

DATASHEET

Aplicación de Nanopartículas y Micropartículas de Cobre en Redes de Pesca y Acuicultura

1. RESUMEN DE LA TECNOLOGÍA

Este documento técnico recopila y sintetiza los datos científicos y de ingeniería sobre el uso de aditivos basados en cobre (tanto nanopartículas de óxido de cobre, CuO-NPs, como polvo de cobre micrométrico) integrados en redes de pesca y acuicultura. El objetivo principal de esta tecnología es proporcionar una propiedad biocida permanente que inhiba el biofouling (incrustaciones marinas) y reduzca la carga de patógenos críticos para los peces cultivados, disminuyendo drásticamente los costos operacionales de limpieza y el uso de tratamientos químicos o antibióticos en la acuicultura moderna.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS

Parámetro Técnico	Nanopartículas de Cobre (CuO-NPs)	Polvo de Cobre Micrométrico (Micro-Cu)
Fórmula Química / Tipo	Cobre Metálico (Cu ₀)	Cobre Metálico Puro (Cu ₀) / Aleaciones (Latón)
Rango de Tamaño de Partícula	10 nm – 100 nm (Típico: 14 nm - 50 nm)	1 μm – 50 μm (Típico: 10 μm - 45 μm)
Pureza del Metal Base	≥ 99.0% - 99.9%	≥ 99.5% (Grado Electrolítico)
Área Superficial Específica	Muy alta (50 - 120 m ² /g)	Baja a moderada (0.5 - 5 m ² /g)
Mecanismo de Acción	Liberación ultrarrápida de iones Cu ²⁺ / Daño por contacto celular directo	Liberación controlada y sostenida de iones Cu ²⁺ a largo plazo

3. PROPIEDADES BIOCIDAS Y ANTIMICROBIANAS

El cobre actúa mediante un proceso denominado "muerte por contacto" (contact killing). Cuando los microorganismos entran en contacto con la red aditivada, se liberan iones de cobre (Cu²⁺) que causan daños severos en la membrana celular externa de los patógenos, generan estrés oxidativo

mediante especies reactivas de oxígeno (ROS) y destruyen el ADN/ARN celular, impidiendo la replicación y la aparición de resistencia bacteriana.

Efectividad comprobada contra patógenos específicos de la acuicultura:

- **Piscirickettsia salmonis:** Causa el Síndrome Rickettsial del Salmón (SRS). Las redes aditivadas con cobre reducen drásticamente la adherencia y supervivencia de esta bacteria en la malla.
- **Tenacibaculum dicentrarchi / maritimum:** Responsable de la tenacibaculosis. La presencia de cobre metálico o CuO-NPs inhibe el crecimiento del biofilm bacteriano en más de un 95%.
- **Aeromonas hydrophila / Vibrio parahaemolyticus:** Patógenos oportunistas comunes en agua dulce y salada. Se ha demostrado una reducción logarítmica de hasta 6-log en bacterias Gram-negativas en superficies tratadas con CuO-NPs.

4. MÉTODOS DE APLICACIÓN E INTEGRACIÓN EN REDES

Existen dos métodos principales para incorporar cobre en las redes de pesca y acuicultura:

A. Extrusión de Masterbatch en Polímero (Integración Permanente)

Este método consiste en mezclar el aditivo de cobre (nanopartículas de CuO o micropartículas de cobre metálico) directamente en la matriz polimérica del polietileno de alta densidad (HDPE), poliamida (Nylon) o poliéster durante el proceso de extrusión del monofilamento. Es el método más duradero (utilizado por líderes como Garware y Plasticopper).

- Concentración de aditivo: Generalmente entre 0.02% y 2.0% en peso de masterbatch activo.
- Durabilidad: Prácticamente igual a la vida útil de la red (hasta 5-10 años), ya que el cobre no se desprende mecánicamente.

B. Recubrimiento Superficial (Coating)

Consiste en aplicar una resina polimérica, hidrogel o polímero conductor (como la polianilina - PANI) cargada con nanopartículas de CuO sobre la superficie de la red ya tejida.

- Concentración de aditivo: Típicamente soluciones de inmersión al 0.02% - 0.05% de CuO-NPs.
- Durabilidad: Moderada (1 a 3 años). Requiere reaplicación periódica debido a la abrasión marina.

5. PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y DURABILIDAD

Propiedad Mecánica / Física	Red Estándar (Sin Cobre)	Red Aditivada con Cobre (HDPE / Poliamida)
Resistencia a la Tracción y Nudos	Límite de ruptura estándar según denier de fibra	Mantiene $\geq 95\%$ de la resistencia original. Una adición excesiva ($>5\%$) de micro-Cu puede fragilizar el polímero, por lo que se optimiza a $<1\%$.

Tasa de Acumulación de Biofouling	100% de colonización en 30-45 días de exposición	Reducción de hasta un 50% - 80% en la acumulación de biomasa húmeda después de 6 meses.
Frecuencia de Lavado / Limpieza	Cada 15 a 30 días en verano	Se extiende a cada 90 - 120 días, reduciendo costos operativos a la mitad.
Vida Útil Operacional de la Red	2 a 4 años (degradación por abrasión y UV)	5 a 8 años. El cobre actúa como un estabilizador UV secundario en el polímero y previene la degradación biológica.

6. BIOSEGURIDAD Y ASPECTOS AMBIENTALES

El uso de cobre en la acuicultura está estrictamente regulado para evitar la toxicidad en organismos no objetivo y la acumulación de metales pesados en los sedimentos marinos.

- **Tasa de Lixiviación (Leaching Rate):** La lixiviación de cobre de las redes extruidas es extremadamente baja y controlada, manteniéndose en un rango seguro de 0.009 mg/L a 0.06 mg/L (dentro de las normas internacionales de calidad de agua marina).
- **Bioacumulación en Peces:** Estudios científicos exhaustivos de 7 meses (como los del ICAR-CMFRI) demuestran que los peces criados en jaulas con redes tratadas con CuO-NPs no acumulan cobre en sus tejidos musculares por encima de los límites de consumo humano (el cobre residual en el músculo se mantiene muy por debajo del límite de 10 mg/kg).
- **Toxicidad Acuática (Zebrafish Embryo Test):** Las pruebas de toxicidad en embriones de pez cebrá muestran que la seguridad ambiental de la red depende directamente del control de la cristalinidad del polímero durante la extrusión, lo que subraya la importancia de adquirir redes de fabricantes certificados con procesos de I+D validados.