

## LAS NANOBURBUJAS OPTIMIZAN EL USO DE OXÍGENO Y LA EFICIENCIA DEL BIOFILTRO, MEJORANDO EL CRECIMIENTO DE LOS PECES EN UN SISTEMA RAS EN NORUEGA



**Cliente:** Lødingen Fisk, Noruega

<b>Fechas:</b> Diciembre, 2023 – Marzo, 2024	<b>Ubicación:</b> Vestbygd, Noruega	<b>Equipo:</b> Trinity L2
<b>Resultados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mayor Eficiencia en el uso de oxígeno:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiencia de transferencia de oxígeno (OTE): 94%</li> <li>- Aumento del oxígeno disuelto (OD) del 23%</li> <li>- Incremento del Potencial de Oxidación-Reducción (ORP) de 6.2%</li> </ul> </li> <li>• <b>Mayor eficiencia del biofiltro:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de 70% en la acumulación de nitrógeno</li> <li>- Aumento de &gt;60% de la tasa de nitrificación de amoníaco</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mejora del bienestar y el crecimiento de los peces:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de la tasa de conversión alimenticia (FCR)</li> <li>- Incremento del Índice de Crecimiento Relativo (RGI)</li> </ul> </li> <li>• <b>Mejor eliminación de biofilm y mayor claridad del agua</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La turbidez del agua se redujo en un 30%</li> <li>- El uso de ozono se redujo en un 67%</li> </ul> </li> </ul>

### Lødingen Fisk: Piscicultura en sistema RAS con 1,7 millones de salmones del Atlántico en un entorno de agua dulce

Lødingen Fisk es una acuicultura reconocida en noruega con una sección RAS, con un volumen total de tratamiento de 1100 m<sup>3</sup>, que alberga 1.730.000 salmones del Atlántico. El sistema tiene una capacidad máxima de unas 35 toneladas. La densidad de población se mantuvo en 11 kg/m<sup>3</sup>, con una biomasa total de aproximadamente 3.870 kg. La instalación incluye 14 tanques circulares, cada uno con una capacidad de 50 m<sup>3</sup>, utilizando agua dulce. El proceso RAS se compone de una etapa de filtración mecánica a través de filtros de tambor (tamaño de malla: 40 micrómetros), un biofiltro para la eliminación biológica de amoníaco, skimmers de proteínas con ozonización, una torre de desgasificación, desinfección UV y oxigenación. La oxigenación es proporcionada por dos sistemas separados: la fuente principal de oxigenación es suministrada por un generador de nanoburbujas Moleaer Trinity L2 (**Figura 1**), mientras que la oxigenación de respaldo es suministrada por dos conos, que operan bajo demanda en función del OD en los tanques.

### Mejora de la calidad del agua y de la eficiencia del proceso con tecnología de nanoburbujas

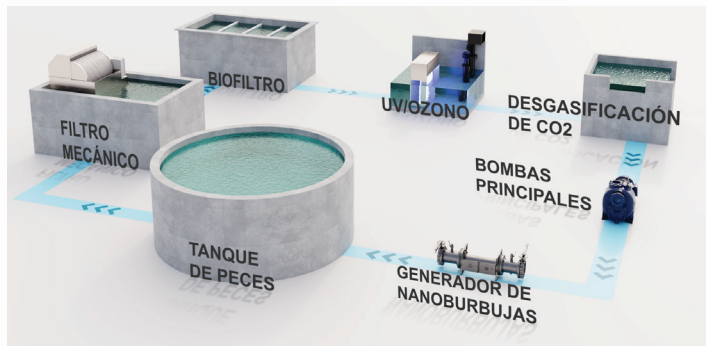
En los Sistemas de Acuicultura de Recirculación (RAS), mantener una calidad óptima del agua es primordial para garantizar la salud, el crecimiento y la productividad de los peces. La calidad del agua afecta directamente el metabolismo de los peces, la resistencia a las enfermedades y la eficiencia de la conversión alimenticia. Las malas condiciones del agua pueden provocar un mayor estrés, susceptibilidad a las enfermedades y una utilización ineficiente de los nutrientes, lo que se traduce en mayores costos operativos y menores rendimientos. El oxígeno disuelto (OD) y el amoníaco (N-NH<sub>4</sub>) son dos de los factores clave que afectan la calidad del agua y el bienestar de los peces. Por lo tanto, la oxigenación eficiente del agua y la nitrificación biológica son cruciales para los piscicultores y constituyen algunos de los desafíos y costos operativos más importantes.

Las nanoburbujas de Moleaer (NB) son burbujas de gas excepcionalmente pequeñas, normalmente de menos de 200 nanómetros de diámetro, que tienen propiedades únicas que las hacen muy eficaces para

diversas aplicaciones. Debido a su tamaño, estas NB tienen una relación superficie/volumen mucho más alta en comparación con las burbujas más grandes, lo que mejora su capacidad para disolver gases como el oxígeno en líquidos de manera muy eficiente. Una de sus características clave es su estabilidad; A diferencia de las burbujas más grandes que tienden a subir y estallar rápidamente, las NB pueden permanecer suspendidas en líquido durante períodos prolongados, lo que permite una oxigenación más eficiente, prolongada y uniforme. Esta estabilidad se atribuye a la alta presión interna dentro de las NB, que contrarresta la tendencia del gas a escapar y las burbujas a fusionarse. Las nanoburbujas en la



**Figura 1.** Instalación de generadores de nanoburbujas Moleaer Trinity L2 para la oxigenación principal en la instalación RAS de Lødingen Fisk. Las unidades L2 Trinity tienen una capacidad de flujo de líquido de 230 m<sup>3</sup>/h (1000 galones por minuto) cada una y una tasa de inyección de oxígeno de 5 a 50 SLPM. Se instalaron recirculando el agua del biofiltro hacia los tanques de cabecera.



**Figura 2.** Configuración típica de un generador de nanoburbujas (NBG) Moleaer en un sistema RAS

## LAS NANOBURBUJAS OPTIMIZAN EL USO DE OXÍGENO Y LA EFICIENCIA DEL BIOFILTRO, MEJORANDO EL CRECIMIENTO DE LOS PECES EN UN SISTEMA RAS EN NORUEGA



acuicultura pueden mejorar significativamente la calidad del agua al mejorar la transferencia de oxígeno y apoyar procesos biológicos cruciales. De hecho, las nanoburbujas pueden aumentar la actividad de las bacterias beneficiosas que convierten el amoníaco y el nitrito dañinos en nitrato menos dañino al garantizar que estas bacterias obtengan suficiente oxígeno. Esto es especialmente útil en sistemas con alto contenido de biomasa y puede mejorar la descomposición de la materia orgánica. Su introducción en RAS no solo promueve la salud y el crecimiento de los peces, sino que también reduce los costos operativos al optimizar el uso de oxígeno y mejorar la eficiencia del proceso de filtración biológica, lo que permite densidades más altas y aumenta la productividad de la planta.

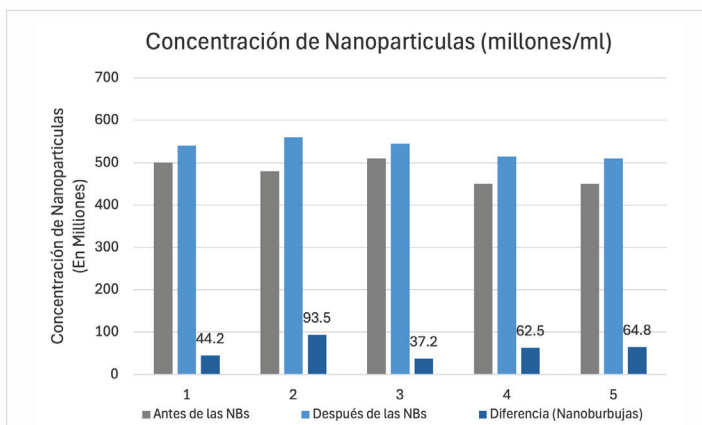
El objetivo del estudio fue cuantificar cómo la introducción de nanoburbujas de oxígeno puede mejorar la calidad del agua, reducir la energía y el consumo de agua mediante una mejor oxigenación, una mejor eliminación de partículas, mejores tasas de nitrificación y prevención de biofilm, en comparación con los sistemas tradicionales de oxigenación.

Este caso de estudio examina la implementación de la tecnología de nanoburbujas para complementar el sistema tradicional de oxigenación con conos y mejorar el rendimiento general del sistema en las instalaciones RAS de Lødingen Fisk en Noruega.

### Evaluación del impacto de las nanoburbujas: transferencia de oxígeno, calidad del agua y control de biofilm

La prueba fue diseñada para evaluar el efecto de las nanoburbujas de oxígeno en cuatro aspectos principales del proceso:

- 1) Eficiencia de transferencia de oxígeno
- 2) Eficiencia en la eliminación de sólidos en el filtro de tambor y efecto en la turbidez del agua



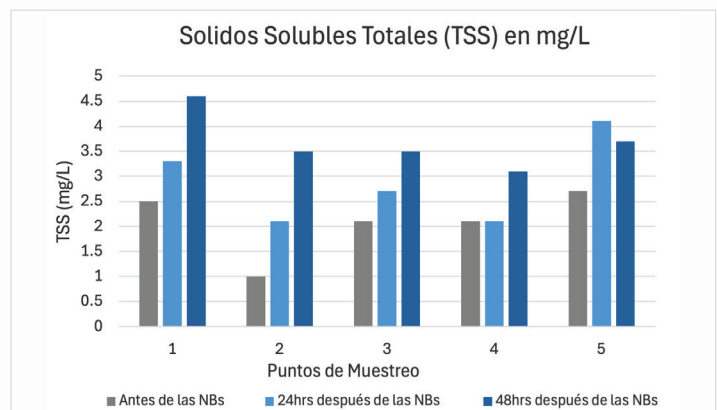
**Figura 3.** Concentración media de nanopartículas en diferentes puntos de muestreo, medida antes y después de la puesta en marcha del Moleaer Trinity L2. La diferencia neta entre las dos campañas de muestreo se indica en la figura y se supone que representa el número de nanoburbujas de oxígeno estables presentes en el agua.

- 3) Conversión de amoníaco (nitrificación) en el biofiltro y
- 4) Acumulación de biofilm e incrustaciones en las tuberías y otras superficies.

Las características de calidad del agua (OD, ORP, pH, turbidez, sólidos suspendidos totales y concentración de contaminantes en el agua de recirculación) y las mediciones de concentración de NB se realizaron en varios puntos del circuito RAS durante 4 días consecutivos (2 días antes de iniciar el generador de nanoburbujas Trinity, y 2 días después de la puesta en marcha del mismo), 4 veces al día, mientras la planta funcionaba en condiciones de carga orgánica y características de biomasa similares (tamaño de los peces, biomasa total, velocidad de alimentación, temperatura del agua, etc.). Todas las mediciones se repitieron después de 50 días de operaciones del NBG, ya que los peces crecieron de 2 a 12 gramos, lo que resultó en una mayor demanda de oxígeno, mayor tasa de alimentación y carga orgánica.

### Impacto inmediato: Mejor oxigenación, nitrificación y eliminación de biofilm

La introducción de nanoburbujas condujo a un aumento significativo en la concentración de nanopartículas en 61 millones/ml. en promedio, con un tamaño de menos de 200 nm, durante las primeras 3 horas de operación del generador de nanoburbujas (**Figura 3**) en cada etapa del proceso. El incremento en la concentración de nanopartículas se puede traducir como la concentración de nanoburbujas de oxígeno. También hubo un rápido aumento significativo tanto en el OD como en el ORP (potencial de reducción de oxidación) como resultado de la inyección de nanoburbujas de oxígeno. Las primeras 48 horas también mostraron efectos pronunciados de limpieza (**Figura 4**), lo que indica una mayor eliminación del biofilm y una mejor desinfección. La eficiencia de la nitrificación biológica mejoró significativamente, con una reducción del 70% en la acumulación de nitritos en el biofiltro.



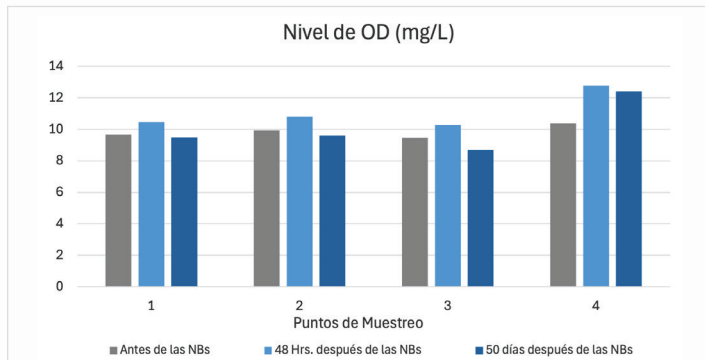
**Figura 4.** Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) antes de la puesta en marcha del NBG y después de 24 y 48 horas de operaciones. La concentración de SST aumentó linealmente como efecto del efecto de limpieza y desgrasado en las tuberías y superficies duras de la planta en los 5 puntos de muestreo.

## LAS NANOBURBUJAS OPTIMIZAN EL USO DE OXÍGENO Y LA EFICIENCIA DEL BIOFILTRO, MEJORANDO EL CRECIMIENTO DE LOS PECES EN UN SISTEMA RAS EN NORUEGA



**Impacto a largo plazo: Mejoras sostenidas en la eficiencia del uso de oxígeno, la calidad del agua y el crecimiento de los peces**

**Calidad del agua.** Después de 50 días de operaciones del Trinity L2, el OD del afluente a los tanques de peces fue entre un 12% y un 23% más alto (**Figura 5**), mientras que las tasas de oxidación de amoníaco y carbono en el biofiltro aumentaron en un 68% (**Tabla 1**).

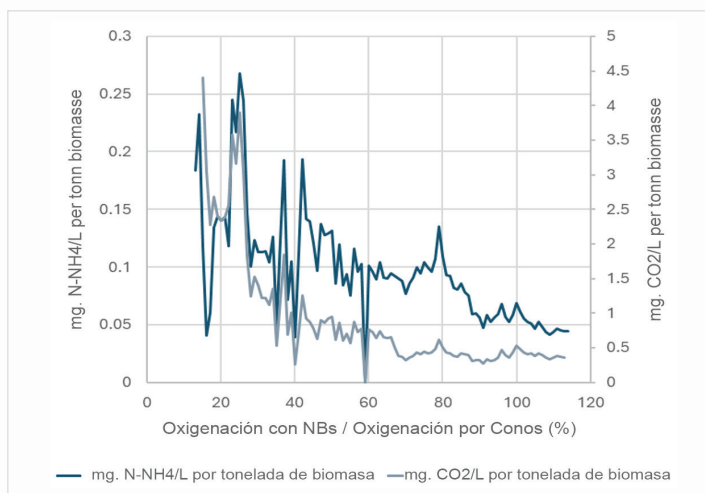


**Figura 5.** OD medio en cada punto de muestreo antes de la puesta en marcha del Moleaer Trinity L2, a las 48 horas después de la puesta en marcha y después de 50 días de operaciones, expresado en miligramos por litro.

	Tasa de eliminación de amoníaco [kg N-NH4 eliminado/día]	Uso de oxígeno en el biofiltro [kg O2/día]
Antes de los NB	3.6	31.2
48 hrs. Después de los NB	5.3	40.8
50 días después de las NB	7.9	86.4

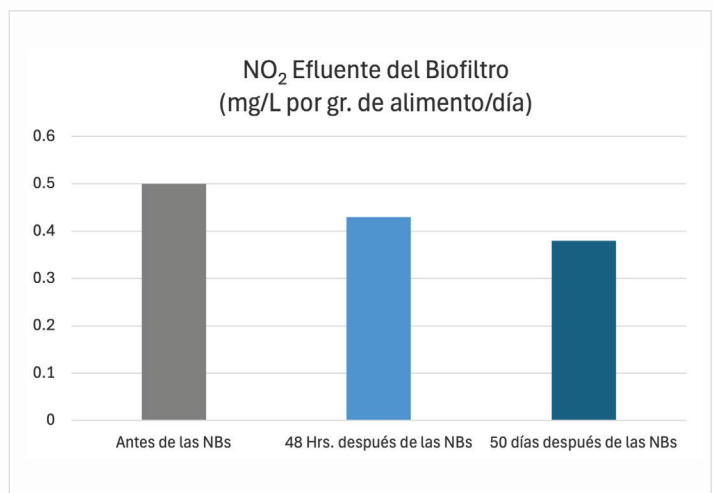
**Tabla 1.** Tasa diaria de eliminación de amoníaco y uso de oxígeno en el biofiltro. El aumento de la cinética de nitrificación permite aumentar la tasa de alimentación de los peces, ya que la presencia de NB da como resultado una mayor capacidad de tratamiento en el biofiltro.

La concentración de compuestos nocivos como el amoníaco y el dióxido de carbono se redujeron en un 82,8% y un 91,6%, respectivamente (**Figura 6**), mientras que la acumulación de nitritos efluente del biofiltro se redujo en un 22,4% (**Figura 7**). Además, la turbidez del agua en los tanques fue un 30% menor, en comparación con el período sin NB), a pesar de las condiciones de carga significativamente más altas. Como resultado de la menor formación de biofilm y los efectos de limpieza observados dentro de las 48 horas de operaciones, la dosis de ozono (en g/h/tonelada) aplicada disminuyó en un 67,5%.



**Figura 6.** Concentración específica de amoníaco y dióxido de carbono en el afluente del biofiltro y del tanque de cabecera, respectivamente, expresada en miligramos por litro por tonelada de biomasa en función de la tasa de "oxigenación por nanoburbujas" frente a la "oxigenación por cono".

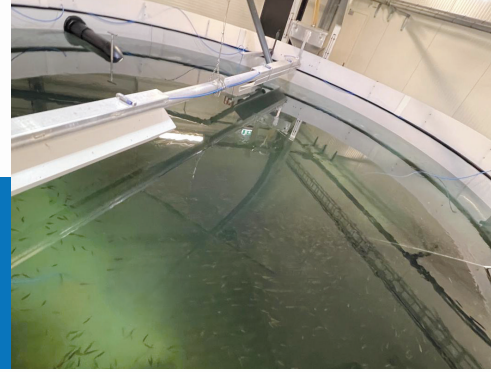
**Uso de oxígeno.** La eficiencia de transferencia de oxígeno (OTE) para el Trinity L2 continuó siendo más del 85%, o un 71% más alta en comparación con los sistemas de conos tradicionales (441 m<sup>3</sup> de O<sub>2</sub> gas/tonelada de O<sub>2</sub> disuelto para NBG, 1499 m<sup>3</sup> de O<sub>2</sub> gas/tonelada de O<sub>2</sub> disuelto para los conos). Esta transferencia de oxígeno hiper-eficiente se traduce en un menor uso de oxígeno y energía y menores costos para los piscicultores, y menores emisiones del CO<sub>2</sub> por el consumo de energía y diésel.



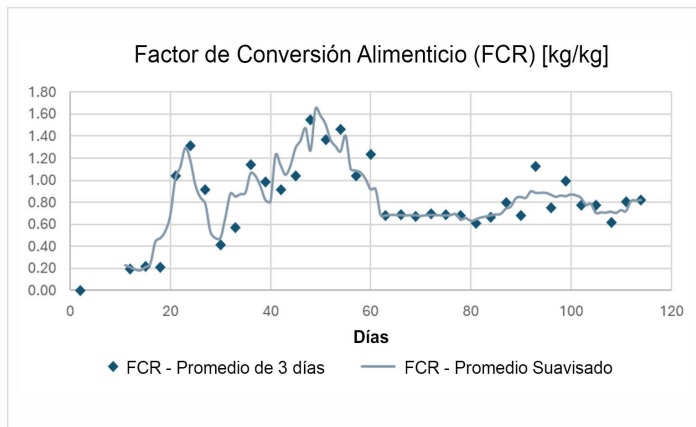
**Figura 7.** Nitrito específico (N-NO<sub>2</sub>) en el efluente del biofiltro, antes y después de la puesta en marcha de Moleaer Trinity L2 (48 horas y después de 50 días de operaciones de NBG, expresado en miligramos por litro por gramo de alimento al día).

**Crecimiento de los peces.** Como resultado de la mayor concentración de OD, la reducción del biofilm, el aumento de la cinética de nitrificación y la mejora general de la calidad del agua, los peces pueden crecer más sanos y más rápidos, como lo sugiere la reducción rápida y sostenida de la tasa de conversión alimenticia (FCR) cuando las NB de oxígeno se introdujeron por primera vez en el proceso (con el mismo tipo de alimento), y fue significativamente más baja durante el período de prueba

## LAS NANOBURBUJAS OPTIMIZAN EL USO DE OXÍGENO Y LA EFICIENCIA DEL BIOFILTRO, MEJORANDO EL CRECIMIENTO DE LOS PECES EN UN SISTEMA RAS EN NORUEGA



restante, independientemente del tipo de alimentación ( $0,75 \pm 0,05$ ), como se muestra en las **figuras 8 y 9**. Tener un FCR más alto significa que se necesitan menos alimentos para lograr el mismo crecimiento, lo que se traduce en ahorros de costos adicionales. Además, la Tasa de Crecimiento Específico (SGR), o aumento porcentual en el peso de los peces por día, fue más alta al compararse con el lote anterior producido con oxigenación intermitente de NB (es decir, menos de 4 horas por día de operaciones del Trinity L2).

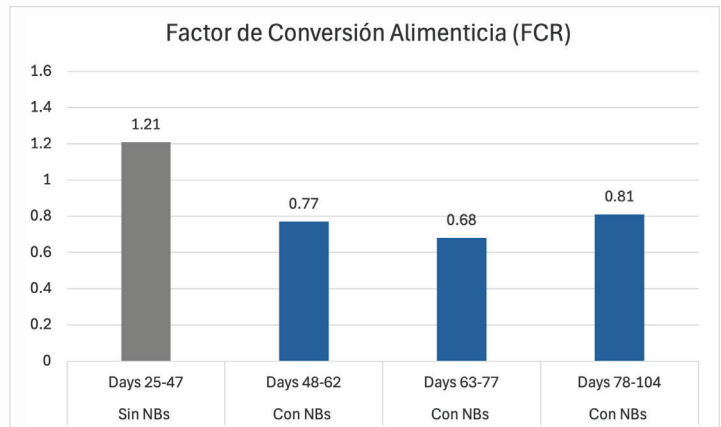


**Figura 8.** Tasa de conversión alimenticia (FCR) durante 104 días de operaciones, durante los cuales el peso corporal promedio aumentó de 0,05 gramos a 14,1 gramos y la biomasa total de 0,06 toneladas a aproximadamente 20 toneladas. La fecha de puesta en marcha del Trinity L2 NBG se muestra en la figura.

### Conclusiones: Las nanoburbujas mejoran la acuicultura RAS con una mayor eficiencia, mejor calidad del agua y mayor crecimiento de los peces

En comparación con las burbujas finas y los sistemas tradicionales de aireación u oxigenación, la tecnología de nanoburbujas de Moleaer ofrece varios beneficios adicionales. Su mayor eficiencia de transferencia de gas significa que pueden alcanzar niveles más altos de oxígeno disuelto con menos uso de oxígeno, lo que los hace más eficientes energéticamente y más rentables. Además, las propiedades únicas de las nanoburbujas facilitan la eliminación de contaminantes e impurezas del agua y mejoran la claridad del agua.

La implementación de la tecnología de nanoburbujas en el RAS de Lødingen Fisk demostró varios beneficios clave:



**Figura 9.** Tasas medias de conversión alimenticia (FCR) durante cuatro periodos diferentes de operaciones según la etapa de los peces y el tipo de alimento.

- Mejora significativa de la calidad del agua, en términos de OD, ORP y turbidez, cruciales para la salud de los peces.
- Mejora del metabolismo y el crecimiento de los peces, como sugiere la reducción de la tasa de conversión alimenticia (FCR) y el aumento de la tasa de crecimiento específico (SGR), probablemente debido a la calidad superior del agua en presencia de nanoburbujas.
- Reducción de del biofilm y mejora del rendimiento del biofiltro, lo que conduce a concentraciones más bajas de amoníaco y nitritos y a un menor uso de ozono para la desinfección.

En general, el estudio confirmó que las nanoburbujas mejoran significativamente el rendimiento de RAS, lo que conduce a una mayor calidad del agua, un uso más eficiente del oxígeno y un mejor crecimiento y salud de los peces. La investigación de [Virginia Tech y otros estudios](#) validaron también el efecto de las nanoburbujas en el biofilm y mejoraron la utilización del oxígeno microbiano.

Aunque el efecto de variables adicionales, como las características genéticas de los peces, debe investigarse más a fondo para aislar el efecto de las NB en el proceso, la reducción de la FCR y la mejora del uso de oxígeno respaldan firmemente el potencial de la tecnología de nanoburbujas de Moleaer como una solución rentable para mejorar la sostenibilidad económica y ambiental de las pisciculturas.



**Para saber sobre cómo la tecnología de nanoburbujas puede ayudar a su piscicultura, consulte con uno de nuestros expertos:**  
[info.moleaer.com/es-cl/consultar-experto](http://info.moleaer.com/es-cl/consultar-experto)

La información y los datos contenidos aquí son considerados correctos y confiables, y son mostrados de buena fe, pero sin garantizar el rendimiento. Moleaer no asume responsabilidad por resultados obtenidos o por daños causados por la aplicación de la información aquí contenida. El cliente es responsable de determinar si los productos y la información presentada aquí son apropiados para el uso del cliente, y de asegurar que las prácticas del lugar de trabajo y de desecho del cliente estén en conformidad con las leyes y códigos gubernamentales aplicables. Las especificaciones están sujetas a cambios sin advertencias. Copyright © 2024 Moleaer. Todas las marcas aquí presentadas son propiedad de su respectiva compañía. Todos los derechos reservados. Este documento es confidencial y contiene información propiedad de Moleaer Inc. Ni este documento ni nada de la información aquí contenida puede ser reproducida, redistribuida o expuesta bajo ninguna circunstancia sin el permiso manifestado por escrito de Moleaer Inc. Rev. 14-10-24 R4 ES