

**ESTUDIO DE EFECTIVIDAD DE UN PRODUCTO ANTIFOULING EXPERIMENTAL EN BASE A DOS CRITERIOS; VIABILIDAD TÉCNICA Y DURABILIDAD Y, MEJORA MEDIOAMBIENTAL. EVALUACIÓN EN DOS AMBIENTES DISTINTOS (GALICIA Y ANDALUCÍA) Y COMPARACIÓN CON TRATAMIENTOS COMERCIALES EXISTENTES.**



“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>3. NUEVO TRATAMIENTO DESARROLLADO</b> .....	<b>5</b>
<b>4. ESTUDIO DE EFECTIVIDAD</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1 Metodología empleada en Cádiz</b> .....	<b>7</b>
<b>4.2 Metodología empleada en Galicia</b> .....	<b>8</b>
<b>5. RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	<b>11</b>
<b>5.1 Estudio realizado en Cádiz</b> .....	<b>11</b>
<b>5.1.1 Cobertura de organismos adheridos</b> .....	<b>11</b>
<b>5.1.2 Incremento de peso</b> .....	<b>15</b>
<b>5.2 Estudio realizado en Galicia</b> .....	<b>18</b>
<b>5.2.1 Cobertura de organismos adheridos</b> .....	<b>18</b>
<b>5.2.2 Incremento de peso</b> .....	<b>21</b>
<b>5.3 Ensayo de resistencia</b> .....	<b>23</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>31</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>33</b>

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los viveros flotantes el biofouling causa graves problemas en el mantenimiento y las rutinas diarias de las granjas marinas. Se ha estimado que para esta industria el coste económico en el control del biofouling es entre el 5% y el 10% del coste de la producción (Lane y Willemsem, 2004). Se ha comprobado que después en tan solo varios meses de inmersión la adhesión de organismos aumenta el peso de las redes hasta doscientas veces y la fuerza de arrastre hasta cinco veces (Milne, 1970).

Desde los inicios de la acuicultura marina este aumento de peso a llevado a la pérdida del funcionamiento de las estructuras que forman los viveros flotantes (Ansuini y Huguenin, 1978). Además, el biofouling reduce la apertura de la red de malla disminuyendo la circulación de agua dentro de las jaulas, como consecuencia, se reduce la capacidad de carga dentro del vivero dando lugar a altas mortalidades de los peces (Dürr y Watson, 2010; Hodson et al., 2000). También se ha descrito que ciertos organismos del biofouling pueden actuar como reservorio de enfermedades y parásitos para las especies que se cultivan.

En la actualidad, el control de biofouling se realiza mediante el cambio y limpieza de las redes o mediante el empleo de tratamientos antifouling que contienen como biocida compuestos activos a base de cobre u otros metales. A pesar de que la primera opción es la más respetuosa con el medio ambiente, los procesos de cambio y limpieza de redes y otras estructuras provocan estrés a los animales, daños en las redes e incrementa los costes de mantenimiento disminuyendo el beneficio para las empresas.

De tal modo que el uso de antifoulings químicos sigue siendo a día de hoy la solución más efectiva y económica, no obstante, es necesario seguir trabajando en el desarrollo de tratamientos antifouling que sean más respetuosos con el medio ambiente.

Es por ello que en el marco de este proyecto se ha desarrollado un nuevo tratamiento antifouling con una concentración de biocida menor que el resto de tratamientos comerciales con el fin de reducir el impacto en el medio ambiente de los viveros flotantes.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Como se establece en el marco de este proyecto el objetivo principal de esta actividad es el estudio de eficacia del nuevo tratamiento antifouling desarrollado en colaboración con CETGA (Anexo). Para ello, se ha puesto a prueba el tratamiento en dos ambientes diferentes para así comprobar su eficacia bajo distintas condiciones, usando como indicadores la cobertura de especies adquirida y el incremento de peso debido a las incrustaciones.

### 2.2 Objetivos específicos

Con este nuevo tratamiento se pretende diseñar un producto dirigido a evitar las incrustaciones de aquellos organismos más comunes en las zonas en las que se va a emplear, especialmente las macroalgas. Se ha diseñado una metodología con la que se pretende observar y determinar qué especies se podrían adherir al tratamiento y en qué proporción de abundancia.

Además de la especificidad de organismos a la que podría ir dirigida este nuevo antifouling, se va a evaluar la viabilidad del tratamiento en base a propiedades técnicas como la resistencia que ofrece ante el aumento de peso debido a las incrustaciones. Este incremento de peso será determinado en dos componentes: peso seco y peso húmedo.

Por último, se podrá comprobar en el periodo de tiempo que durará el estudio la eficacia del tratamiento para mantener las redes libres de fouling.

Una vez finalizado el estudio de eficacia y en base a los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas, se establecerán en colaboración con APROMAR una serie de medidas estratégicas para su aplicación en el sector de la acuicultura de España.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

### 3. NUEVO TRATAMIENTO DESARROLLADO

Como se ha comentado anteriormente, el principal objetivo de FOULACTIVE es el desarrollo de un tratamiento antifouling sostenible y eficaz para los viveros flotantes. Para ello el Centro Tecnológico del Clúster de la Acuicultura (CETGA), ha desarrollado un nuevo tratamiento antifouling novedoso y sostenible, que minimice el impacto en el medio marino.

Este tratamiento se basa en una emulsión de resina epoxi a la que se le ha añadido nanopartículas de cobre a una concentración del 1% que se ha formulado para ser utilizado en redes de viveros flotantes.

Este tratamiento desarrollado se diferencia de los demás debido al tamaño de partículas que contiene, ya que al tratarse de nanopartículas de cobre metálico (NPsCu), se necesita menos cantidad de mineral y, se optimiza su uso, ya que a tamaño nanométrico sus propiedades se incrementan.

Además, este tratamiento destaca porque al tratarse de nanopartículas de cobre, se logra que no se desprendan con tanta facilidad al entrar en contacto con el agua, aumentando el tiempo útil del revestimiento con menor impacto en el medioambiente, y por tanto una mayor seguridad alimentaria.

Las redes se revisten con una emulsión de resina epoxi incorporando nanopartículas de cobre metálico de 25 nm de tamaño de partícula (TEM) (figura I), que mantiene el efecto positivo del Cu como tratamiento antifouling, disminuyendo la adhesión de las algas y de otras incrustaciones.

Una vez desarrollado el tratamiento en CETGA, se trataron dos paños de red de 50 x 50 cm y fueron enviados a CTAQUA para el presente estudio de efectividad.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura I:** Paño de red revestido con el nuevo tratamiento.

#### 4. ESTUDIO DE EFECTIVIDAD

Para este estudio se planteó una metodología capaz de exponer ante el biofouling distintos tratamientos de redes para así, poder medir la efectividad de estos productos para controlar la incrustación de organismos y cuantificar el efecto de los biocidas que contienen. Se seleccionaron paños de red de nylon sin nudos (el modelo estándar utilizado en los viveros flotantes) de 50 cm x 50 cm para impregnarlas con los tratamientos seleccionados además del anti-fouling diseñado en el marco de este proyecto. Las muestras han consistido en dos réplicas de 3 tratamientos distintos: Netwax NI3, AquaNet Premium y AquaNet Protect, además del nuevo tratamiento desarrollado y de una red control sin antifouling.

El tratamiento Netwax NI3 (fabricado por Netkem AS y comercializado en España por Mørenot) es un antifouling estándar disponible a nivel comercial con un biocida basado en partículas de cobre (Cu) al 3% de concentración, actúa liberando iones de Cu evitando así el asentamiento y crecimiento de organismos incrustantes. Este tratamiento es actualmente el más empleado en los viveros flotantes de España (según los resultados obtenidos en el entregable 1). El tratamiento diseñado para este estudio (CETGA) se basa en una emulsión de resina epoxi a la que se le ha añadido nanopartículas de Cu al 1% de concentración. Este tratamiento actúa de igual modo que el primero. Por último, el antifouling AquaNet Protect y AquaNet Premium (fabricados por la noruega Steen-Hansen y actualmente aún no disponibles en España) fueron considerados por contener Ecomea (biocida orgánico) y piritonato de zinc al 2% en el caso del primero, y Cu al 10% en el caso del segundo. En el caso de AquaNet Protect, se ha seleccionado este producto por usar una sustancia orgánica biodegradable, así que supuestamente sea más sostenible y su alto grado de efectividad (según datos del fabricante). Todos los

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

tratamientos fueron aplicados en los paños de red mediante inmersión para asegurar que toda la red queda impregnada por igual, y se dejaron secar al aire durante 48 horas.

Para el estudio de efectividad se plantearon dos zonas diferentes, Cádiz y Galicia, donde se realizaron pruebas por duplicado y las redes se sumergieron desde el 1 de junio de 2021 hasta el 1 de octubre de 2021, siendo un total de 122 días de exposición.

#### 4.1 Metodología empleada en Cádiz

En Cádiz, se comparó el tratamiento CETGA con Netwax NI3 y AquaNet Protect, y una vez que las redes fueron tratadas con los antifouling, se fijaron a un bastidor formado por tubos de PVC de 22 mm de diámetro (figura II). Se seleccionó este material por su rigidez y resistencia a la corrosión en el agua, además de su disponibilidad y fácil manipulación. El bastidor no fue tratado con ninguno de los antifouling utilizados en este estudio.



**Figura II:** Bastidor de PVC con las redes tratadas. De izquierda a derecha: red control, AquaNet Protect, nuevo tratamiento desarrollado y Netwax NI3.

Este bastidor fue ubicado en una zona de marismas donde actualmente se cultiva dorada, lubina, mugilidos (cultivo extensivo) y ostiones (figura III). La alta producción de esta zona y su fácil acceso desde tierra hicieron de este espacio un escenario ideal para realizar este estudio.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura III:** Ubicación de las redes antifouling en las marismas de Cádiz.

## 4.2 Metodología empleada en Galicia

En el ensayo realizado en Galicia, se adaptó el soporte de las redes al medio donde fueron sumergidas, y las redes fueron recortadas para adaptarlas también. Las redes se colocaron en estanques de tierra de 2 x 2 x 0,5 m, a temperatura ambiente y fotoperiodo natural, con un volumen total de 1600 L y un flujo de agua procedente de cultivo intensivo de rodaballo, ya que como en el caso anterior, se trata de un medio con una alta productividad. Fueron fijadas a un bastidor de las mismas características pero de forma individual (figura IV). En este ambiente, el nuevo tratamiento fue comparado con Netwax NI3 y AquaNet Premium.



**Figura IV:** Redes tratadas con antifouling en bastidores individuales. De izquierda a derecha: red control, nuevo tratamiento desarrollado, Netwax NI3 y AquaNet Premium.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

Debido a las dimensiones de los estanques no fue posible sumergirlas todas juntas, por lo que se optó por hacerlo en diferentes tanques conectados entre sí para que el flujo de agua fuese el mismo (figura V).



**Figura V:** Estanques de tierra donde fueron sumergidas las redes en Galicia.

Al final del periodo de exposición se realizó un estudio visual de los tipos de organismos presentes en cada red. Se tomaron fotografías de cada una de las redes y fueron procesadas con el software ImageJ® para estimar la proporción de organismos en cada paño aplicando el método estadístico de Montecarlo. Para este análisis solo fueron considerados los organismos que se fijan a las redes, descartando aquellos que no son incrustantes como es el caso de los poliquetos, anfípodos o isópodos.

Por otra parte, el peso adquirido en las redes debido a los organismos incrustados es uno de los mayores problemas a los que se enfrentan los viveros flotantes, es por ello por lo que se utiliza la variación de peso como indicador a la hora de evaluar la efectividad de un tratamiento antifouling. Además, es el método más directo, sencillo y preciso para medir cantidad total de fouling, ya que hacer el estudio en base a la morfología y tamaño de los organismos incrustados, está abierto a mayores diferencias en la interpretación de resultados. En este estudio las redes se pesaron tanto en húmedo como en seco, para así estimar el peso adquirido debido a los organismos adheridos tras el tiempo de inmersión. El peso en húmedo se realizó una vez que las redes fueron sacadas del agua y escurridas durante 10 minutos. Para determinar el peso en seco, las redes fueron secadas en una estufa a 40°C durante 24h.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

Por último, se ha realizado una prueba de resistencia para comprobar cómo la adhesión de organismos afecta la elasticidad, resistencia y durabilidad de las redes tras el periodo de exposición. Para ello se ha realizado un ensayo de tracción para determinar la carga de rotura de las mallas de red de acuerdo a lo establecido en la Norma ISO 1805:2007. Esta prueba se ha realizado en colaboración con la empresa TECNORED SL.

Para el ensayo, las muestras se seleccionaron de forma aleatoria en distintas partes de la malla de cada red, para que sean representativas del conjunto. Se cortaron piezas de 3 x 3 cm tan lejos como fue posible de los nudos o uniones, y sobre éstas se determinó la resistencia en la parte central.

La prueba de resistencia se realizó con las redes completamente mojadas y siguiendo el tiempo de rotura establecido por la normativa:  $20 \pm 3$  s. Para cada tratamiento se realizaron 5 réplicas.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 Estudio realizado en Cádiz

#### 5.1.1 Cobertura de organismos adheridos

Las especies dominantes en todas las redes fueron limos (bacterias, diatomeas y microalgas) y macroalgas, no obstante, durante el periodo de estudio se observó una variación espacial tanto entre las redes como entre los distintos organismos adheridos a ellas. Estos organismos fueron los que más contribuyeron a la oclusión de la luz de malla de las redes (figura VI), mostrando una cobertura del 100% de la superficie de las mismas.



**Figura VI:** Arriba diatomea presente en los limos de todas las redes del estudio. Abajo macroalgas, a la izquierda cladophorales y a la derecha ceramiales.

Algunos cirrípedos fueron encontrados en la mayoría de redes, y principalmente aparecen adheridos en los nodos (figura VII), Newax NI3 fue el único tratamiento que no presentó cirrípedos. Además, se observaron anfípodos en todos los tratamientos sumergidos.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura VII:** Arriba a la izquierda un cirrípedo adherido en el nodo de una red, a la derecha detalle del organismo fuera del caparazón. Debajo detalle de un anfípodo.

Puntualmente y durante los periodos de mayor temperatura aparecieron briozoos incrustados en las redes, excepto en Netwax NI3 y AquaNet Protect (figura VIII). A pesar de que los briozoos desaparecieron al bajar las temperaturas y no contribuyeron significativamente a la colonización de las redes, éstos ofrecieron una mayor superficie disponible para el asentamiento de otros organismos.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



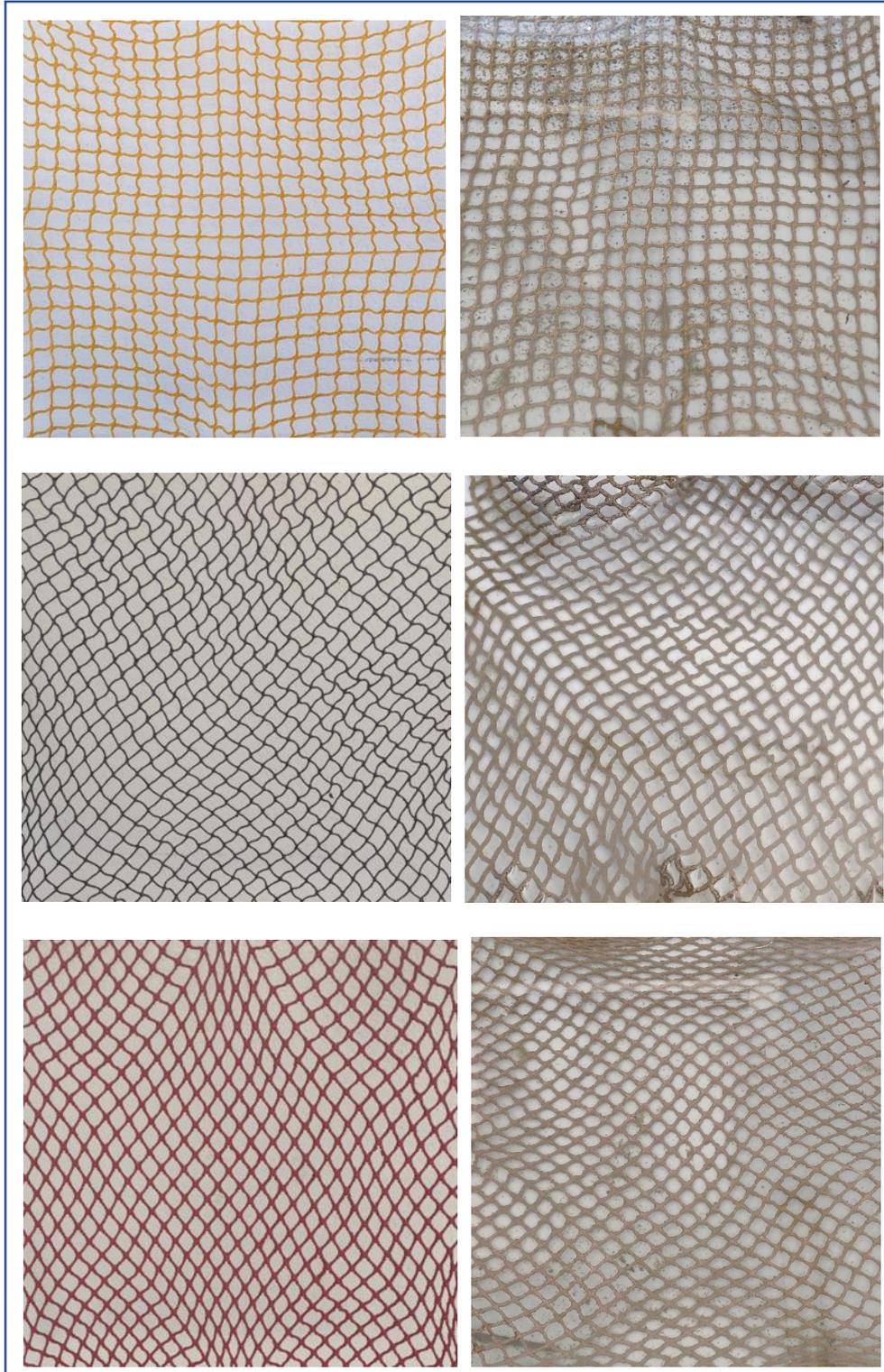
**Figura VIII:** Red control con presencia de briozoos (a la izquierda) y tratamiento NetwaxNI3 libre de briozoos.

La diversidad de organismos asociados al fouling fue mayor en la red control (sin tratamiento) y la red tratada con el tratamiento desarrollado en este proyecto (tabla 1 y figura IX).

**Tabla 1:** Diversidad de organismos presentes en cada uno de los tratamientos expuestos el fouling en los distintos ambientes.

Ambiente	Tratamiento	Macroalgas	Hidrozoos	Limos	Mejillones	Cirrípedos	Anfípodos	Isópodos	Poliquetos
Cádiz	Control	X	X	X		X	X		
	AquaNet Protect			X		X	X		
	CETGA	X	X	X		X	X		
	Netwax NI3			X			X		
Galicia	Control	X	X	X	X		X	X	X
	AquaNet Protect			X				X	
	CETGA	X		X			X		
	Netwax NI3	X		X				X	X

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura IX:** Estado de las redes al inicio del estudio (izquierda) y después de 122 días de inmersión (derecha). De arriba abajo: AquaNet Protect, nuevo tratamiento desarrollado y Netwax NI3.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

El fouling apareció en todas las redes siendo Netwax NI3 la que menos organismos incrustados presentó seguida de AquaNet Protect (figura X), siendo en ambos tratamientos los limos los organismos más abundantes. En el nuevo tratamiento apareció una gran variedad de organismos adheridos presentado cierta similitud con la red control.

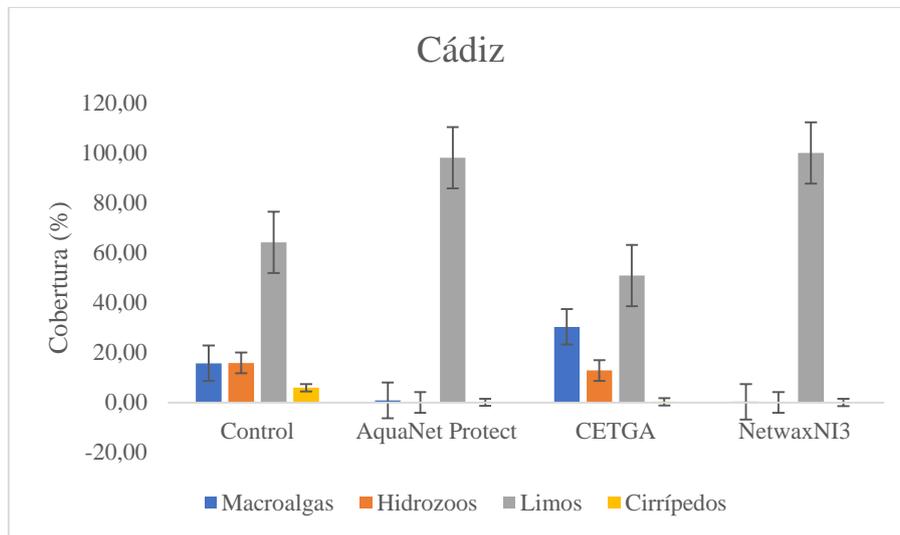


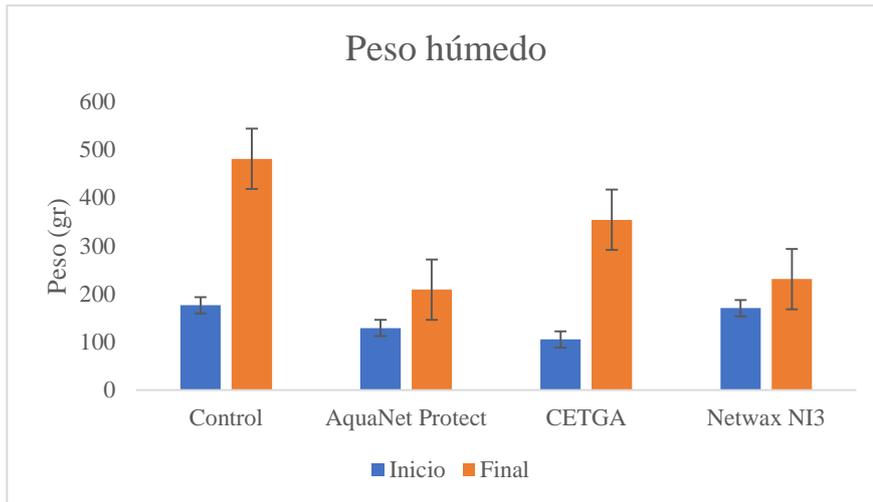
Figura X: Cobertura de organismos en los distintos tratamientos estudiados en Cádiz.

### 5.1.2 Incremento de peso

Para este indicador por un lado se analizó el peso en húmedo de las redes, ya que es la variable con la que trabajan los viveros flotantes, tanto para las labores rutinarias de manejo como para las labores de limpieza y desinfección de las redes. Y por otra parte se analizó el peso en seco, para hacer una estimación de la cantidad de residuos que genera el fouling y que las granjas marinas deben gestionar.

En cuanto al peso húmedo se observó una mayor variación comparado con respecto al peso en seco (figura XI). Se observa una clara diferencia en el incremento de peso húmedo en la red control comparada con las redes tratadas. Si se consultan los resultados anteriores, el 90% de los organismos adheridos son limos, algas e hidrozoos (figura X), todos compuestos en su mayoría por altos porcentajes de agua. El tratamiento que mayor incremento de peso húmedo ha experimentado ha sido el nuevo tratamiento diseñado en el marco de este proyecto con un aumento del 70,2%, seguido de AquaNet Protect con un incremento de peso del 38,3% y Netwax NI3 con un 26,2%.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

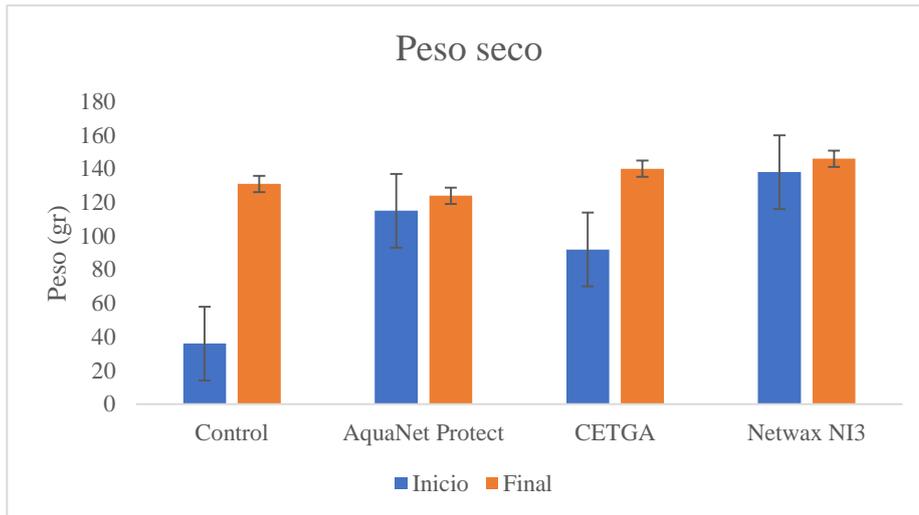


**Figura XI:** Evolución del peso en húmedo para cada uno de los tratamientos al inicio de la prueba y tras 122 días de inmersión. Datos obtenidos en el estudio realizado en Cádiz.

En lo referente al estudio del peso en seco, como se ha comentado anteriormente tiene un especial interés debido a la masa de residuos que se genera en las redes y que las empresas marinas deben gestionar a la hora de realizar las labores de mantenimiento de los viveros flotantes.

En la prueba realizada en Cádiz se observó que la red tratada con el nuevo antifouling incrementó su peso seco en un 34,3% (figura XII). Este aumento se debe a la presencia de cirrípedos, ya que al tratarse de organismos calcáreos aumentan considerablemente el peso de la red. El resto de tratamientos tuvieron un incremento poco significativo: AquaNet Protect con un 7,25% y Netwax NI3 con un 5,5%.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



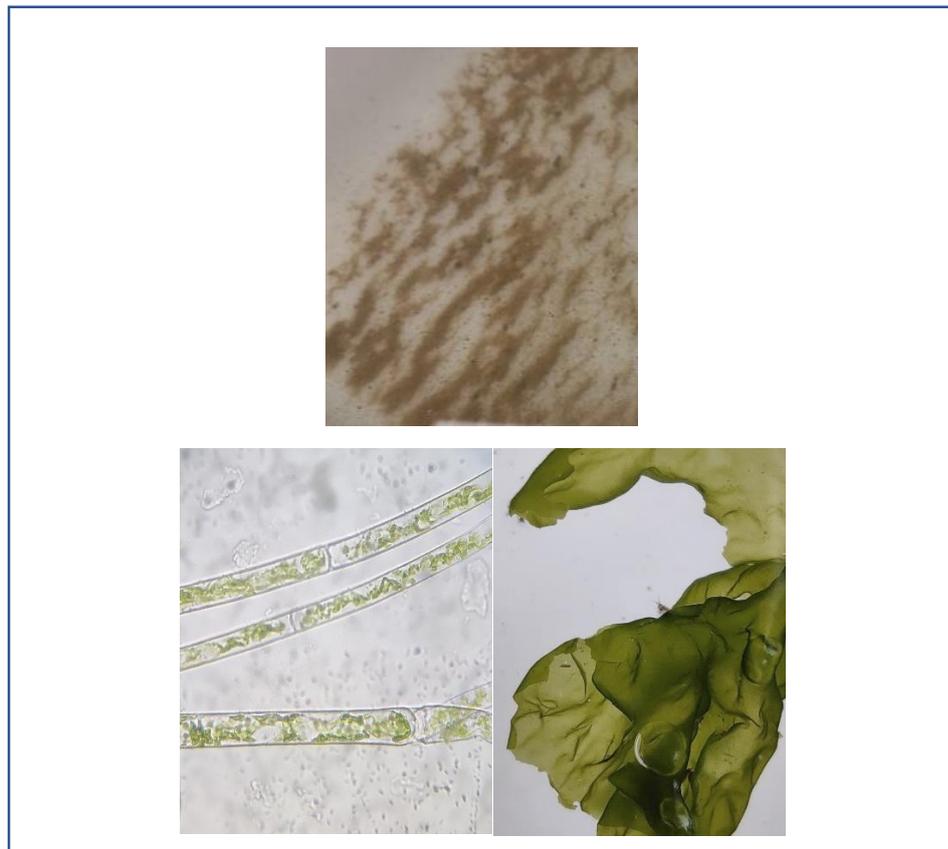
**Figura XII:** Evolución del peso en seco para cada uno de los tratamientos al inicio de la prueba y tras 122 días de inmersión.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## 5.2 Estudio realizado en Galicia

### 5.2.1 Cobertura de organismos adheridos

En esta ubicación de nuevo dominaron las macroalgas y los limos a lo largo de todo el periodo de estudio (figura XIII). Ambos grupos estuvieron presente en todos los tratamientos estudiados. Especialmente las macroalgas cubrieron un alto porcentaje de la superficie expuesta, desarrollándose varias especies tanto de algas verdes como de algas rojas.



**Figura XIII:** Arriba limos presentes en todas las redes del estudio. Abajo macroalgas, a la izquierda cladophorales y a la derecha ulvaceas.

Por otro lado, solo en la red control se detectaron algunos individuos de mejillones e hidrozoo (figura XIV), en ninguno de los tratamientos estudiados se dieron estos grupos, lo que podría ser indicativo de que tanto los tratamientos comerciales como el nuevo tratamiento desarrollado son efectivos contra la incrustación de estos organismos. También aparecieron en varios tratamientos anfípodos, isópodos y poliquetos de forma epífita (tabal 1).

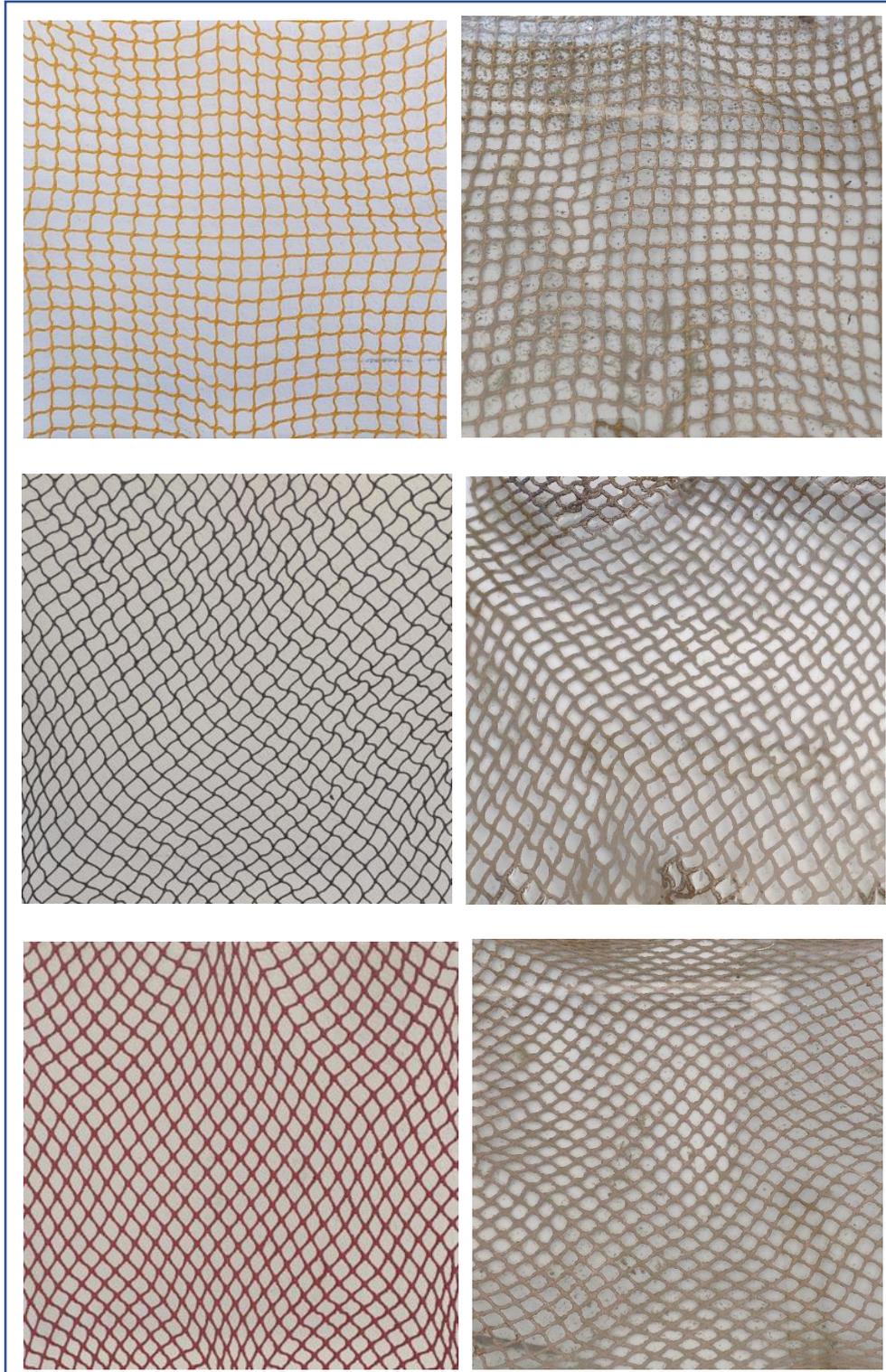
“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura XIV:** Arriba a la izquierda un individuo de isópodo y a la derecha un poliqueto. Debajo a la izquierda individuo de mejillón y a la derecha hidrozoo.

Al igual que en el estudio realizado en Cádiz, en las redes estudiadas en Galicia la diversidad de organismos asociados al fouling fue mayor en la red control (sin tratamiento) y la red tratada con el tratamiento desarrollado en este proyecto (tabla 1 y figura XV).

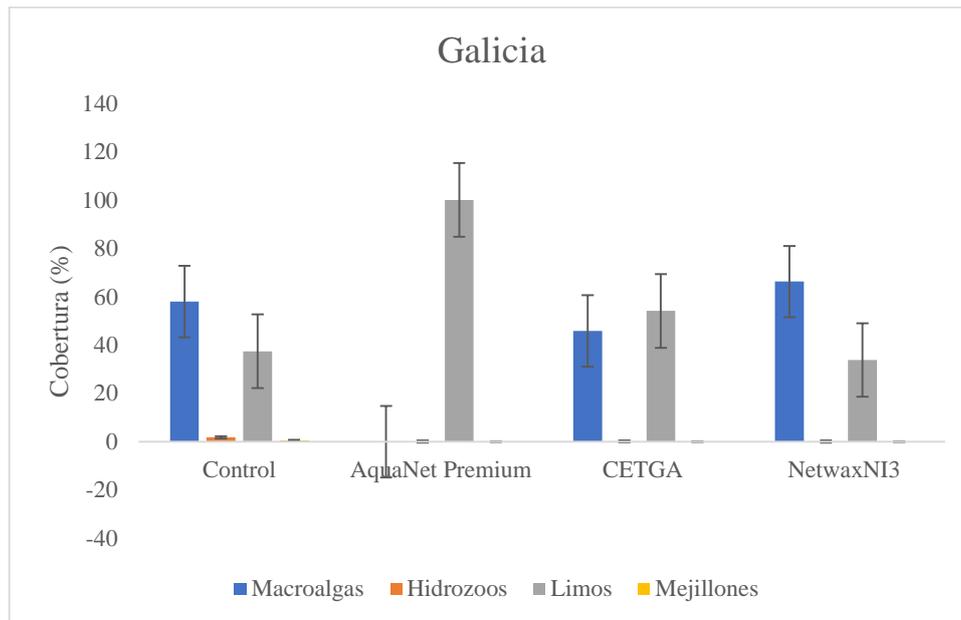
“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura XV:** Estado de las redes al inicio del estudio (izquierda) y después de 122 días de inmersión (derecha). De arriba abajo: AquaNet Premium, nuevo tratamiento desarrollado y Netwax NI3.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

A rasgos generales, aparecieron organismos incrustados en todos los tratamientos, siendo AquaNet Premium el que menos organismos incrustados presentó seguida de Netwax NI3 (figura XVI), siendo en este último las macroalgas y limos los organismos más abundantes. El nuevo tratamiento presentó cierta similitud con Netwax NI3 siendo los limos los más abundantes seguido de las macroalgas y algunos individuos de hidrozoos.



**Figura XVI:** Cobertura de organismos en los distintos tratamientos estudiados en Galicia.

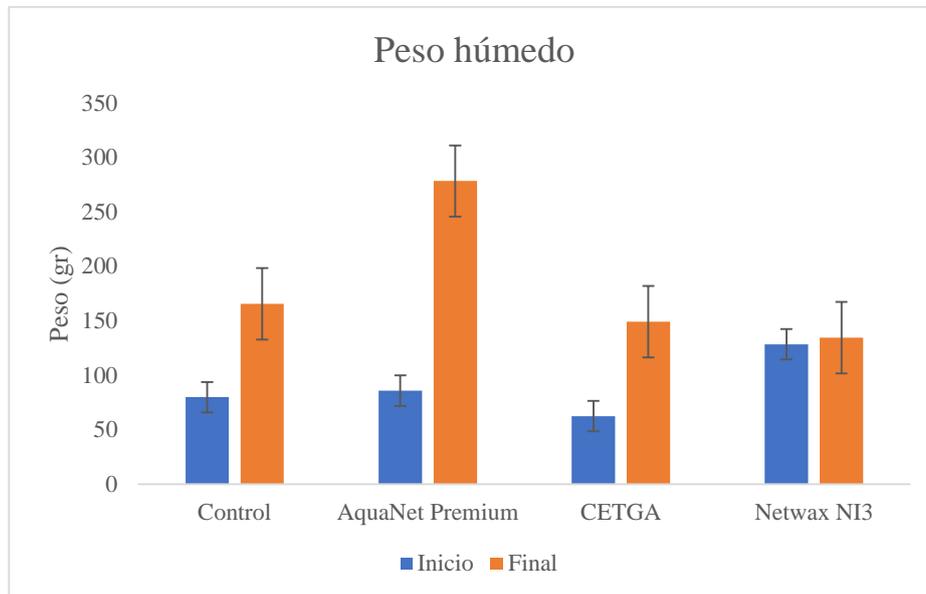
### 5.2.2 Incremento de peso

En este caso se procedió del mismo modo que en la ubicación anterior, analizando por un lado el peso en húmedo adquirido debido al biofouling en cada tratamiento, y por otro, el peso seco para estimar la cantidad de residuos que se genera derivado de la incrustación de organismos.

En cuanto a la determinación del peso húmedo en las redes expuestas en Galicia, se observa claramente como AquaNet Premium es la que más peso adquiere con un incremento del 69%. Esto se debe a que esta red está cubierta exclusivamente por limos. En la figura XVII se observa como la red tratada con el nuevo antifouling y la red control se comportan de manera similar, llegando a aumentar su peso su peso en un 58% y un

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

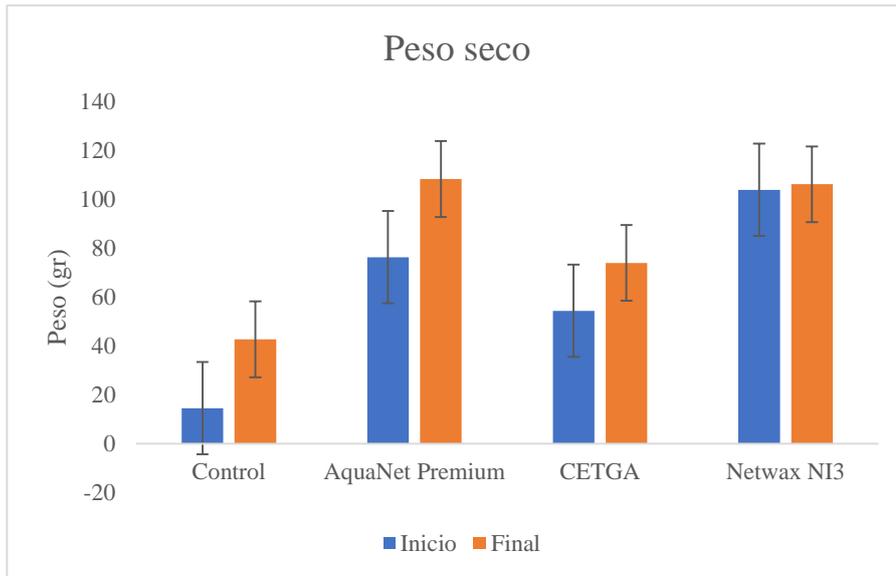
52% respectivamente, por otra parte, Netwax NI3 apenas varía su peso en húmedo a lo largo de los 122 días del estudio (incremento del 4,5%).



**Figura XVII:** Evolución del peso en húmedo para cada uno de los tratamientos al inicio de la prueba y tras 122 días de inmersión. Datos obtenidos en el estudio realizado en Galicia.

Por otro lado, la determinación del peso en seco adquirido, en el estudio realizado en Galicia (figura XVIII), el tratamiento que mayor peso adquirió a lo largo de 122 días de exposición fue AquaNet Premium con un aumento del 30%. Seguidamente, el nuevo tratamiento desarrollado con un 27% de aumento en peso seco y finalmente, Netwax NI3 que apenas aumentó su peso en un 2%.

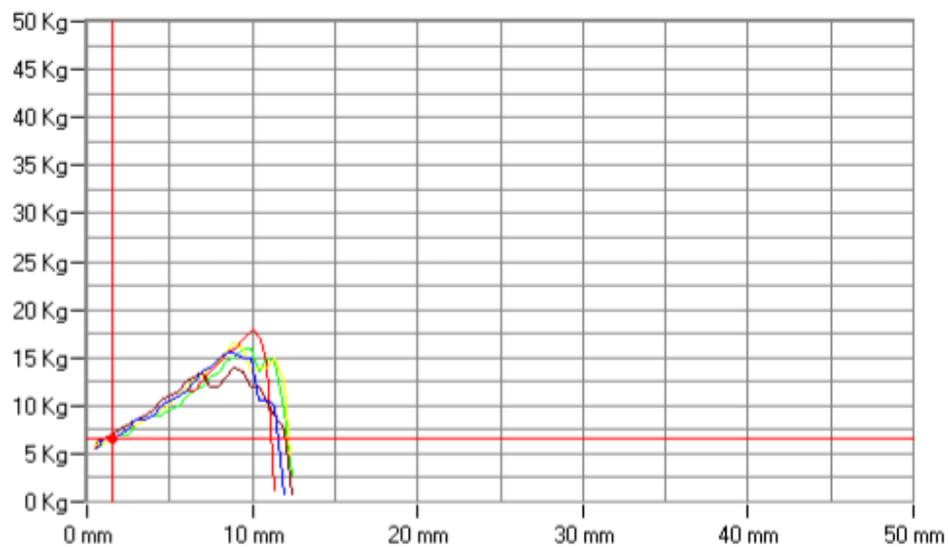
“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Figura XVIII:** Evolución del peso en seco para cada uno de los tratamientos al inicio de la prueba y tras 122 días de inmersión. Datos obtenidos en el estudio realizado en Galicia.

### 5.3 Ensayo de resistencia

El primero de los ensayos se realizó con la red control para usarla como referencia. Los paños de red fueron preparados según lo descrito anteriormente y expuestos al biofouling mediante su inmersión en agua durante 122 días. El aspecto del diagrama de tracción (gráfico 1) es el típico de los materiales acordonados elásticos (en este caso se trata de una poliamida tipo nylon).

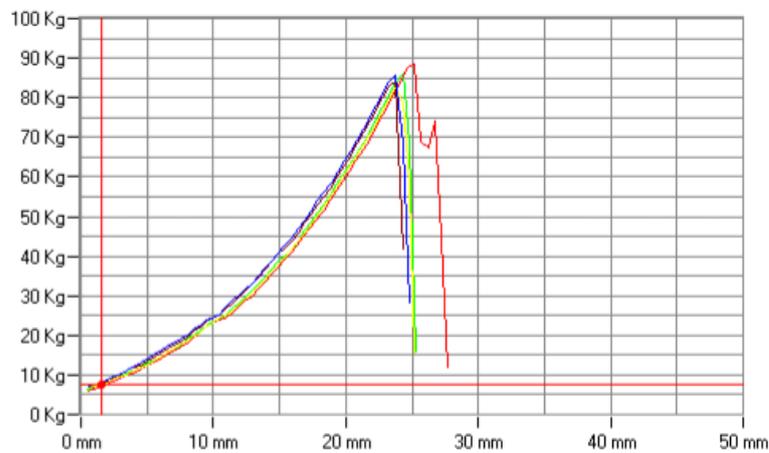


**Gráfico 1:** Ensayo de resistencia para la red control.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

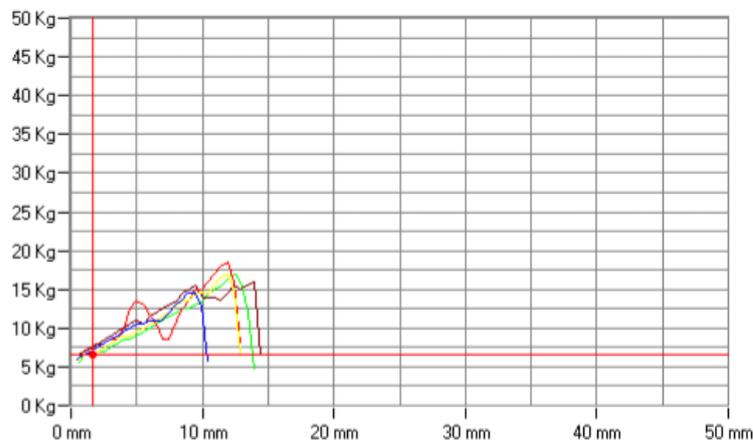
A medida que se va incrementando la carga, la fuerza-alargamiento dibuja una curva parabólica creciente (gráfico 1) hasta que llega a un punto máximo de carga, donde se produce una primera rotura. En ese pico máximo se produce la rotura de algunas fibras primarias pero no se llega a la fractura total, esto ocurre en el segundo pico, afectado por una carga menor, aunque el material sigue estirándose. Prácticamente en todas las réplicas las muestras de malla se comportaron de forma idéntica.

En este caso Netwax NI3 (gráfico 2) tras el periodo de exposición al fouling soportó una carga máxima de 85 Kg y una elongación máxima de 25 mm (tabla 2).



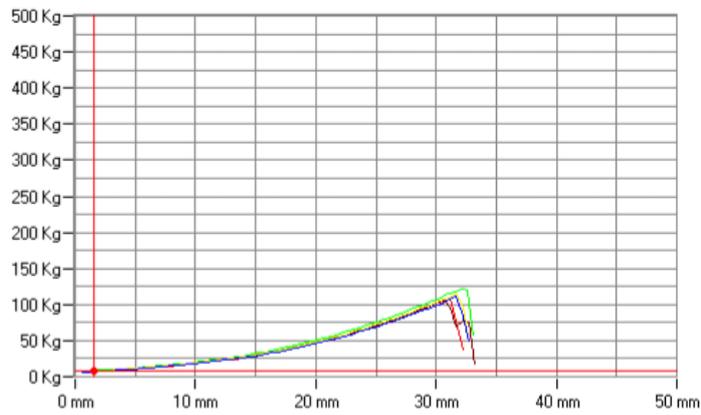
**Gráfico 2:** Ensayo de resistencia para la red tratada con el antifouling Netwax NI3.

En cuanto al nuevo tratamiento desarrollado (gráfico 3) fue el que mostró menor resistencia y menor alargamiento, siendo AquaNet Protect y AquaNet Premium los tratamientos más resistentes y más elásticos de todos los estudiados (gráfico 4 y 5).



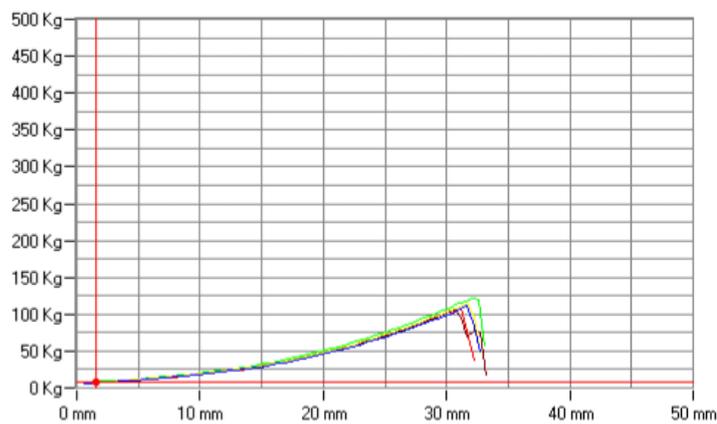
**Gráfico 3:** Ensayo de resistencia para la red tratada con el nuevo antifouling desarrollado.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.



**Gráfico 4:** Ensayo de resistencia para la red tratada con AquaNet Protect.

En cuanto al nuevo tratamiento desarrollado (gráfico 3) fue el que mostró menor resistencia y menor alargamiento, siendo AquaNet Protect y AquaNet Premium los tratamientos más resistentes y más elásticos de todos los estudiados (gráfico 4 y 5).



**Gráfico 5:** Ensayo de resistencia para la red tratada con AquaNet Premium.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

**Tabla 2:** Valores medios de resistencia, elongación y alargamiento para todas las redes tratadas con los antifouling estudiados en este proyecto.

Tratamiento	Nº prueba	Resistencia (Kg)	Elongación (%)	Alargamiento (mm)
Control	1	16,00	4,32	9,40
	2	18,00	4,57	10,00
	3	14,00	4,06	8,90
	4	16,50	4,06	8,90
	5	15,50	3,89	8,50
	Media	16,00	4,18	9,14
	Desv.	1,4577	0,2663	0,5771
AquaNet Protect	1	122,00	14,61	32,10
	2	107,00	14,28	21,20
	3	106,50	13,98	30,70
	4	115,50	14,45	21,70
	5	111,00	14,48	31,70
	Media	112,4	14,3586	27,48
	Desv.	6,4750	0,2423	5,5310
CETGA	1	17,00	5,92	12,50
	2	18,50	5,66	11,90
	3	16,00	6,58	13,90
	4	17,00	5,66	11,90
	5	14,50	4,20	8,90
	Media	16,6	5,6034	11,82
	Desv.	1,4748	0,8709	1,8254
AquaNet Premium	1	120,00	14,72	33,00
	2	108,00	14,33	22,50
	3	107,00	13,78	31,00
	4	111,00	14,22	20,80
	5	106,50	14,51	32,50
	Media	110,5	14,312	27,96
	Desv.	5,590169944	0,352661311	5,838064748
Netwax NI3	1	86,00	11,64	24,30
	2	88,50	12,08	25,20
	3	84,00	11,39	23,80
	4	82,50	11,43	23,80
	5	85,50	11,41	23,80
	Media	85,3	11,5884	24,18
	Desv.	2,2528	0,2932	0,6099

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

De este modo y tomando como referencia un vivero flotante de lubinas estándar de 25 metros de diámetro y 12 metros de profundidad, los resultados obtenidos determinan que un vivero de este tipo tratado con Netwax NI3 resistirá un peso de 182281,3 toneladas, sin embargo con el nuevo tratamiento desarrollado tendría una resistencia de 35473,3 toneladas, lo que supone un 80,54 % menos resistente.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## 6. CONCLUSIONES

La presencia, severidad y persistencia del biofouling depende de parámetros locales como la temperatura, la salinidad, la luz, la profundidad y las superficies; así como parámetros globales tales como las corrientes, la época del año y la latitud. Este hecho hace que la clasificación y caracterización del fouling en los viveros flotantes sean labores muy difíciles de generalizar, ya que la presencia de organismos va a ser un factor prácticamente exclusivo de cada instalación.

Es por ello, que en los últimos 10 años las investigaciones en el ámbito del biofouling marino se han duplicado, especialmente en países como Noruega, Gran Bretaña, España o Dinamarca, donde la acuicultura marina es una actividad creciente. Dentro de estas investigaciones, la temática que mayor interés suscita, además de la que mayor número de publicaciones presenta, es la referente a los tratamientos antifouling. Hecho que ha podido ser corroborado mediante las encuestas realizadas a los productores marinos, en la que la gran mayoría indican que es necesario seguir avanzando en este campo. Siendo así, proyectos como *LEAF* (2016), *Byefouling* (2014) ó *CRAB* (2008) son testimonios de que el sector cada vez demanda más inversión en el desarrollo de nuevas herramientas y estrategias para gestionar el biofouling en las instalaciones.

Como respuesta a esta necesidad surge la recopilación y análisis de tratamientos antifouling disponibles hoy en día. Una primera aproximación muestra que el 85% de los tratamientos analizados contienen derivados del cobre u otros metales como principio activo. Estos compuestos se han mostrado históricamente muy efectivos para controlar la incrustación y crecimiento de organismos sobre las estructuras sumergidas, sin embargo, dependiendo del grado de concentración y adición de los principios activos, generan un impacto en el medio marino que en ocasiones puede llegar a afectar al propio cultivo. En contraposición, se presentan algunas alternativas más sostenibles como son los antifouling a base de biocidas orgánicos, que pese a haber demostrado una disminución en el impacto ambiental, aún no llegan a ser tan efectivos como los empleados tradicionalmente. Por tanto, la opción que más posibilidades de éxito tiene son los tratamientos antifouling mejorados que a la vez que aseguran su eficacia mediante el empleo de metales, disminuyan el impacto en el medio ambiente adaptando la tecnología y forma de aplicación de estos productos.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

En el marco del proyecto FOULACTIVE, se ha diseñado el nuevo tratamiento innovador aplicando los criterios de sostenibilidad y realizado un estudio de eficacia, donde se ha podido comprobar que el antifouling diseñado en el marco de este proyecto es ambientalmente viable, ya que reduce su contenido en biocida y por tanto el que se libera al medio. Sin embargo, al presentar una concentración menor ha demostrado ser menos eficaz que los otros tratamientos estudiados.

En contraposición se han seleccionado y evaluado de forma comparativa tres tratamientos comerciales seleccionados atendiendo a criterios biológicos, productivos y medioambientales: Netwax NI3, AquaNet Protect y AquaNet Premium. El tratamiento Netwax NI3 es el que mayor eficacia ha demostrado frente a las incrustaciones, debido al lixiviado de su biocida genera una capa alrededor de la red que impide el asentamiento y crecimiento de organismos. Por otra parte, Aquanet Protect ha mostrado una eficacia similar a AquaNet Premium, conteniendo el primero a diferencia del segundo, parte de un biocida biodegradable en su composición. Lo que determina que es igual de eficaz que AquaNet Premium reduciendo el impacto ambiental, y su aplicación depende directamente del ambiente productivo donde se aplique.

En cuanto a los problemas derivados de la incrustación en las redes, se ha comprobado que efectivamente el incremento de peso es el principal problema que afecta a las estructuras de los viveros flotantes. El tratamiento nuevo ha mostrado un incremento de peso mayor de lo esperado pero menor que en la red control, por lo que demuestra su eficacia frente al biofouling sin llegar a ser tan eficaz como los tratamientos disponibles actualmente. En contraposición, Netwax NI3 muestra un incremento de peso no significativo comparado con los otros dos tratamientos, mientras que Aquanet Protect y AquaNet Premium aumentan su peso en valores intermedios entre el nuevo antifouling y Netwax NI3.

Finalmente, la cobertura de organismos se ha utilizado como parámetro para medir la eficacia de los tratamientos. El nuevo tratamiento presenta una cobertura casi total pero menor que la red control, estando ésta compuesta principalmente por macroalgas y limos. Netwax NI3 ha presentado valores mínimos, evidenciando de nuevo su capacidad para

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

combatir el biofouling. Los tratamientos Aquanet Protect y AquaNet Premium de nuevo presenta valores intermedios entre los otros antifouling.

En resumen, tras el estudio comparativo realizado se puede decir que la mejor opción en cuanto a tratamientos antifouling actualmente disponibles, es Netwax NI3, ya que ha demostrado su eficacia en los dos ambientes distintos en los que se ha realizado el estudio. El tratamiento desarrollado en el contexto de este proyecto cumple el objetivo ambiental pero a su vez reduce la eficacia si se compara con el resto de tratamientos. Por lo que es necesario seguir trabajando en este antifouling para mejorar su viabilidad técnica.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Ansuini, F.J.; Huguenin, J.E. The design and development of a fouling resistant marine fish cage system. *Proc. Ninth Annu. Meet. World Maric. Soc.* 1978, 9, 737-745.
- Dürr, S.; Watson, D.I. Biofouling and anti-fouling in aquaculture. In *Biofouling*, Dürr, S., Thomason, J.C., Eds.; Wiley-Blackwell: Singapore, 2010; pp. 267-287.
- Fittridge, I.; Dempster, T.; Guenther, J.; de Nys, R. The impact and control of biofouling in marine aquaculture: A review. *Biofouling* 2012, 28, 649-669.
- Gansel, L.C.; Bloecher, N.; Floerl, O.; Guenther, J.; Quantification of biofouling on nets: a comparison of wet weight measurements and optical (image analysis) methods. *Aquacult. Int.* 2017, 25:679-692.
- Hodson, S.L.; Burke, C.M. Microfouling of salmon-cage netting: A preliminary investigation. *Biofouling* 1994, 8, 93-105.
- Hodson, S.L.; Burke, C.M.; Bissett, A.P. Biofouling of fish-cage netting: The efficacy of a silicone coating and the effect of netting colour. *Aquaculture* 2000, 184, 277-290.
- Lane, A.; Willemsen, P.R. Collaborative effort looks into biofouling. *Fish farming Int.* 2004, 34-35.
- Minle, P.H.; Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. Fish Farming: A guide to the design and construction of nets enclosures; *Stationery Office Books*: London, UK, 1970; p. 31.
- Norma *ISO 1805:2007*. Redes de pesca: Determinación de la fuerza de rotura y la rotura de los nudos. En: <https://www.iso.org/standard/30041.html>
- Swain, G.; Shinjo, N. Comparing biofouling control treatments for use on aquaculture nets. *Int. J. Mol. Sci.* 2014, 15, 22142-22154.
- Muhamed Ashraf P., Manju Lekshmi N., Sasikala K.G. and Raghu Prakash R. (2018). Biofouling resistant polyethylene cage aquaculture nettings using polyaniline and nano copper oxide. *Fish Tech Rep.* 4(1).

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

Katherine Andrea Delgado Vargas (2013). Estudio de la obtención de compósitos con propiedades antimicrobiales y antifouling formados por una matriz polimérica y nanopartículas a base de cobre. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería, mención Ciencia de los materiales. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ciencia de los materiales.

Palza H., Quijada R., and Delgado K. (2015). Antimicrobial polymer composites with copper microand nanoparticles: Effect of particle size and polymer matrix. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers* 1–15

Antonell C. (2014). Nanocomposites de Matriz Epoxi: Caracterización de la Interfase por Fluorescencia. Tesis Doctoral de la Universidad Carlos III de Madrid.

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.

## ANEXO

### FICHA TÉCNICA

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Este producto se basa en una emulsión de resina epoxi a la que se le ha añadido nanopartículas de cobre al 1%.

#### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Revestimiento con nanopartículas de cobre de 25 nm de tamaño de partícula, que mantiene el efecto positivo del Cu como tratamiento antifouling
- Disminuye la adhesión de algas y otras incrustaciones.
- Formulado para ser utilizado en redes de viveros flotantes.

#### PROPIEDADES

- Color de la película seca: negro.
- Estado físico en la forma de suministro: emulsión en color negro.

#### USO Y MODO DE APLICACIÓN

- Antes de aplicar este producto es necesario que las redes se encuentren limpias y completamente secas.
- Preparar una mezcla al 1% de nanopartículas de cobre en la resina epoxi, agitando antes de ser vertido a una tina de impregnación, hasta obtener una mezcla homogénea.
- Inmediatamente, sumergir las redes en la tina dejando que absorban el producto durante al menos 15 minutos.
- Las redes impregnadas en el producto se cuelgan para retirar el exceso de producto no adherido y, después se dejan secar al aire.
- El tiempo de secado de las redes dependerá de las condiciones, siendo normalmente de 12 horas. Una vez secas, éstas ya se pueden utilizar.
- Si las redes no se van a usar inmediatamente, es necesario que se protejan de la exposición a la luz solar y de la humedad.

#### ALMACENAJE

- El producto debe almacenarse de acuerdo con la legislación vigente. Las condiciones por defecto son mantener los envases en un espacio seco, fresco, y bien ventilado, alejados de toda fuente de ignición y calor. Los envases deben mantenerse perfectamente cerrados.
- Tiempo de vida de almacenaje a 20

“Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP”.