniego-Camacho, César Molina-Poveda.



OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros ambientales más críticos en la acuicultura, porque incide directamente en la producción, ya que dependiendo de su concentración en el agua puede afectar el rendimiento del camarón, factor de conversión alimenticia (FCA) y la capacidad de carga de la piscina. (Mustafa et al., 2022).

En la industria camaronera, a través del uso de sensores, el monitoreo del oxígeno disuelto es posible cada 5 - 10 min, ayudando a distribuir y controlar la alimentación en horas o eventos críticos, protegiendo de esta manera el FCA.

Esta limitación es significativa, especialmente en ambientes como estanques de cultivo de camarón, lagunas costeras y estuarios tropicales, donde es común encontrar bajos niveles de oxígeno, especialmente después de lluvias intensas de verano que aumentan la carga de materia orgánica en el agua. Por otro lado, la temperatura es un parámetro influenciado por la estación del año, la latitud, altitud, hora del día, circulación del aire, cobertura de las nubes y el flujo y profundidad del cuerpo de agua (Yamanaka, 2016). Este parámetro ambiental también es clave en el cultivo de camarón, debido a su efecto sobre actividades biológicas como la alimenticia, que puede aumentar o disminuir dependiendo de la temperatura (Spanopoulos-Hernández et al., 2005).

Por esta razón, registrar y supervisar este parámetro es vital para controlar crecimiento y conversión alimenticia. La temperatura juega un papel decisivo en el crecimiento de los camarones, ya que por lo general, a temperaturas más altas se observa un mayor crecimiento. La tolerancia a la temperatura, los rangos óptimos y cómo esta influye en el crecimiento dependen de factores como la especie, la edad, la salinidad y la concentración de OD, entre otros (Bett y Vinatea, 2009; Spanopoulos- Hernández et al., 2005).

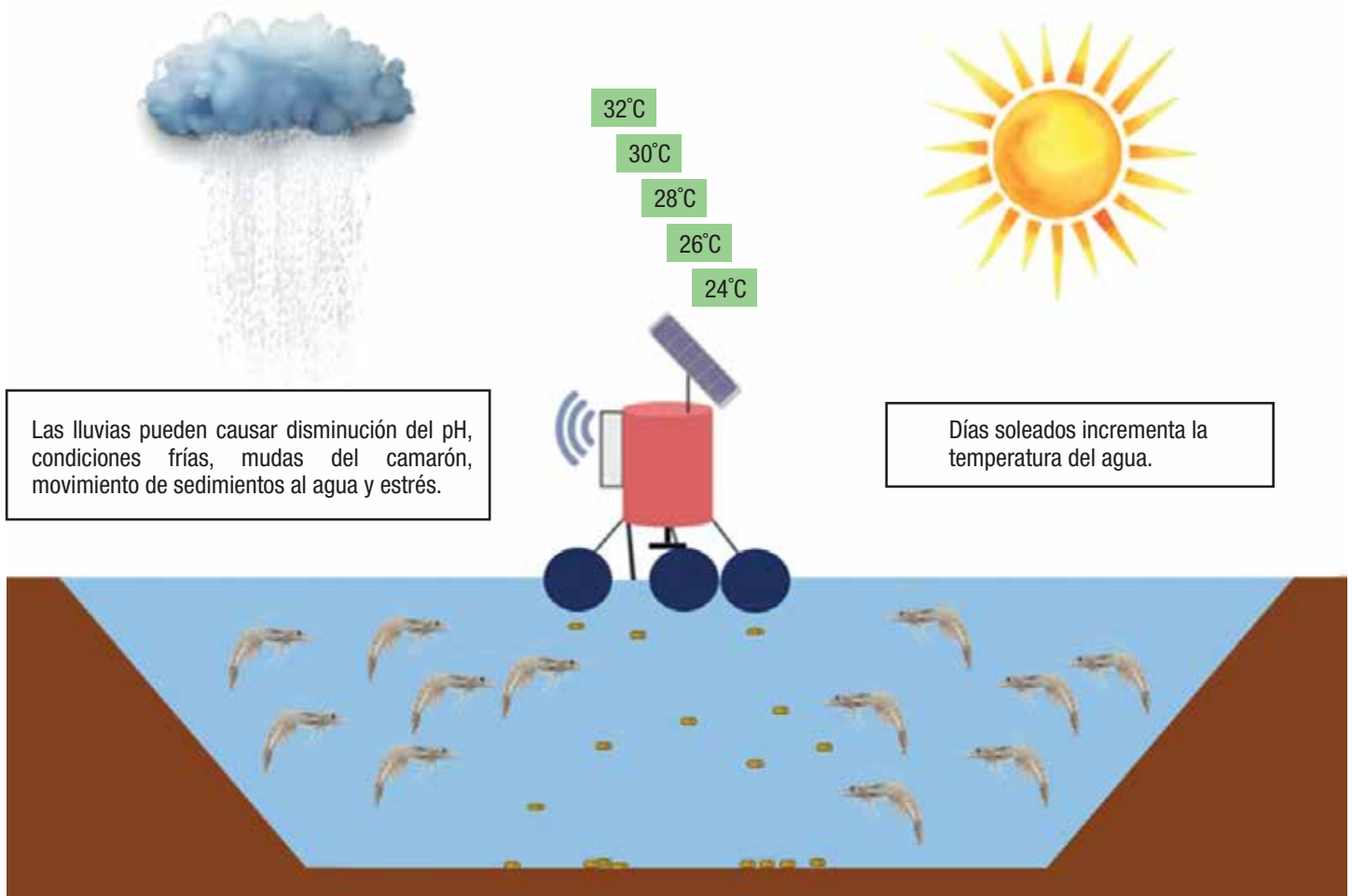


Figura 1. Breve ilustración sobre el efecto de las lluvias y el sol sobre la temperatura del agua.

En este artículo compararemos de manera detallada las características, ventajas y limitaciones de los sensores galvánicos y ópticos en el contexto de su aplicación en la acuicultura. Además, exploraremos cómo los resultados emitidos por los sensores permiten mejoras en la productividad del cultivo de camarón.

SENSORES

Los sensores para medir oxígeno disuelto en agua pueden dividirse principalmente en dos categorías: galvánicos y ópticos. Cada tipo tiene sus propias ventajas y desventajas, y la elección entre ellos depende de factores como la aplicación específica, la precisión requerida y el entorno en el que se usarán.

¿Cómo funciona un sensor óptico?

En un sensor óptico, la luz azul excita la película fluorescente (Figura 2) y esta película emite luz roja que es detectada por el fotodetector. Cuanto menor sea el oxígeno, mayor será la intensidad de la luz roja recibida y viceversa.

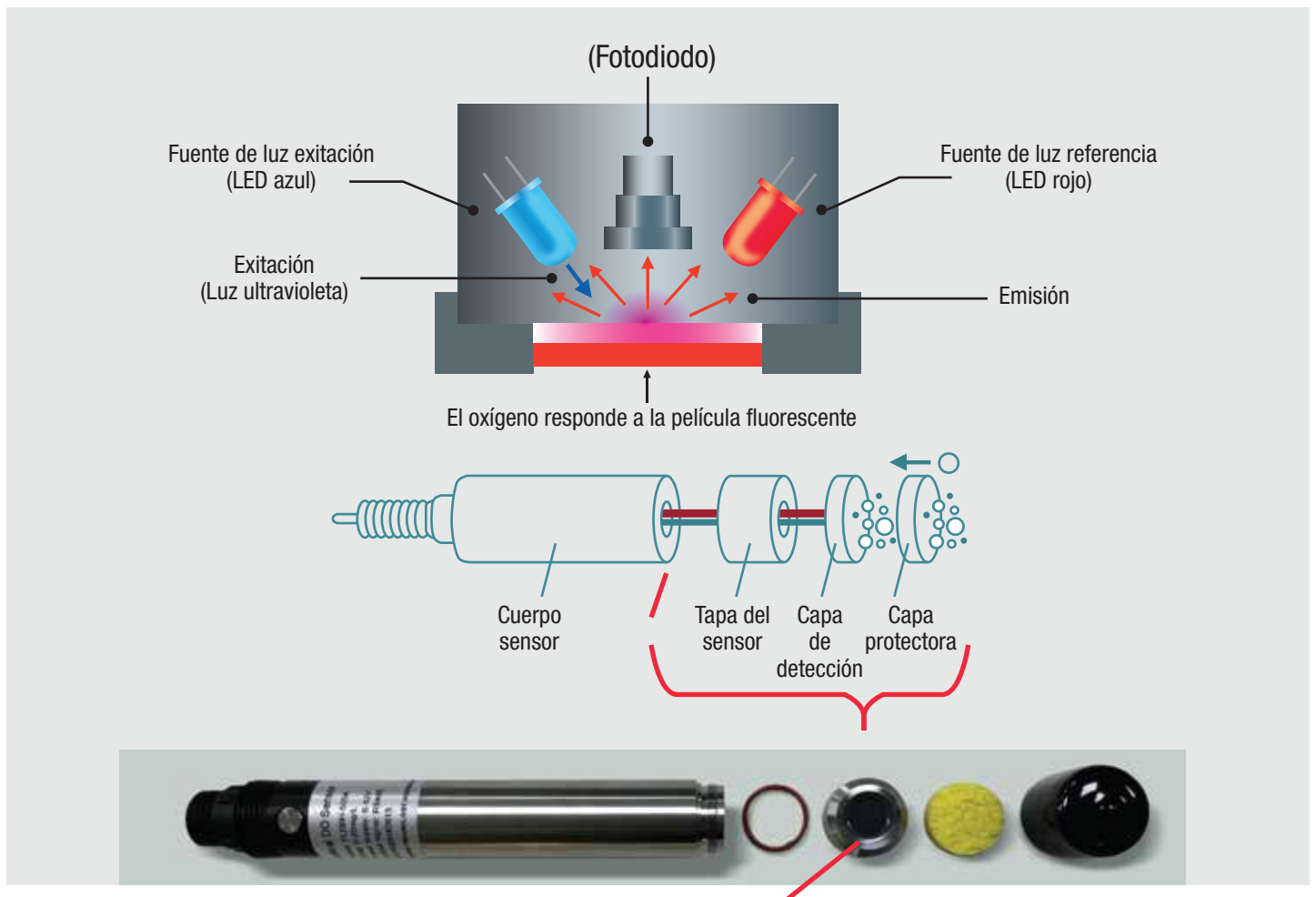


Figura 2. Partes y funcionamiento de un sensor óptico (nivel de incertidumbre $\pm 5\%$)

¿Cómo funciona un sensor galvánico?

Cuando el sensor galvánico se sumerge en agua, el oxígeno del agua que pasa a través de la membrana permeable al gas se consume en el cátodo. Esto provoca un flujo de electricidad proporcional a la concentración de oxígeno entre el cátodo y el ánodo (Figura 3). Esta señal eléctrica se calibra como nivel de OD. La reacción química provoca la precipitación de un sólido blanco en el electrolito. A partir de cierta cantidad, este sólido blanco interfiere en el funcionamiento de la celda y debe ser sustituido. La membrana permeable al gas también debe reemplazarse con cierta frecuencia para garantizar un funcionamiento correcto.

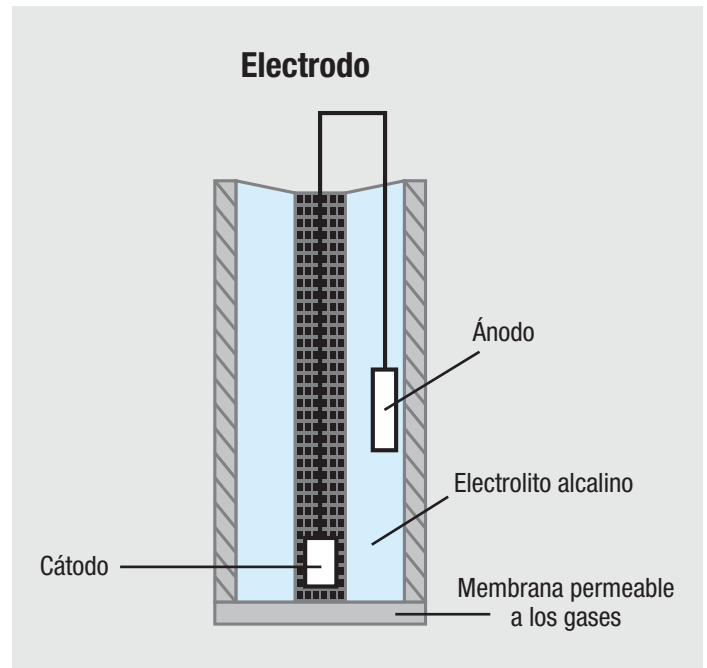


Figura 3. Componentes de un sensor galvánico (nivel de incertidumbre $\pm 2 - \pm 5 \%$)

Ventajas y desventajas de los sensores ópticos y galvánicos.

Los sensores galvánicos pueden detectar concentraciones de oxígeno muy bajas con alta sensibilidad; en general, el límite de detección suele ser tan bajo como 0,1 mg/L de OD o incluso menor en algunos casos.

Estos valores pueden variar dependiendo del diseño o la calidad del sensor (Wei et al., 2019). En general, los sensores galvánicos requieren calibración y mantenimiento regular debido a la degradación que sufre el electrodo y la membrana con el pasar del tiempo. En cuanto a la velocidad de respuesta pueden ser más lentos en comparación con los sensores ópticos. Pueden ser susceptibles a interferencias de gases y sustancias químicas presentes en el agua. Por otro lado, los sensores ópticos utilizan la fluorescencia o la absorción óptica para medir la concentración de oxígeno disuelto. Por ejemplo, en un sensor de fluorescencia, un fluoróforo sensible al oxígeno emite luz fluorescente que varía en intensidad en función de la concentración de oxígeno.

Los sensores ópticos no requieren partes móviles ni membranas permeables al oxígeno, lo que los hace más duraderos y menos propensos a la degradación; además, por lo general necesitan calibración con menos frecuencia que los sensores galvánicos. Los sensores ópticos tienen una alta precisión en rangos de OD entre 0 y 8 mg/l y un comportamiento más estable si se comparan con los sensores galvánicos, ya que la presencia de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono no daña este tipo de sensor. Un sensor óptico no necesita un flujo de agua para ser preciso, es fácil de limpiar y mantener (Figura 4), pues no requiere de cambio del electrolito, a la vez que tiene una mayor vida útil. Los sensores ópticos, por tanto, se usan cuando se necesita una respuesta rápida, alta durabilidad y menor mantenimiento.

Tanto los sensores galvánicos como los ópticos son susceptibles a interferencias ambientales, como la turbidez o la presencia de materia orgánica en el agua, por lo que es necesaria la limpieza constante. Por ejemplo, los sensores galvánicos, que se basan en la detección electroquímica, pueden ser sensibles a las variaciones de temperatura, lo que puede afectar su precisión y requerir que el equipo lleve una compensación de temperatura para mediciones más precisas. Por otro lado, los sensores ópticos, que utilizan principios como la extinción de fluorescencia, suelen ser menos sensibles a las variaciones de temperatura y, por lo tanto, pueden proporcionar mediciones más estables en diferentes condiciones de temperatura (Wei et al., 2019). En referencia a los costos, por lo general los primeros son más económicos en comparación con los sensores ópticos.

La ubicación de los sensores y su montaje.

Un montaje adecuado garantiza que el sensor esté ubicado en una posición óptima para captar las condiciones reales del agua en la piscina. Si el sensor no está correctamente montado, las mediciones pueden ser inexactas, lo que podría conducir a decisiones erróneas en el manejo de la piscina (Figura 5).

Control de la alimentación usando sensores. El caso de las altas temperaturas y el FCA.

Para el presente estudio, piscinas con históricos de temperatura alta fueron seleccionadas con una extensión entre 11 y 34 hectáreas. Estas piscinas corresponden al período invernal 2023, y fueron alimentadas con una dieta del 35% de proteína, tanto en formato extruido como pelletizado usando alimentadores con dispositivos sónicos.

La prueba consistió en identificar los períodos del día en que la temperatura del agua excedió los 32°C, usando un sensor óptico en tiempo real para de esta manera, realizar pausas en la alimentación durante dicho período. Una vez iniciada la prueba, diariamente se pausaba la alimentación a partir de los 32°C. Los resultados mostraron una reducción en el FCA que varió entre 1,41 y 1,57 (Tabla 1) en piscinas que históricamente mantenían un valor de 1,72.

Estos resultados corroboran que en estos períodos de alta temperatura es preferible no dar de comer al animal debido a que, al acelerarse el metabolismo, el tiempo que el alimento permanece en el tracto intestinal es más corto lo que no permite una adecuada digestión y posterior absorción de los nutrientes liberados del alimento.

En este sentido, Limsuwan et al. (2009) reportó los efectos de la temperatura sobre el comportamiento alimentario de juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) a diferentes temperaturas del agua: 24±1, 26±1, 28±1, 30±1, 32±1 y 34±1°C, en un experimento realizado a 25 ppt de salinidad. Los resultados revelaron que los camarones a 24±1, 26±1 y 28±1°C, comían lentamente en el fondo de los acuarios. Específicamente a 24±1°C, se inició la excreción a los 90-105 minutos, mientras que a 34±1°C este proceso se inició a los 20-35 minutos. Además, después de alimentar durante 2 horas, el alimento no consumido fue aproximadamente del 35 al 70% por día a 24±1°C, mientras que no hubo sobrante a 30-34°C luego de alimentar 2 horas.

Los tiempos de vaciado del tracto intestinal fueron descendiendo a medida que la temperatura aumentaba, lo que indica un incremento de la actividad metabólica a medida que la temperatura ascendía, desde 4 horas a 24°C hasta 2,3 horas a 34°C.

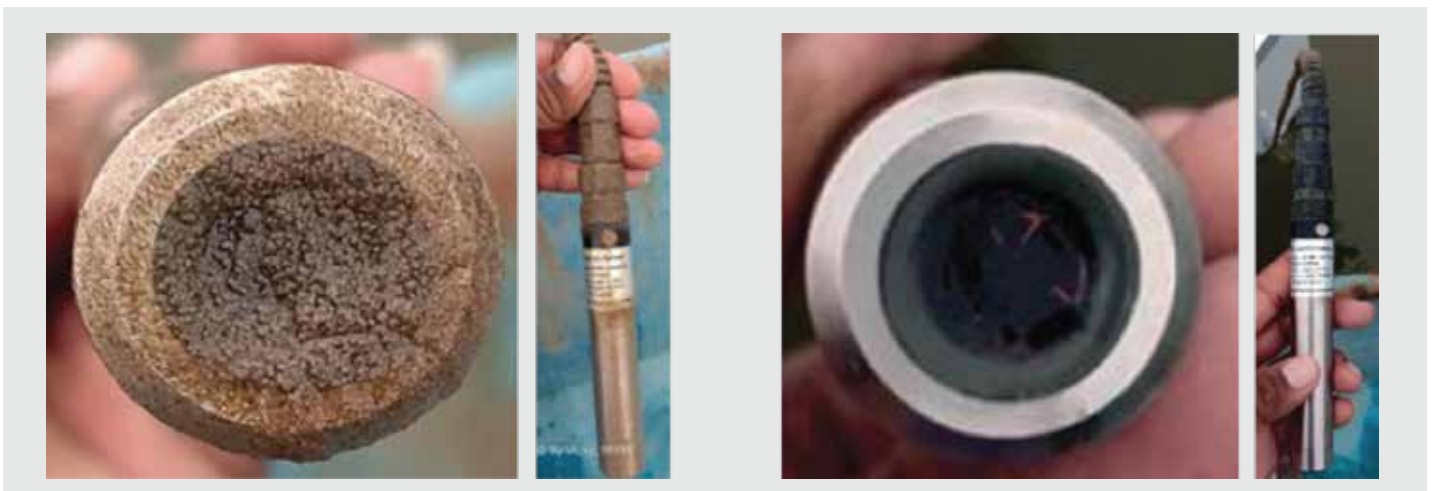


Figura 4. Un sensor óptico antes y después de la limpieza.

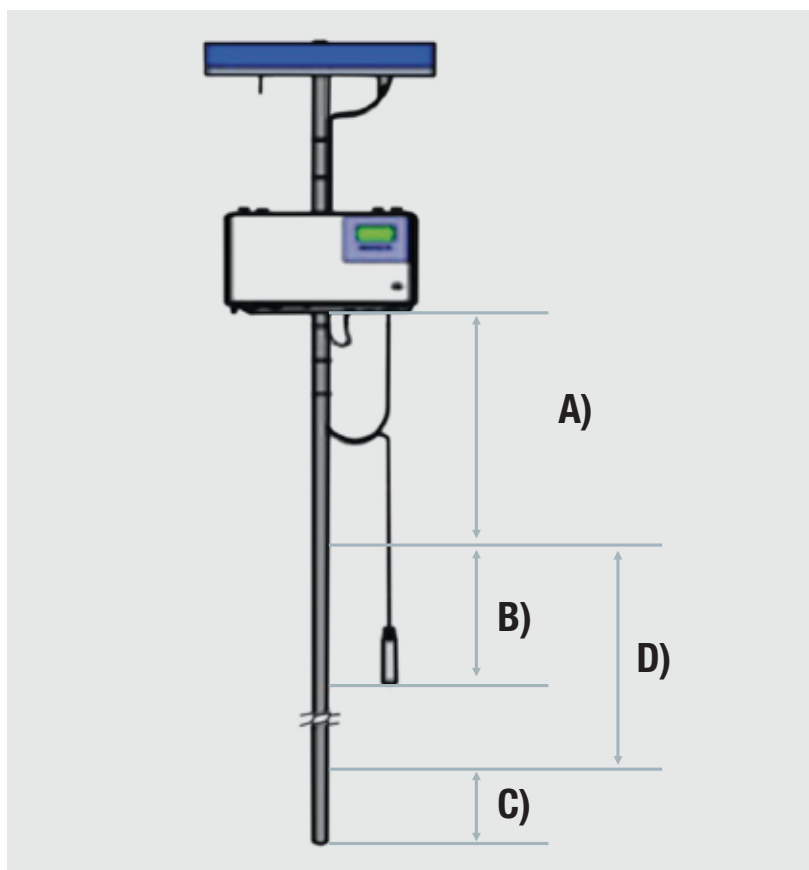


Figura 5.
Distancias desde:
A: caja del sensor desde el agua: 50 cm.
B: profundidad del sensor: a la mitad de la columna de agua.
C: profundidad del poste del suelo: 1 metro de profundidad.
D: nivel del agua (la profundidad del agua en el estanque)

Tabla 1. Piscinas con alimentación automática asistida por sensores, las cuales tuvieron pausas en alimentación alineadas a las lecturas de temperaturas para precautelar el aumento del FCA.

Piscina	1	2	3	4	5
Peso siembra	0,38	0,49	0,81	0,50	0,42
Densidad de siembra (camarones/m ²)	20	18	17	19	19
Animales transferidos	2 327 058	3 852 076	5 933 239	4 097 399	4 684 760
Días de cultivo	94	90	81	75	90
Crecimiento lineal (g/semanal)	2,09	2,29	2,46	3,52	2,60
Supervivencia (%)	77	67	66	44	66
Producción (kg/ha)	4 352	3 276	3 302	2 646	3 895
Productividad (kg/ha/día)	46	36	41	35	43
Total kg cosechados	48 737,08	69 458,73	110 945,45	56 447,14	92 896,18
FCA	1,42	1,56	1,41	1,57	1,34
Ha	11,2	21,2	33,6	21,33	23,85

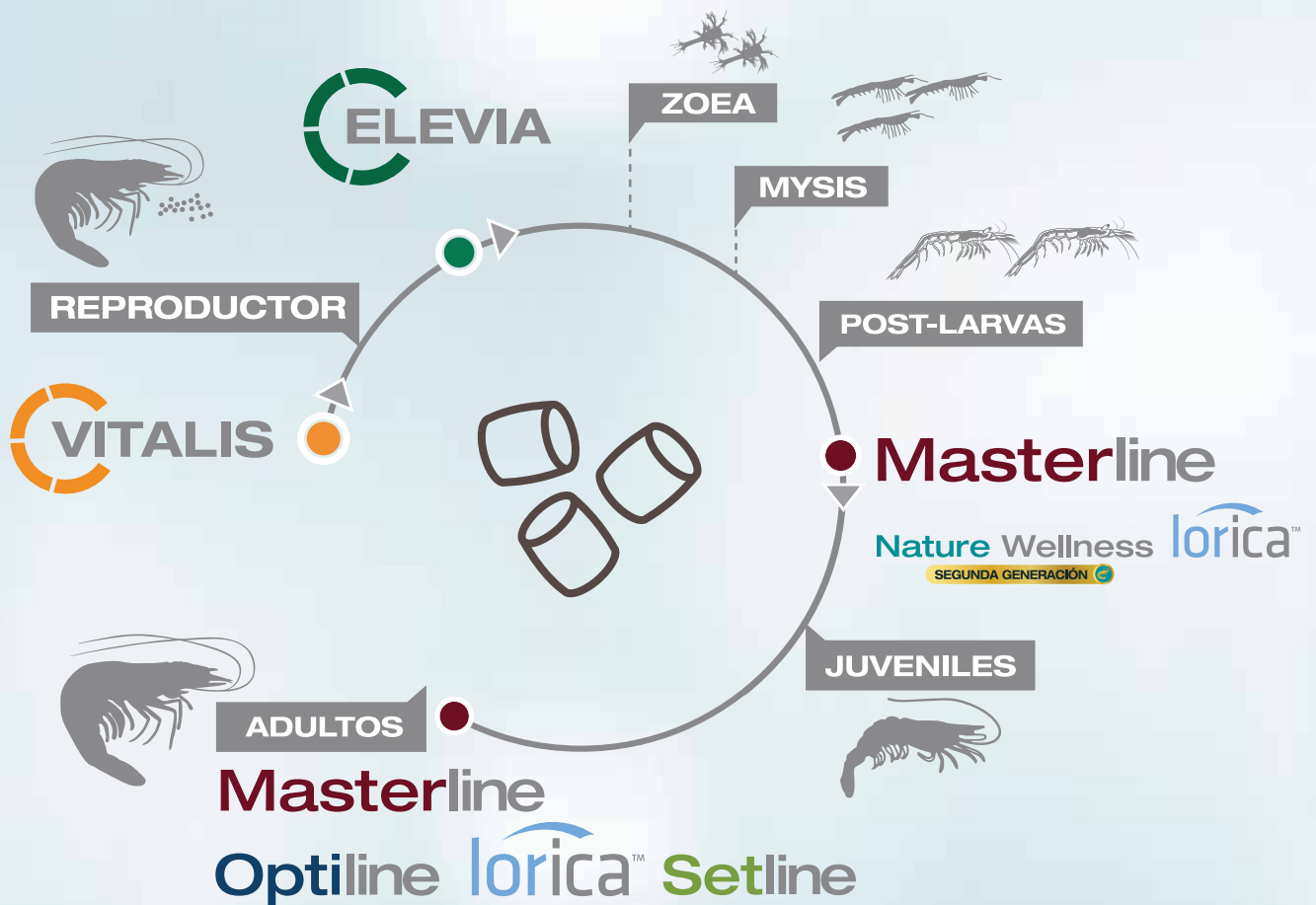
Conclusión

El uso de sensores remotos permite realizar monitoreos 24/7, lo que asegura identificar en tiempo real cómo afecta el nivel de oxígeno disuelto y la temperatura en la demanda de alimento, permitiendo optimizar la dosificación y racionalización del balanceado en la piscina. Un seguimiento constante y preciso de estos parámetros, específicamente de la temperatura, posibilita actuar en los momentos en los que el camarón no va a lograr una completa digestión del alimento al mayor ritmo de ingestión y evacuación gástrica al que está sometido, lo que va a impactar significativamente en el factor de conversión alimenticia, una variable que incide en el costo de producción del camarón.



Para mayor información escriba a:
cesar.molina@skretting.com

SOLUCIONES NUTRICIONALES PARA CADA ETAPA DE CULTIVO DEL CAMARÓN



OUR PURPOSE

Feeding *the Future*