

**IDENTIFICACIÓN DEL FOULING PRESENTE EN VIVEROS FLOTANTES,
EN BASE A LA BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA Y CONOCIMIENTO DE LA
INCIDENCIA REAL Y CARACTERIZACIÓN MEDIANTE MEDIOS
VISUALES, EN COLABORACIÓN CON EMPRESAS PRODUCTORAS DE
LA COMUNIDAD DE VALENCIA Y LA REGIÓN DE MURCIA.**



“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”.

INFLUENCIA DEL BIOFOULING EN LA INDUSTRIA ACUÍCOLA (VIVEROS FLOTANTES)

ÍNDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. MECANISMOS DE FORMACIÓN DEL BIOFOULING.....	5
2.1. Etapa 1: Adsorción de moléculas orgánicas disueltas	6
2.2. Etapa 2: Colonización primaria (formación del biofilm)	7
2.3. Etapa 3: Colonización secundaria.....	7
2.4. Etapa 4: Colonización terciaria	8
3. TIPOS DE FOULING.....	10
3.1. Clasificación del fouling.....	10
3.2. Incrustaciones más comunes	11
4. SITUACIÓN ACTUAL DEL BIOFOULING	13
4.1. Resultado de las encuestas.....	14
4.1.1 Productos antifouling y aplicación.....	14
4.1.2 Problemas principales del biofouling.	15
4.1.3 Gestión del biofouling y sus residuos.	16
4.2. Caracterización del biofouling presente en las granjas marinas	16
5. EFECTOS GENERALES DEL BIOFOULING EN LOS VIVEROS FLOTANTES	18
5.1. Modificación de la hidrodinámica por obstrucción de las redes	19
5.2. Incremento del peso en las redes	20
5.3. Aumento del riesgo de enfermedades y patógenos asociados	20
6. CONCLUSIONES.....	21
6.1. Desarrollo productivo	22
6.2. Desarrollo económico	23
6.3. Desarrollo ecológico y medioambiental	24
7. BIBLIOGRAFÍA	26

“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”.

RESUMEN

FOULACTIVE “Desarrollo de tratamiento antifouling que permita reducir el impacto en el medio ambiente de viveros flotantes” es un proyecto de la convocatoria para el fomento e impulso de la sostenibilidad pesquera y acuícola en el marco del Programa pleamar, cofinanciado por el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP) en 2020, con el apoyo del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Fundación Biodiversidad.

Este proyecto, tiene como objetivo principal “Minimizar el impacto medioambiental asociado a la generación de residuos procedentes del fouling en viveros flotantes a través de la evaluación y desarrollo de nuevos tratamientos sostenibles aplicables en viveros flotantes”.

Para ello, durante la primera fase del proyecto, se ha trabajado en la identificación de las causas que originan el fouling analizando los diferentes tipos de incrustaciones presentes en los viveros flotantes, su periodicidad y las superficies donde se desarrollan. Este trabajo se ha desarrollado mediante un análisis de la incidencia real registrada en viveros flotantes, en base a la bibliografía científica y a una caracterización mediante medios visuales en colaboración con las empresas productoras adscritas a APROMAR. Con todo ello, se ha elaborado un documento donde se recoja un estudio del arte, la situación actual sobre los diferentes tipos de incrustaciones marinas existentes en viveros flotantes y su influencia en la actividad productiva: Informe “Influencia del biofouling en la industria acuícola (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”.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas acuícolas se enfrentan a una variedad de problemas en sus instalaciones, uno de ellos tiene especial relevancia en el balance económico, que además supone un alto riesgo de pérdidas en la producción. Es el fouling marino o biofouling, que deteriora los viveros flotantes y las estructuras asociadas.

El biofouling, es un proceso natural que ocurre en el medio marino sobre todas aquellas superficies sumergidas. En el momento en el que un material es sumergido se cubre inmediatamente de una fina capa macromolecular e inerte, gracias a la cual es posible la colonización de bacterias y otros organismos unicelulares que darán paso al asentamiento de organismos macromoleculares como algas y moluscos (Persoone, 1971). Estos organismos, se fijan eficazmente al sustrato, desarrollando un rápido crecimiento y un vasto potencial reproductor.

El biofouling provoca que los procesos de corrosión de los materiales donde se adhieren se aceleren, provocando pérdidas en el funcionamiento de las estructuras. Los organismos que componen el biofouling se incrustan sobre todo tipo de estructuras causando daños que suponen un gran problema para la industria acuícola, derivando en impactos a nivel económico.

Esta proliferación de organismos sobre los sistemas flotantes supone un peso añadido a los mismos, lo que constituye un problema de mantenimiento, y por ende, repercute en elevados costes económicos (Aarsnes, J.V., Rudi, H., Loland, G., 1990).

En cuando a las redes de los viveros flotantes, suponen un medio perfecto para el desarrollo del biofouling. Los organismos son atraídos por su superficie rugosa, ya que les proporciona protección frente a corrientes, además se favorece la acumulación de los restos de piensos y productos de excreción de los organismos cultivados, permitiendo el desarrollo de algas. No obstante, la mayoría de estudios hacen referencia al fouling que afecta a las embarcaciones, cuyas condiciones son muy diferentes a las de

“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”.

las redes. De modo que datos relativos a los organismos que viven en las redes de los viveros flotantes, es muy escasa.

2. MECANISMOS DE FORMACIÓN DEL BIOFOULING

En tan solo 20 minutos de inmersión, las superficies se “transforman” a través de la adhesión de macromoléculas tales como proteínas presentes en el agua. Durante las primeras horas las bacterias se asientan generando un sustrato para las algas unicelulares, protozoos y hongos (Relini, 1990). Estos primeros colonizadores forman el llamado biofilm, una colección de organismos adheridos frecuentemente denominados microfouling o “slime” (Costerton *et al.*, 2005). En último lugar, una capa de macrofouling coloniza la superficie, compuesto por algas pardas y verdes, invertebrados como cirrípedos, mejillones, ascidias e hidrozoos (Berntsson y Johnsson, 2003).

El biofouling está compuesto principalmente por organismos sésiles que se desarrollan de forma natural en las zonas someras, a lo largo de la costa o en la superficie dura de ciertos organismos marinos como crustáceos o incluso mamíferos (WHOI, 1952). Estos organismos, tienen la capacidad de adherirse fuertemente y resistir las fuerzas que los repelen. Las especies con mayor tolerancia a condiciones ambientales concretas (salinidad, temperatura, hidrodinamismo, etc.) dominarán sobre aquellas más sensibles y colonizarán el medio. Por otro lado, el macrofouling se compone por especies oportunistas que segregan tubos calcáreos, (cirrípedos, mejillones, gusanos tubícolas, briozoos y corales), junto con organismos de cuerpo blando (algas, hidrozoos, esponjas o ascidias) (Dobretsov y Miron, 2001).

El desarrollo del biofouling está compuesto por una serie de procesos, desde el acondicionamiento inicial de la superficie a colonizar por moléculas orgánicas e inorgánicas, pasando por la colonización de microorganismos, hasta, finalmente, el establecimiento de macroorganismos. El proceso está influenciado por multitud de procesos químicos, físicos y biológicos que pueden sucederse y ocurrir de forma

“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”.

paralela. Estos procesos, han sido observados en todos los ambientes marinos, incluido el polar (Maki *et al.*, 1999).

Se ha determinado, que el proceso de formación de biofouling marino se compone de cuatro etapas: formación de la película acondicionada, colonización primaria, colonización secundaria y colonización terciaria (Characklis, 1989). La primera etapa, involucra la adsorción de moléculas orgánicas disueltas; la segunda corresponde a la colonización por procariotas y algunos eucariontes unicelulares, como diatomeas, flagelados, amebas y ciliados en el proceso de formación del biofilm; la tercera a la colonización por esporas de algas y protozoos; en la última etapa ocurre el ensamble de larvas invertebradas de organismos de mayor tamaño (Abarzua, 1995; Whelan, 2006).

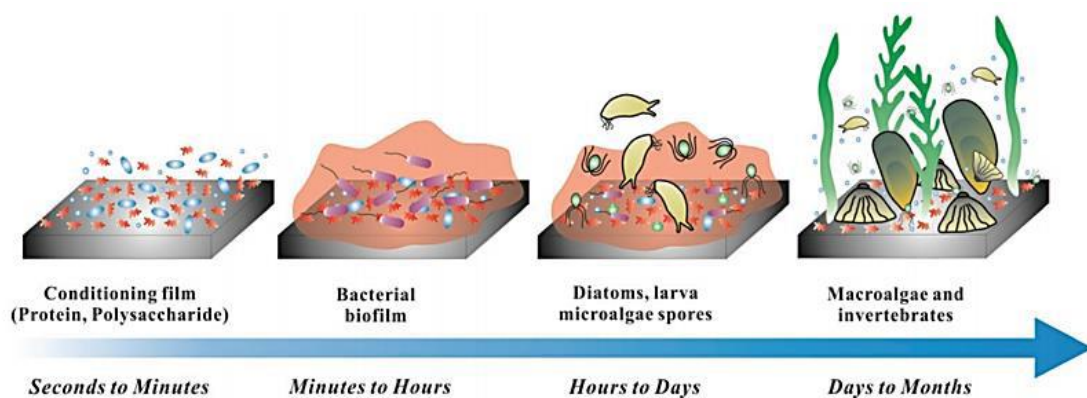


Figura 1. Representación esquemática de la colonización por biofouling en superficies sumergidas.

(Tomado de: Xie, Pan, Ma, & Zhang, 2019)

2.1. Etapa 1: Adsorción de moléculas orgánicas disueltas

En la primera etapa la superficie acumula rápidamente materia orgánica disuelta como proteínas, fragmentos de proteína y polisacáridos (Kristensen *et al.*, 2008). Este proceso es principalmente controlado por procesos físicos como el movimiento Browniano (movimiento aleatorio de partículas microscópicas suspendidas en un líquido o gas), interacciones electrostáticas y fuerzas de Van der Waals (fuerzas electromagnéticas que actúan entre moléculas).

“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”.

2.2. Etapa 2: Colonización primaria (formación del biofilm)

En la siguiente fase del proceso se forma el llamado microfouling: microorganismos colonizadores como bacterias, levaduras, algas unicelulares y protozoos, forman la base microbiótica, el llamado “biofilm” que será el sustrato de las siguientes fases colonizadoras. El moderno concepto de biofouling, ó biofilm según la literatura anglosajona, fue primeramente introducida por Costeron et al., (1978).

El biofilm se desarrolla a medida que las bacterias y microalgas se adhieren a la superficie, y en este proceso las diatomeas son los participantes más importantes. Después de 1 a 2 h ocurre la primera etapa de formación del biofilm correspondiente a la adsorción inicial que consiste en una atracción instantánea que mantiene a las bacterias cerca de la superficie. Luego ocurre la segunda etapa de adhesión, esencialmente mediante efectos bioquímicos como la secreción de polímeros extracelulares, las cuales contienen polisacáridos, lipopolisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos. En esta fase las bacterias utilizan los polímeros extracelulares para adherirse temporalmente a la superficie, siendo principalmente glucosa y fructosa basadas en fibrillas polisacáridas. La tercera y la cuarta etapa en la formación del biofilm se caracterizan por la agregación celular en microcolonias seguida por su maduración. (Fux et al., 2005).

2.3. Etapa 3: Colonización secundaria

Las esporas de macroalgas y protozoos aparecen después de 1 semana aproximadamente y constituyen principalmente a los colonizadores secundarios en el proceso del biofouling. El acoplamiento de esporas de macroalgas es realizado por especies como *Ulva intestinalis* (Linnaeus, 1753) y *Ulothrix speciosa* (Carmichael) Kützinger, 1849; los protozoos colonizadores pertenecen en su mayoría a las formas sésiles o hemisésiles o son depredadores móviles, no considerándose un verdadero epibionte. La existencia de polímeros extracelulares y la rugosidad de las colonias microbianas irregulares asentadas hasta el momento ayudan a atrapar más partículas y organismos, los que podrían ser atraídos por estímulos sensoriales. El paso desde una “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”.

biopelícula microbiana a una comunidad más compleja que típicamente incluye productores primarios multicelulares, herbívoros y descomponedores, corresponde a la tercera etapa del biofouling.

2.4. Etapa 4: Colonización terciaria

El cuarto y último estado es el evento más destacado en el biofouling marino ya que supone la colonización de una superficie por organismos macroscópicos o colonizadores terciarios, y sucede después de 2 a 3 semanas. Las esporas de macroalgas y las larvas de percebes, briozoos, moluscos, poliquetos, tunicados, celenterados, etc., se comportan de la misma forma respecto al asentamiento en la superficie. La primera característica común es la importancia de señales del biofilm para el asentamiento (Clare et al., 2000).

El desarrollo del biofouling depende de un gran número parámetros, los más importantes son la temperatura, la iluminación, el hidrodinamismo y la profundidad. Es bien sabido que los organismos que componen el fouling crecen más y más rápido en zonas cálidas donde la temperatura del mar es mayor. De modo que se da una clara relación entre temperatura, periodo de reproducción y tasa de crecimiento. Lin y Shao (2002) realizaron un estudio sobre el desarrollo del biofouling marino en zonas frías con grandes variaciones de temperatura, en el experimento se observó que sólo se desarrolla una generación durante el corto periodo en el que las aguas permanecen templadas (Maloney et al., 1958). Sin embargo, estudios realizados en zonas con cambios estacionales muy suaves determinaron que los organismos del biofouling crecen ininterrumpidamente durante todo el año (Kashin et al., 2003). Otro factor importante que influye en la distribución de fouling es la radiación, que eleva la temperatura del agua modificando la salinidad, y además tiene un efecto directo en la tasa de fotosíntesis de las algas. (Rajagopal, 1997). Finalmente, los procesos del biofouling no solo están influenciados por factores ambientales sino que también pueden verse afectados por la interacción de las propias especies que lo componen. Los microorganismos compiten por el oxígeno, los nutrientes, la luz e incluso la segregación de metabolitos que inhiben el crecimiento de otras especies (Pawlik, 1992).

“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”.

La colonización puede ocurrir de dos maneras distintas y depende de factores tales como la temperatura del agua, la salinidad, el tipo de sustrato o la estación del año (Flemming, 2012):

1) Migración:

En este tipo de colonización las especies se desplazan nadando, a la deriva o arrastrándose, pero sin llegar a desplazarse grandes distancias después del asentamiento. Muchos estudios se centran en la movilidad de los organismos en este tipo de colonización. Page et al. (1987) observó dos tipos de comportamiento para el fouling en una plataforma petrolífera:

1) Atracción: individuos que son reclutados en otra parte son atraídos y agregados a la superficie diana (e.g. *Cancer anthony*).

2) Visitantes: individuos que son reclutados en otra parte y pasan momentáneamente (e.g. *Cancer productus*).

Algunos estudios se centran en el proceso asentamiento de los organismos sobre superficies artificiales respecto a una superficie control (Relini, 2000). Se observó que la tasa de colonización alcanza el umbral entre los 4 y 6 días en ambas superficies, siendo la zona de control (sin influencia humana) la superficie con mayor densidad. Debido a esta rápida colonización, los sustratos artificiales pueden ser una útil herramienta para estudios de calidad ambiental. (Henschel et al., 1990).

2) Dispersión larvaria:

La gran mayoría de los invertebrados bentónicos (ya sean sésiles o sedentarios) tienen una fase larvaria planctónica con la capacidad de recorrer grandes distancias. Esos organismos dependen de la dispersión para colonizar nuevas superficies y reclutar nuevas poblaciones. Se ha estudiado en profundidad el balance entre procesos bénticos (competencia, depredación, ...) y el suministro y asentamiento de larvas planctónicas

“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”.

como determinantes de las dinámicas de poblaciones invertebradas (Caley et al.1996; Hughes et al., 2000; Menge 2000).

3. TIPOS DE FOULING

Se han descrito alrededor de 4000 especies distintas que componen el fouling (Meseguer Hernández E., 2017).

A rasgos generales el fouling puede dividirse en dos grupos como son el *microfouling*, que comprenden los microorganismos que se adhieren en las primeras fases y el *macrofouling*, que son los organismos de tamaño visible a simple vista.

Según la química de los organismos (posesión de estructura calcárea) y su biología, también se clasifica habitualmente en *hard-fouling*, que incluye percebes, briozoos y moluscos, y el *soft-fouling* como los hidrozooos o algas. El conjunto de todos ellos son los causantes del fouling.

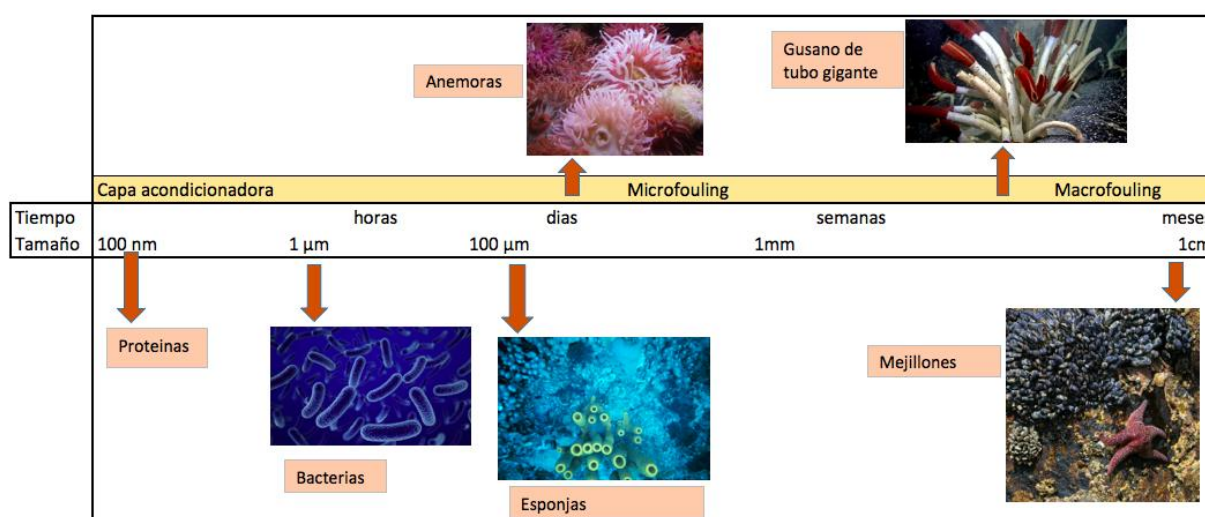


Figura 2: Proceso de sucesión del fouling. (Tomado de: *Non-toxic, non-biocide-release antifouling coating based on molecular structure design for marine applications*, 2015).

3.1. Clasificación del fouling

La clasificación general del fouling se hace en base a su naturaleza, de este modo se puede formar fouling animal o del tipo vegetal. Ambos tipos de organismos afectan de forma habitual a las instalaciones acuícolas.

“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”.

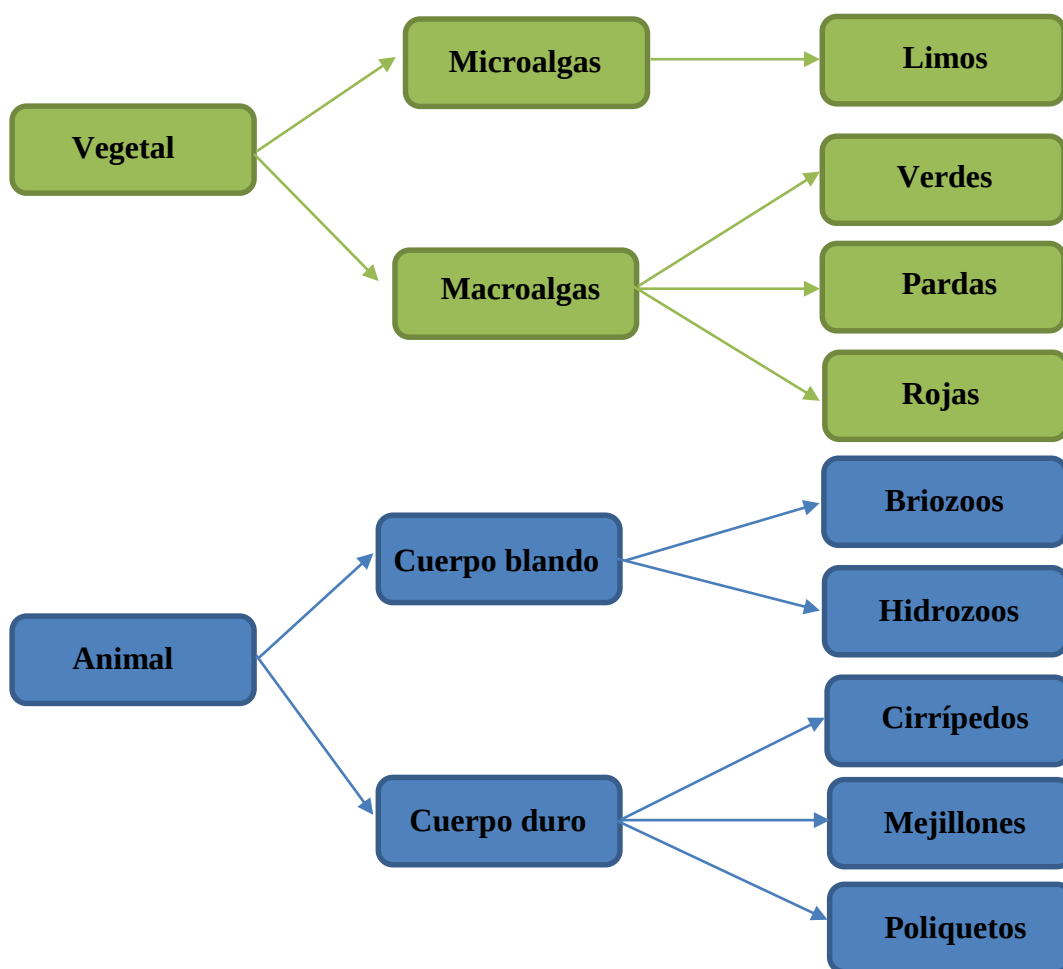


Figura 3: Clasificación del fouling (Fuente: Mantenimiento, el futuro de los antifoulings, A. Rodríguez en “Náutica & Yates magazine”).

3.2. Incrustaciones más comunes

De todos los organismos mencionados anteriormente hay 3 grupos que aparecen de forma más habitual en los viveros flotantes: las algas, los organismos con concha y otros organismos de cuerpo blando.

Las algas en el fouling

En las instalaciones acuícolas se encuentran presentes los 3 tipos de algas y cada una de ellas representan el mismo problema al adherirse en las superficies, sin embargo, cada grupo tiene características propias que los diferencian de los demás. Estos organismos necesitan luz, por lo que suelen concentrarse y crecer alrededor de la superficie, siendo “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”.

las algas verdes las que colonizan las zonas más cercanas a la superficie, seguidas de las algas pardas y de las algas rojas.

Incrustaciones de organismos con concha

Este tipo de adherencias son similares al crecimiento de las algas, ya que los organismos microscópicos se encuentran en el medio marino dispersos y buscan incrustarse en las superficies.

Dentro de este grupo, los organismos más frecuentes son los cirrípedos o percebes, de los cuales hay distintas especies. Cuando estos organismos se adhieren a las redes continúan creciendo y añaden peso a las mismas.

Otro tipo de incrustación de organismos con concha son los mejillones, que además del problema que suponen en sí, existen varias especies invasoras como el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*).

Existen también otro tipo de incrustación dentro de este grupo, son los gusanos tubícolas, que pueden llegar a colonizar superficies de fibra de vidrio.

A diferencia de las algas, este tipo de fouling prefiere las zonas más oscuras, por lo que colonizan las zonas más intermedias de las redes y otros elementos de los viveros flotantes.



Figura 4: Mejillones adheridos la red de un vivero flotante. (Fuente: Empresa anónima).

“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”.

Otros organismos presentes

También suelen ser frecuente encontrar incrustados en las redes hidrozoos y sífones de mar. Estos grupos son menos frecuentes ya que son más dependientes de la época del año.



Figura 5: *Ascidias* creciendo sobre una red. (Fuente: Empresa anónima).

4. SITUACIÓN ACTUAL DEL BIOFOULING

Como objetivo de este proyecto, se busca el desarrollo un nuevo tratamiento antifouling para redes que permita reducir el impacto ambiental en el entorno de las granjas marinas. Por tanto, es necesario un estudio previo sobre la situación del fouling en los viveros flotantes, qué tipo de organismos se incrustan y qué gestión realizan las empresas.

Para ello y contando con la colaboración de APROMAR-REMA, se han realizado encuestas a las principales empresas del sector, las cuáles han colaborado además con el aporte de material fotográfico para su posterior análisis y caracterización. Estas empresas producen principalmente dorada, lubina y corvina en sus viveros flotantes. La

“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”.

producción anual está estimada en 43.000 tm, lo que representa más del 95% del total de la producción española en estas especies.

El cultivo de estas especies se desarrolla en granjas marinas con el empleo de viveros flotantes, que suponen un total de 587 unidades.

4.1. Resultado de las encuestas

Se han realizado un total de 8 entrevistas a empresas o grupos empresariales distribuidos por toda la geografía española, integrando a Comunidades Autónomas como son: Región de Murcia, Comunidad Valenciana, Andalucía y Canarias. La colaboración ha sido bastante importante, aportando mucha información sustancial para el desarrollo de este informe.

4.1.1 Productos antifouling y aplicación.

Del total de las empresas entrevistadas el 75% utiliza productos antifouling en sus redes, siendo el más utilizado “NETWAX NI3”. Este producto es producido por la empresa noruega NetKem AS y distribuido en España por la empresa Morenot. Otros tratamientos empleados son:

- Aqua Sea (L) Pro C-20
- Flexgard Super C
- Net ARMOR 400

Además, la totalidad de las empresas que utilizan estos productos lo emplean exclusivamente en las redes de sus viveros flotantes, siendo el proceso de aplicación externalizado en la mayoría de casos. Solo algunas de las empresas realizan la impregnación de las redes en sus propias instalaciones mediante sacos de vacío.

En cuanto a la frecuencia de aplicación de productos antifouling, ésta es muy variable en cada empresa. Normalmente se impregnan las redes una vez por ciclo productivo y siempre se realiza el proceso antes de que la red sea introducida en el agua. En otros

“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”.

casos la impregnación se realiza una única vez, siendo ésta el momento de adquisición de la red.

Otro factor que utilizan las empresas a la hora de aplicar estos productos es tipo de red, hay empresas que solo lo emplean en aquellas de malla pequeña (redes de siembra), sin embargo, otras optan por utilizarlo en todo tipo de redes (sea cual sea el tamaño de malla).

En todos los casos el empleo de los productos antifouling depende de la época del año en la que se introduce la red en el agua, y también del tiempo de vida útil de la red en el ciclo productivo, es decir, el tiempo en el que la red permanece sumergida.

Por otra parte, las tareas de mantenimiento y controles de calidad se realizan periódicamente y de forma manual directamente en las granjas, enfocándose además de las redes en las estructuras de flotación y entramado. Sin embargo, cada vez es más frecuente el uso de robots por control remoto diseñado especialmente para estas funciones. Otra práctica habitual en las empresas es la renovación de materiales y elementos con carga excesiva de biofouling.

4.1.2 Problemas principales del biofouling.

Más del 75% de las empresas entrevistadas coinciden en considerar aspectos relacionados con el fouling y su prevención y control, como algo esencial en la gestión de sus granjas. En general el control del mismo se encuentra integrado y normalizado en los protocolos y rutinas habituales de sus instalaciones. No obstante, todas coinciden en que es necesario avanzar en ciertos aspectos:

- Búsqueda de nuevos productos antifouling que sean ambientalmente más sostenibles y que reduzcan su potencial tóxico.
- Desarrollo de sistemas de aplicación de estos productos que faciliten su uso en las granjas.
- Automatización en el control del fouling.

“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”.

- Desarrollo de protocolos de actuación en el control del fouling que mejore y simplifique su control a nivel de granja.

En cuanto a los problemas derivados del desarrollo del biofouling, la totalidad de las empresas coinciden en que sus principales preocupaciones son:

- Disminución de la renovación y por consiguiente de la calidad del agua en el interior de los viveros, lo cual repercute directamente en el bienestar de los animales que cultivan y como consecuencia se generan impactos económicos.
- La seguridad de las instalaciones, principalmente la pérdida de flexibilidad y resistencia de los elementos y materiales como consecuencia de la acumulación de fouling.
- Las repercusiones y riesgos ambientales que supone la gestión relacionada con el fouling, su control y retirada.

4.1.3 Gestión del biofouling y sus residuos.

Todas las granjas entrevistadas retiran el fouling en el momento del cambio de redes y durante el proceso de limpieza y reparación de las mismas. Para este proceso las redes son retiradas y llevadas a tierra.

El proceso de lavado lo realizan las propias empresas en sus granjas o en tierra, aunque también hay algunas que optan por externalizarlo a través de empresas especializadas.

Una vez que el fouling ha sido retirado, éste se seca, se compacta y es recogido por empresas gestoras de residuos, autorizadas a nivel nacional.

4.2. Caracterización del biofouling presente en las granjas marinas

A pesar de que la composición del biofouling depende en gran medida de la temperatura del agua y la región en la que se encuentran situadas las granjas (además de la época del año y la profundidad) ha sido posible verificar con las empresas entrevistadas que los organismos más frecuentes que aparecen incrustados en las redes son:

“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”.

- Algas (limos y macroalgas)
- Moluscos (mejillones) y crustáceos (balanos)
- Otros organismos (hidrozoos, ascidias y poliquetos entre otros)

De esta forma, ha sido posible determinar que todos los grupos se encuentran presentes en todas las granjas entrevistadas.

Con el objetivo de determinar la composición del biofouling presente en los viveros flotantes, se ha solicitado a las empresas colaboradoras en el desarrollo del diagnóstico el aporte de documentación visual. Este material consiste en una serie de fotografías de las redes que emplean en sus instalaciones, las cuales se ven afectadas habitualmente por la incrustación de organismos.



Figura 6 (izquierda) y 7 (derecha): Imágenes cedidas por las empresas colaboradoras en las que se observan las redes completamente obstruidas por mejillones, hidrozoos, ascidias (izquierda) y poríferos (derecha).

“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 8 (izquierda) y 9 (derecha): Imágenes cedidas por las empresas colaboradoras en las que se observan las redes completamente obstruidas por mejillones y poríferos (izquierda) e hidrozooos (derecha).

Estas imágenes han sido comparadas con las respuestas obtenidas en las entrevistas, donde efectivamente se ha contrastado que los organismos más frecuentes del biofouling son los mejillones, hidrozooos, poríferos y ascidias... entre otros.

Por motivos de seguridad las empresas han preferido no desvelar la localización de sus granjas, por lo que se desconoce la ubicación exacta en la que se encuentran presentes estos organismos. A pesar de ello, sí ha sido posible determinar que todos los grupos se encuentran presentes en todas las granjas entrevistadas.

5. EFECTOS GENERALES DEL BIOFOULING EN LOS VIVEROS FLOTANTES

Como ya se ha descrito anteriormente, la formación de fouling es un proceso natural que ocurre a nivel global en cualquier actividad que se desarrolla en el mar. Se trata de un fenómeno que depende directamente de la localización y de la época del año, de este modo, las especies que lo componen varían en función del sustrato y las

“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”.

condiciones ambientales (Bloecher et al., 2013; Dür and Watson, 2010; Edwards et al., 2015; Fitridge et al., 2012; Willemsen and Science, 2016; Willemsen, 2005). En el caso de las jaulas o viveros flotantes, es un problema global (Bloecher et al., 2013) que origina grandes dificultades en las labores de mantenimiento y producción, causando no solo el deterioro de las redes y otras estructuras, sino también el deterioro del estado de salud de los peces. Es por ello que en la actualidad la industria busca continuamente metodologías más eficaces y asequibles para combatir el fouling.

5.1. **Modificación de la hidrodinámica por obstrucción de las redes**

Las redes suponen un excelente sustrato para la fijación y crecimiento del fouling (Hodson et al., 1997), además el entorno que rodea a los viveros, es rico en nutrientes debido a los desechos de los animales y restos de alimento sin ingerir. Por tanto, este tipo de ambientes son ideales para el desarrollo del fouling. Consecuentemente y a medida que los organismos se asientan y crecen en las redes, la apertura de la malla se obstruye reduciéndose el intercambio de agua a través de la red.



Figura 10: Red completamente obstruida por biofouling. (Fuente: Empresa anónima).

Como resultado se produce una reducción del oxígeno disuelto en el agua y una disminución de la dispersión de los desechos (Beveridge, 2004). Esta situación se agrava “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”.

cuando el tamaño del vivero aumenta, tendencia que se está observando a día de hoy en la acuicultura del Mediterráneo.

Por otro lado, las redes colapsadas aumentan la fuerza de arrastre (Bi et al., 2015, 2014; Fitridge et al., 2012; Klebert et al., 2013; Swift et al., 2006) lo que causa que las jaulas se deformen y se reduzca el volumen disponible para el cultivo (Osawa et al., 1985 en Fitridge et al., 2012). Con el paso del tiempo esta disminución del volumen puede llegar a afectar el comportamiento de los peces, causando un aumento del estrés (Rotllant y Tort, 1997) pero también puede tener consecuencias mucho más graves ya que puede provocar úlceras en la piel de los peces debido a la fricción con la red.

5.2. Incremento del peso en las redes

El fouling acumulado en las redes y otras estructuras de los viveros flotantes modifica la hidrodinámica del sistema (Klebert et al., 2013). Se reduce la flotabilidad y provoca fatiga de los materiales de amarre, llegando en ocasiones a producir un fallo en el sistema (Beveridge, 2004; Fitridge et al., 2012). Esto puede ocasionar graves daños en las estructuras y los propios animales, especialmente en episodios de temporales donde se producen escapes de un gran número de peces.

5.3. Aumento del riesgo de enfermedades y patógenos asociados

Existe una gran variedad de estudios que definen el fouling como un reservorio de patógenos y parásitos que incrementan el potencial de enfermedades y reducen el éxito de los cultivos (Douglas-Helders et al., 2003; Edwards et al., 2015; Swain y Shinjo, 2014), traduciéndose en un aumento de los costes y reduciendo la perdurabilidad de las empresas acuícolas.

El contacto directo con los cnidarios presentes en el biofouling puede ser dañino para los peces. Organismos portadores de nematocistos (células urticantes), como el hidrozoo *Ectopleura larynx* y la anémona *Anthothoe albocincta*, tienen potencial para causar daño a las branquias y la piel de los peces (Baxter et al. 2012; Wybourne 2013;

“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”.

Bloecher, Powell y col. 2018). Las heces suspendidas del mejillón *Mytilus edulis* contienen la bacteria *Vibrio anguillarum*, que puede infectar al bacalao con vibriosis y causar una elevada mortalidad (Pietrak et al. 2012). Otras bacterias causantes de vibriosis se han encontrado en biopelículas en redes de jaulas en Malasia, donde su abundancia se correlacionó con brotes de la enfermedad (Albert y Ransangan 2013).

La ameba parásita responsable de la enfermedad de las branquias en el salmón del Atlántico, *Paramoeba perurans*, ha sido asociada a varios organismos clave del biofouling durante brotes agudos de la enfermedad, incluidos hidrozooos, briozoos, tunicados y moluscos (Hellebø et al. 2017). Aunque todavía se desconoce si la ameba actúa como reservorio durante los brotes, los organismos presentes en el fouling podrían actuar como agentes de reinfección para peces recién tratados o peces no infectados en jaulas cercanas.

Finalmente, algunos parásitos frecuentes son entre otros *Neoparamoeba pemaquidensis* (Tan et al., 2002), que afecta a las branquias del Salmón Atlántico; el piojo de mar *Lepeoptheirus salmonis* (Huse et al., 1990), que causó graves pérdidas en el cultivo del salmón de la industria Noruega en 2011 (Abolofia et al., 2017); *Ectoplura larynx* (Guenther et al., 2010) y *Sparicotyle chrysophrii* (Henry et al., 2015; Sitjá-Bobadilla et al., 2010) que afectan a la producción de doradas en el Mediterráneo.

6. CONCLUSIONES

Los problemas derivados del biofouling en los cultivos marinos supone una incidencia negativa en la producción de las empresas llegando a causar graves problemas en cuanto a su gestión. Es por ello que las investigaciones que se desarrollan en este campo persiguen una serie de objetivos muy concretos:

- Detectar los principales problemas que ocasiona el fouling en la industria acuícola.
- Identificar y definir las necesidades de la industria en cuanto a la protección antifouling.

“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”.

- Proporcionar protocolos y recomendaciones para la correcta gestión del biofouling.

Estas directrices contribuirán a solucionar los problemas que se presentan en el cultivo en viveros flotantes.



Figura 11: Instalaciones offshore en viveros flotantes (tomado de Núñez-Basáñez et al., 2007).

6.1. Desarrollo productivo

En la industria acuícola el biofouling afecta a todos los materiales y equipamientos, incluso a las provisiones (Dubost et al., 1996). Estos equipamientos comprenden cuerdas y boyas, barcos y barcasas, bandejas, cuerdas de cultivo, bolsas de cultivo de mariscos y en especial, redes y jaulas (Brathwaite y McEvoy, 2004). Esta variedad proporciona una alta diversidad de hábitats que satisfacen las necesidades y requerimientos de asentamiento, conduciendo a diferentes incrustaciones (Baine, 2001).

La presencia de biofouling en las redes puede aumentar la resistencia hasta tres veces, además aumenta de forma drástica el peso en la estructura. Este peso añadido ocasiona problemas en la manipulación mecánica de los equipos, especialmente cuando las redes son removidas desde el sistema para la limpieza. Las redes pueden ganar hasta 11 veces su propio peso en pocas semanas, dependiendo de la temporada y el lugar, poniendo así una carga extrema sobre la estructura y necesitando de equipos de elevación especializados (Fitridge et al., 2012).

“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”.

Estas tareas de mantenimiento pueden llegar a suponer el 20% del tiempo de trabajo en las granjas marinas. Este tiempo se emplea en el cambio de redes colmatadas por el fouling y limpieza de estructuras de flotación donde se desarrollan organismos calcáreos, este último representa una gran amenaza en cuanto a la rotura de las redes.

6.2. Desarrollo económico

El cuidado y las condiciones ambientales en la industria acuícola deben ser óptimos para conseguir un producto de calidad. Para lograr el crecimiento deseado, la alimentación debe estar en un nivel óptimo, lo que sólo puede ser logrado si el flujo a través de las redes es tan alto como sea posible, es decir minimizando el fouling. Si el biofouling es alto, los costos de producción se incrementan debido a la reducción de la tasa de crecimiento de las poblaciones y al aumento en los costos de limpieza y mantenimiento (Hodson et al., 1997).

En los cultivos de peces, si el flujo de agua es bajo, los niveles de oxígeno en el interior de las jaulas disminuyen drásticamente. Los peces dejan de alimentarse y como consecuencia, la mortalidad aumenta.

Además, el biofouling aumenta las condiciones estresantes a las cuales se ven sometidos los peces en su etapa de cultivo, ya sea por baja renovación de aguas y disminución de espacio efectivamente utilizable. También el fouling en las redes, afecta la capacidad de alimentación y baja las defensas de los peces disminuyendo sus niveles de crecimiento y haciéndolos propensos a contraer enfermedades, así como también variaciones demasiado bruscas en los niveles de oxígeno podrían ocasionarles la muerte.

Dependiendo de su localización, las incrustaciones de moluscos pueden llegar a ocasionar graves problemas en la gestión de las redes de los viveros flotantes, ya que incrementan considerablemente su peso. Un ejemplo muy claro se observó en las granjas de salmón noruegas, en las que puede aparecer en un año hasta 20 kg/m² de mejillón (*M. galloprovincialis*), por lo que en una unidad de cultivo con 81 m de perímetro (jaulas de 25 m) se llegaría a un incremento de más de 1.600 kg. El recambio de redes es muy caro, los costes anuales en cambios de red y pinturas antifouling 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”.

una granja media en esta industria se estima en unos 120.000 euros (Campbell y Kelly, 2002). Para muchas pequeñas granjas, a menudo familiares, estos costes pueden ser la diferencia en su viabilidad en un sector bajo una presión económica tremenda.



Figura 12: Colonización por *M. galloprovincialis* en un sustrato sumergido de polietileno (tomado de Núñez-Basáñez et al., 2007).

Las estimaciones actuales basadas en las cifras de la industria y de la FAO indican que los impactos del biofouling en las jaulas de pescado y en el marisco cuestan a la industria entre el 5 y 10% del valor de la misma (260 millones de € al año) (Fitridge et al., 2012).

6.3. Desarrollo ecológico y medioambiental

Se ha prestado poca atención en el papel que juega el biofouling en la propagación de enfermedades, pudiendo introducir parásitos que afecten a las especies de cultivo. Diferentes estudios (Minchin y Gollasch, 2002; Conn, 2014) han valorado la posibilidad de que ciertos moluscos que se encuentran incrustados en los cascos de los barcos puedan transferir enfermedades y parásitos entre las poblaciones de las especies cultivadas.

El biofouling, además, puede servir como un trampolín para enfermedades o parásitos. Si la condición metabólica de cualquier especie cultivada es reducida, esto podría conducir a una mayor susceptibilidad al ataque de una enfermedad. Se sospecha que el biofouling transfiere ectoparásitos como los piojos de mar y los enteroparásitos a las especies almacenadas.

“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”.

Finalmente, las especies invasoras son complejas, ya que suceden por el resultado de cambios en la biodiversidad y/o alteración de procesos ecológicos. Mientras que los impactos iniciales puedan ser menores o casi imperceptibles, con el tiempo, dichos impactos aumentaran en intensidad con el incremento de la población invasora. Algunos impactos en los ecosistemas pueden ser:

- Competencia con las especies nativas por el espacio y la alimento.
- Depredación sobre las de especies nativas alterando el hábitat de otras especies.
- Alteración de las condiciones medioambientales (iluminación, corrientes, sedimentación...).
- Contaminación por metales (tributil estaño o TBT presente en las pinturas anti-fouling).

El Mediterráneo, es un mar especialmente amenazado ya que se caracteriza por tener un alto nivel de comunidades únicas y endémicas, pero también una alta proporción de especies introducidas, principalmente, por el tráfico marítimo (Drake y Lodge, 2004; Galil, 2007; Frey et al. 2014).

“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

- Aarsnes, J.V., Rudi, H., Loland, G. (1990). *Current forces on cages, net deflection*. In: *Institute of Civil Engineers (Great Britain) (Ed.), Engineering for Offshore Fish Farming*. Thomas Telford House, London, pp 137–152.
- Abarzua, S., Jakubowski, S. (1995). *Biotechnological investigation for the prevention of biofouling. I. Biological and biochemical principles for the prevention of biofouling*. Marine Ecology Progress Series, 123: 301–312.
- Abolofia, J., Asche, F., Wilen, J.E., 2017. *The Cost of Lice: Quantifying the Impacts of Parasitic Sea Lice on Farmed Salmon*. Mar. Resour. Econ. 32, 000-000. doi:10.1086/691981.
- Albert V, Ransangan J. 2013. *Effect of water temperature on susceptibility of culture marine fish species to vibriosis*. Int J Res Pure Appl Microbiol. 3:48–52.
- Ayda G. Nurioglu, A. Catarina C. Esteves y Gijsbertus de With (2015). *Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications*. Journal of Materials Chemistry B., 3, 6547-6570. doi: 10.1039/C5TB00232j
- Baine, M. (2001). *Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance*. Ocean & Coastal Management, 44: 241–259.
- Bannister, J., Sievers, M., Bush, F., & Bloecher, N. (2019). *Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments*. Biofouling, 35:6, 631-648. doi:10.1080/08927014.2019.1640214.
- Baxter E, Sturt M, Ruane N, Doyle T, McAllen R, Rodger H. 2012. *Biofouling of the hydroid Ectopleura larynx on aquaculture nets in Ireland: implications for finfish health*. Fish Vet J. 13:18–30.
- Berntsson, K.M., Johnsson, P.R. (2003). *Temporal and spatial patterns in recruitment and succession of a temperate marine fouling assemblage: a comparison of static panels and boat hulls during the boating season*. Biofouling, 19: 187–195.
- Beveridge, M.C.M., 2004. *Cage Aquaculture*, Third Edition 361-368.
- Bloecher N, Powell M, Hytterod S, Gjessing M, WiikNielsen J, Mohammad SN, Johansen J, Hansen H, Floerl O, Gjevre AG. 2018. *Effects of cnidarian biofouling on salmon gill health and development of amoebic gill disease*. PLoS One. 13e0199842. doi:10.1371/journal.pone.0199842.

“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”.

- Bloecher, N., Olsen, Y., Guenther, K., 2013. *Variability of biofouling communities on fish cage nets: A 1-year field study at a Norwegian salmon farm*. *Aquaculture* 416-417, 302-309. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.09.025.
- Braithwaite, R.A., MC Evoy, L.A. (2005). *Marine Biofouling on Fish Farms and its Remediation*. *Advances in Marine Biology*, 47: 215–252.
- Caley, M.J., Carr, M.H., Hixon, M.A., Hughes, T.P., Jones, G.P., Menge, B.A. (1996). *Recruitment and the Local Dynamics of Open Marine Populations*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27: 477–500.
- Campbell, D.A., Kelly, M.S. (2002). *Settlement of Pomatoceros triqueter (L) in two Scottish lochs, and factors determining its abundance on mussels grown in suspended culture*. *Journal of Shellfish Research*, 2: 519–527.
- Characklis, W. G., Wilderer, P. A. (1989). *Structure and function of biofilms*. In: *Structure and Function of Biofilms*. John Wiley & Sons.
- Clare, A.S., Matsumura, K. (2000). *Nature and perception of barnacle settlement pheromones*. *Biofouling*, 15: 57–71.
- Conn, D.B. (2014). *Aquatic invasive species and emerging infectious disease threats: A One Health perspective*. *Aquat. Invas.* 9 (3): 383–390.
- Costerton J.W., Montanaro L. & Arciola C.R. (2005). *Biofilm in Implant Infections: Its Production and Regulation*. In: *The International Journal of Artificial Organs*. 28(11):1062-1068, November 2005.
- Costerton, J., Geesey, G., & Cheng, K. (1978). *How Bacteria Stick*. *Scientific American*, 238(1), 86-95. Retrieved March 3, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/24955617>
- CRAB – Investigación Colectiva en Acuicultura y Biofouling (2018). Recuperado de: <https://studylib.es/doc/6699184/buenas-pr%C3%A1cticas-europeas-en-acuicultura-y-biofouling>.
- Dobretsov, S.V., Miron, G., (2001). *Larval and post-larval vertical distribution of the mussel Mytilus edulis in the White Sea*. *Inter-Research Marine Ecology Progress series*, 218: 179-187.
- Douglas-Helders, G.M., Tan, C., Carson, J., Nowak, B.F., 2003. *Effects of copper-based antifouling treatment on the presence of Neoparamoeba pemaquidensis*. Page, 1987 on nets and gills of

“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”.

reared Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 221, 13-22. doi:10.1016/S0044-8486(02)00517-3.

Drake, M. & Lodge, D.M. (2004). *Global hot spots of biological invasions: evaluating options for ballast-water management*. *John. Proc. R. Soc. Lond. B*, 271, 575–580.

Dubost, N., Masson, G., Moreteau, J.C., (1996). *Temperate freshwater fouling on floating net cages: method of evaluation, model and composition*. *Aquaculture*, 143: 303–318.

Dürr, S., Watson, D.I., 2010. *Biofouling and antifouling in aquaculture*. *Biofouling* 267-287. doi:10.1002/9781444315462.ch19.

Edwards, C.D., Pawluk, K.A., Cross, S.F., 2015. *The effectiveness of several commercial antifouling treatments at reducing biofouling on finfish aquaculture cages in British Columbia*. *Aquac. Res.* 46, 2225-2235. doi:10.1111/are.12380.

Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., de Nys, R., 2012. *The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review*. *Biofouling* 28, 649-69. doi:10.1080/08927014.2012.700478.

Flemming, H.C. (2002). *Biofouling in water system*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(6): 629–640.

Frey, M.A., Simard, N., Robichaud, D.D., Martin, J.L. & Therriault, T.W. 2014. *Fouling around: vessel sea-chests as a vector for the introduction and spread of aquatic invasive species*. *Manag. Biol. Invas.*, 5 (1): 21–30.

Fux, C.A., Costerton, J.W., Stewart, P.S., Stoodley, P. (2005). *Survival strategies of infectious biofilms*. *Trends in Microbiology*, 13(1): 34–40.

Galil, B.S. 2007. *Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea*. *Mar. Poll. Bull.* 55: 314–322.

Guenther, J., Misimi, E., Sunde, L.M., 2010. *The development of biofouling, particularly the hydroid Ectopleura larynx, on commercial salmon cage nets in Mid-Norway*. *Aquaculture* 300, 120-127. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.01.005.

Hellebø A, Stene A, Aspehaug V. 2017. *PCR survey for Paramoeba perurans in fauna, environmental samples and fish associated with marine farming sites for Atlantic salmon (Salmo salar L.)*. *J Fish Dis.* 40:661–670. doi:10.1111/jfd.12546.

“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”.

- Henry, M.A., Nikoloudaki, C., Tsigenopoulos, C., Rigos, G., 2015. *Strong effect of long-term Sparicotyle chrysophrii infection on the cellular and innate immune responses of gilthead sea bream, Sparus aurata*. Dev. Comp. Immunol. 51, 185-193. doi:10.1016/j.dci.2015.03.010.
- Henschel, J.R., Branch, G.M., Cook, P.A. (1990). *The colonization of artificial substrata by marine sessile organisms in False Bay*. 2. Substratal material. South African Journal of Marine Science, 9: 299–307.
- Hodson, S.L., Lewis, T.E., Burke, C.M. (1997). *Biofouling of fish-cage netting: the efficacy and problems of in situ cleaning*. Aquaculture, 152(1-4): 77–90.
- Hughes, T.P. (2000). *Supply-side ecology works both ways: the link between benthic adults, fecundity, and larval recruits*. Ecology, 81: 2241–2249.
- Kashin, I.A., Bagabeeva, E.V., Chaplygina, S.F. (2003). *Fouling Communities of Hidrotechnical Constructions in Nakhodka Bay*. Russian Journal of Marine Biology, 29(5): 567–283.
- Klebert, P., Lader, P., Gansel, L., Oppedal, F., 2013. *Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review*. Ocean Eng. 58, 20-274. doi:10.1016/j.oceaneng.2012.11.006.
- Kristensen, J.B., Meyer, R.L., Laursen, B.S., Shipovskov, S., Besenbacher, F., Poulsen, C.H. (2008). *Antifouling enzymes and the biochemistry of marine settlement*. Biotechnology Advances, 26(5): 471–481.
- Lin, H.J., Shao, K.T. (2002). *The development of subtidal fouling assemblages on artificial structures in Keelung Harbor, Northern Taiwan*. Zoological Studies, 41: 170–182.
- Lodeiros, C., & García, N. (2004). *The use of sea urchins to control fouling during suspended culture of bivalves*. Aquaculture, 231(1–4), 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.022>
- Maki, J. S. (1999). *The influence of marine microbes on biofouling*. Recent advances in marine biotechnology, 3, 147-171.
- Maloney, W.E. (1958). *A study of the types, seasons of attachment, and growth of fouling organisms in the approaches to Norfolk, Virginia*. U.S: Navy Hydrographic Office, Technical Reports. pp 35–47.
- Meseguer Hernández E. 2017. *Estudio del biofouling asociado a cultivos marinos “offshore” en el Mediterráneo español*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 146 pp.

“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”.

- Menge B.A. (2000). *Recruitment versus postrecruitment processes as determinant of barnacle population abundance*. Ecological Monographs, 70: 565–288.
- Minchin D, Gollasch S (2002) *Vectors – how exotics get around*. In: Leppäkoski E, Gollasch S, Olenin S (eds). Invasive aquatic species of Europe: distribution, impacts and management. Kluwer, Dordrecht, pp 183–192.
- Núñez Basáñez, José Fernando; Molleda Sánchez, Francisco; de Lara Rey, José. (2007) *El control del biofouling en las instalaciones offshore de Acuicultura marina*. Ingeniería Naval, febrero 2007; 62-74. XVI Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval, Madrid, 4-5 octubre 2006.
- Page, H.M., Dugan J.E., Piltz, F. (1987). *Fouling and antifouling in oil and other offshore industries*. Biofouling. Wiley-Blackwell, pp: 34–38.
- Pawlik, J.R., (1992). *Chemical ecology of the settlement of benthic marine invertebrates*. Oceanography and Marine Biology, 30: 273–335.
- Persoone, G. (1971). *Ecology of fouling on submerged surfaces in a polluted harbour*. In: Soyer, J. (Ed.) Troisième Symposium Européen de Biologie Marine. I. Biologie des sédiments meubles, II. Biologie des eaux à salinité variable, Arcachon, 2-7 Sept. 1968. Vie et Milieu (1980), Suppl. 22(I-II): pp. 613–636.
- Pietrak MR, Molloy SD, Bouchard DA, Singer JT, Bricknell I. 2012. *Potential role of Mytilus edulis in modulating the infectious pressure of Vibrio anguillarum 02b on an integrated multi-trophic aquaculture farm*. Aquaculture. 326329:36–39. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.11.024.
- Rajagopal, S., Nair, K.V.K., Van der velde, G., Jenner, H.A. (1997). *Seasonal settlement and succession of fouling communities in Kalpakkam, east coast of India*. Aquatic Ecology, 30(4): 309–345.
- Relini, (1990). *Colonisation patterns of hard substrata in the Loano artificial reef (West Ligurian Sea)*. Atti della prima riunione del gruppo GFCM sulle barriere artificiali. FAO Fish. Report 428: pp 108–113.
- Relini, M., Montanari, M. (2000). *An offshore buoy as small artificial island and fishaggregating device in the Mediterranean*. Hydrobiologia, 440, 65–80.
- Rodriguez A. (2017). *Mantenimiento, el futuro de los antifoulings*. En: “Náutica & Yates Magazine”.
Fuente: <https://www.nauticayyates.com/mantenimiento-el-futuro-de-los-antifoulings/>.

“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”.

- Rotlant, J., Tort, L., 1997. *Cortisol and glucose responses after acute stress by net handling in the sparid red porgy previously subjected to crowding stress*. J. Fish Biol. 51, 21-8. doi:10.1111/j.1095-8649.1997.tb02510.x
- Sitjà-Bobadilla, A., Redondo, M.J., Alvarez-Pellitero, P., 2010. *Occurrence of Sparicotyle chrysophrii (Monogenea: Plyopisthocotylea) in gilthead sea bream (Sparus aurata L.) from different mariculture systems in Spain*. Aquac. Res. 41, 939-944. doi:10.1111/j.1365-2019.2009.02369.x.
- Swain, G., Shinjo, N., 2014. *Comparing biofouling control treatments for use on aquaculture nets*. Int. J. Mol. Sci. 15, 22142-22154. doi:10.3390/ijms151222142.
- Swift, M.R., Fredrikson, D.W., Urein, A., Fullerton, B., Patursson, O., Baldwin, K., 2006. *Drag force acting on biofouled net panels*. Aquac. Eng. 35, 292-299. doi:10.1016/j.aquaeng.2006.03.002.
- Tan, C. K. F., Nowak, B. F., & Hodson, S. L. (2002). *Biofouling as a reservoir of Neoparamoeba pemaquidensis (Page, 1970), the causative agent of amoebic gill disease in Atlantic salmon*. Aquaculture, 210(1-4), 49-58. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00858-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00858-4)
- Whelan, A., Regan, F. (2006). *Antifouling strategies for marine and riverine sensors*. Journal of Environmental Monitoring, 8: 880-886.
- Willemsen, P., Science, T.N.O., 2016. *Collective Research on Aquaculture Biofouling Acronym*. CRAB 1-2.
- Willemsen, P.R., 2005. *Biofouling in European Aquaculture: Is there an easy solution?* Eur. Aquac. Soc. Spec. Publ. 82-87.
- Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) (1952). *Marine fouling and its prevention*. Us Naval Institute, Annapolis, Iselin, COD
- Wybourne B. 2013. *Defensive acontia of the white-striped anemone (Actinothoe albocincta) from New Zealand King Salmon Clay Point salmon farm*. Report prepared for NZ King Salmon Company Ltd. Skretting.
- Xie, Q., Pan, J., Ma, C., & Zhang, G. (2019). *Dynamic surface antifouling: Mechanism and systems*. Soft Matter, 15(6), 1087-1107. <https://doi.org/10.1039/c8sm01853g>

“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”.