



**ESTUDIO DEL BIOFOULING ASOCIADO A
CULTIVOS MARINOS “OFFSHORE” EN EL
MEDITERRÁNEO ESPAÑOL**

Directores: Dr. Francisco J. Espinós Gutiérrez
Dr. Sebastià Balasch i Parisi

Valencia, Junio de 2017

Eloy Meseguer Hernández
Tesis doctoral



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**ESTUDIO DEL BIOFOULING ASOCIADO A CULTIVOS MARINOS
“OFFSHORE” EN EL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL**

Memoria presentada para optar al Título de Doctor
Eloy Meseguer Hernández

Vº Bº Directores de Tesis

Dr. Francisco J. Espinós Gutiérrez

Dr. Sebastià Balasch i Parisi

VALENCIA, JUNIO DE 2017

Índice

1.	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1.	Justificación de la tesis.....	5
1.2.	Objetivos.....	6
2.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.1.	La Acuicultura.....	11
2.1.1.	Definición e Historia	11
2.1.2.	Acuicultura y Pesca	13
2.1.3.	Acuicultura en el mundo	16
2.1.4.	La Acuicultura en Europa.....	19
2.1.5.	La Acuicultura en España.....	21
2.2.	Biofouling	24
2.2.1.	Introducción y Antecedentes	24
2.2.2.	Mecanismo de formación del biofouling	26
2.2.3.	Patrones de colonización en granjas marinas offshore	30
2.2.4.	Problemas asociados al biofouling	33
2.3.	Tecnologías anti-fouling.....	37
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	41
3.1.	Localización del lugar de muestreo.....	43
3.2.	Periodo experimental.....	46
3.3.	Análisis de los parámetros oceanográficos.....	46
3.3.1.	Temperatura y Oxígeno disuelto	46
3.3.2.	Salinidad.....	46
3.3.3.	Clorofila	46
3.3.4.	Turbidez.....	47
3.3.5.	Corrientes	47
3.3.6.	Análisis de los epibiontes	47
3.4.	Diseño experimental.....	47
3.4.1.	Puesta en marcha	47
3.4.2.	Seguimiento.....	53
3.4.3.	Adquisición de datos	53

3.4.4.	Tratamiento estadístico de los datos	54
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
4.1.	Análisis descriptivo multivariante.....	61
4.2.	Estudio del efecto de los factores sobre la presencia de epibiontes: Análisis de la Varianza.....	66
4.2.1.	Análisis de la Varianza para la estación de verano	67
4.2.2.	Análisis de la Varianza para la estación de otoño.....	82
4.2.3.	Análisis de la Varianza para el periodo anual.	105
5.	CONCLUSIONES.....	127
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	131
7.	ANEJO: Datos experimentales.....	141

AGRADECIMIENTOS

Es difícil resumir en estas líneas la cantidad de personas que han hecho posible culminar este trabajo y me han acompañado en tan arduo camino. Por ello me excuso de antemano si alguno/a no se ve citado en este apartado.

Me gustaría agradecer en primer lugar al Centro de Investigación Acuicultura y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València (ACUMA-UPV), así como a la Red de Innovación e Investigación en Industrias Acuícolas de la Comunitat Valenciana (RIIA-CV) por la confianza que han depositado en mi persona y el apoyo que me ha brindado en el acceso al programa de doctorado.

A mis directores de tesis, Francisco J. Espinós y Sebastià Balasch, por todo su tiempo y dedicación. Sin su ayuda y su profesionalidad, habría sido imposible llevar esta tesis a buen término.

Mención especial se merecen mis padres, que hicieron lo imposible para que lograra esto y aunque ya no estén, el empuje que me dieron aún me mueve, y me moverá. Por sus sacrificios. A mi hermana.

A Oliver y Diego, por las horas que os he robado y que os debo devolver. Por vuestras sonrisas .

A Noelia, ya que sin ella sencillamente hubiese dejado esto como todas las cosas que alguna vez empecé y no terminé, ella es sin duda la base de que yo siga adelante y quiera avanzar. Amamdt.

RESUMEN

La presente Tesis Doctoral realiza el primer estudio acerca de los crecimientos de epibiontes en las redes de granjas marinas del Mediterráneo Occidental. Asimismo, esta Tesis Doctoral supone una aportación novedosa en el campo del biofouling marino al recoger información no sólo de manera taxonómica sino también de ecología de los actores y factores participantes. Es objeto de este estudio el conocer los epibiontes más comunes en las redes de acuicultura marina mediterránea y su relación con la profundidad, la estación del año, la situación en la granja y la respuesta de los epibiontes ante la presencia de una pintura antifouling comercial con base en óxido cuproso, realizando para ello un exhaustivo análisis estadístico.

Con dicho objetivo, se dispusieron 192 placas de polietileno de 400 cm² en una granja marina del sudeste español, en concreto en el municipio de Villajoyosa (Alicante), a dos diferentes profundidades, con diferentes orientaciones y con pintura antifouling y sin ella. Las placas se recogieron en cuatro periodos del año: a principios de primavera, a principios de verano, a principios de otoño y las últimas, después de 1 año sumergidas. Se estudiaron a nivel taxonómico las especies macroscópicas y se trataron los datos con el software Stathgraphics Centurion XVI.II y ProMV 15.02 para realizar los estudios estadísticos pertinentes.

No se ha escrito nada antes de este trabajo sobre el impacto de éstas pinturas en las colonizaciones de los epibiontes estudiados, si bien se ha comprobado con esta Tesis que la pintura antifouling es un técnica efectiva para la lucha contra los epibiontes marinos, y que funciona además a cualquier profundidad y con cualquier orientación. Asimismo, se ha corroborado que las placas se cubrían más con organismos conforme transcurría el tiempo de exposición en el mar, tuvieran o no pintura antifouling y sin que ninguna especie llegara a colonizar y desplazar a las especies previas. Se ha podido constatar también el orden cronológico de invasión de las placas por los epibiontes. Además, las placas que se localizaban en la zona de descarga del vertido de la instalación piscícola y estaban a sotacorriente fueron placas pobladas con mayor número de epibiontes, independientemente de la profundidad, orientación o presencia o no de la pintura antifouling.

ABSTRACT

The present Doctoral Thesis makes the first study on the growth of epibionts in the nets of marine farms of the Western Mediterranean. Also, this Doctoral Thesis is a novel contribution in the field of marine biofouling by collecting information not only taxonomically but also the ecology of the actors and factors involved. The objective of this study is to know the most common epibionts in Mediterranean marine aquaculture nets and their relationship with depth, season, situation on the farm and the response of the epibionts to the presence of a commercial antifouling paint with Based on cuprous oxide, performing for this purpose an exhaustive statistical analysis.

Therefore, 192 polyethylene sheets of 400 cm² were placed on a Spanish sea farm (SW Mediterranean), specifically in the municipality of Villajoyosa (Alicante), at two different depths, with different orientations and antifouling paint and without it. The plates were collected in four periods of the year: in early spring, early summer, early autumn and the last, after 1 year submerged. Macroscopic species were studied at the taxonomic level and the data were treated with the Stathgraphics Centurion XVI.II and Promov software 15,02 to perform the relevant statistical studies.

Nothing has been written before this work on the impact of these paintings on the colonies of the epibionts studied in this thesis, although it has been verified with this work that antifouling painting is an effective technique for the fight against marine epibionts, And that works in addition to any depth and with any orientation. Also, it has been corroborated that the plates were covered more of organisms, according to the time of exposure in the sea, It had or not antifouling painting, The chronological order of invasion of the plates by the epibionts has also been verified. In addition, the sheets that were located in the discharge area of the fish facility and under the current, were plates populated with a greater number of epibionts, regardless of the depth, orientation or presence of the antifouling paint.

RESUM

La present tesi doctoral realitza el primer estudi sobre els creixements de epibionts a les xarxes de granges marines de la Mediterrània Occidental. Així mateix, aquesta tesi doctoral suposa una aportació innovadora en el camp del biofouling marí en recollir informació no només de manera taxonòmica sinó també d'ecologia dels actors i factors participants. És objecte d'aquest estudi el conèixer els epibionts més comuns en les xarxes d'aqüicultura marina mediterrània i la seva relació amb la profunditat, l'estació de l'any, la situació a la granja i la resposta dels epibionts davant la presència d'una pintura antifouling comercial amb base en òxid cuprós, realitzant per a això una exhaustiva anàlisi estadística.

Amb aquest objectiu, es van disposar 192 plaques de polietilè de 400 cm² en una granja marina del sud-est espanyol, en concret a/ municipi de la Vila Joiosa (Alacant), a dues diferents profunditats, amb diferents orientacions, i amb i sense pintura antifouling . Les plaques es van recollir en quatre períodes de l'any: a principis de primavera, a principis d'estiu, a principis de tardor i les últimes, després d'1 any submergides. Es van estudiar a nivell taxonòmic les espècies macroscòpiques i es van tractar les dades amb els programes Stathgraphics Centurion XVI.II i ProMV 15.02 per realitzar els estudis estadístics pertinents.

No s'ha escrit res abans d'aquest treball sobre l'impacte d'aquestes pintures en les colonitzacions dels epibionts estudiats , si bé s'ha comprovat en aquesta Tesi que la pintura antifouling és un tècnica efectiva per la lluita contra els epibionts marins, i que funciona a més a qualsevol profunditat i amb qualsevol orientació. Així mateix, s'ha corroborat que les plaques es cobrien amb més organismes a mesura que transcorria el temps d'exposició al mar, tinguessin o no pintura antifouling, i sense que cap espècie arribés a colonitzar i desplaçar a les espècies prèvies. S'ha pogut constatar també l'ordre cronològic d'invasió de les plaques pels epibionts. A més, les plaques que es localitzaven a la zona de descàrrega de l'abocament de la instal·lació piscícola i estaven a sotacorrent van ser plaques poblades amb major nombre d'epibionts, independentment de la profunditat, orientació o presència o no de la pintura antifouling.

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Justificación de la tesis

El mayor reto al que se enfrenta la humanidad para las próximas décadas, aparte de la obtención de energía, es alimentar a los 9.600 millones de personas que habitarán el planeta tierra hacia el año 2050. El reto es complejo dada la limitada disponibilidad de los recursos naturales y dada la necesidad de respetar los ecosistemas y la persistencia, aun hoy, de los más de 800 millones de personas que sufren desnutrición crónica. Por ello, será necesario incrementar el rendimiento de la producción alimentaria de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente, en un contexto de cambio climático y en un mundo con grandes desigualdades económicas y de acceso a la tecnología. En este sentido la acuicultura es una actividad muy potente que ayudará a enfrentarnos a estos grandes retos.

Sin embargo, la acuicultura marina mediterránea presenta cada vez menores márgenes de beneficio, por ello buscar la solución a uno de los apartados más costosos como es el gasto a consecuencia del biofouling se nos plantea como uno de los mayores retos para la viabilidad del sector. Existen múltiples métodos de lucha contra el biofouling, aunque fundamentalmente se suelen emplear aquellos métodos basados en limpiezas mecánicas de las superficies afectadas y en tratamientos con pinturas antifouling. El problema es tal que la Unión Europea fundó un proyecto de investigación denominado CRAB (Collective Research on Aquaculture Biofouling) centrado en los mencionados problemas.

Si bien existen trabajos sobre el biofouling en granjas piscícolas en el Mar de China (Qiu *et al.*, 2003) y en el Mar del Norte (Khalaman, 2001; Whomensley y Picken, 2003; Braithwaite, 2007; Yan Tao, 2008), pocas referencias bibliográficas se pueden encontrar acerca del biofouling en las redes de acuicultura de las granjas marinas del Mediterráneo, siendo este el primer trabajo que trata sobre la identificación y ecología del macrofouling de las redes de granjas de acuicultura en el Mediterráneo Occidental. Tampoco se han realizado estudios sobre la actuación de antifouling en redes de acuicultura mediterránea y tenemos que recurrir a estudios similares a éste, pero con

estructuras diferentes y con ambientes también diferentes, como muelles, tuberías de refrigeración de centrales nucleares o boyas (Relini, 2000; Kashin, 2003; Kalamani, 2001).

Por tanto, la presente tesis doctoral proporciona información científico-técnica acerca del crecimiento de epibiontes en las redes de acuicultura mediterránea. A su vez, esta tesis doctoral supone una aportación novedosa en el campo del biofouling marino al recoger información no sólo de manera taxonómica sino también de ecología de los actores y factores participantes.

1.2. Objetivos

El objetivo general de la presente tesis doctoral consiste en el análisis de las posibles diferencias en los patrones de crecimiento de epibiontes en las redes de acuicultura marina mediterránea con respecto a diversos ambientes. En concreto, se analizaron las diferencias detectadas entre emplear antifouling y no emplearlo, las diferencias a dos profundidades (3 m y 15 m), a diversas orientaciones en la instalación (Norte, Sur, Este y Oeste) y, por último, las variaciones que se producen según la época del año. En este sentido, se pretende estudiar las especies colonizadoras desde un punto de vista taxonómico, también su orden de sucesión, los índices de recubrimiento y qué tipo de interacciones tienen entre los epibiontes con los parámetros bióticos y abióticos descritos. Sumado a lo anterior, es objetivo de esta Tesis cuantificar y justificar el uso de antifouling en las redes de piscicultura mediterránea.

Así, se trata de discernir por un lado la fiabilidad de la pintura antifouling aplicada de forma general en la acuicultura marina mediterránea en redes, cabuyerías y soportes de flotación, y por otro, comprobar en qué fase actúa el antifouling; si, como debería ser es en la fase de creación del biofilm, o si se encuentran diferencias de crecimiento tanto cuantitativamente como cualitativamente desde el principio al interrumpir el desarrollo normal del biofilm y, por lo tanto, de la sucesión ecológica. También, se pretende conocer si el uso de las pinturas antifouling retrasa o impide la adhesión de ciertas especies o si sólo disminuye el número de epibiontes así como la importancia del recubrimiento. Además, el conocimiento del biofouling en las granjas marinas

podrá ser usado con seguridad como bioindicador de la polución marina (Sarà *et al.*, 2006), siendo este trabajo de los primeros en estudiarlo.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. La Acuicultura

2.1.1. Definición e Historia

Según el diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, la acuicultura se define como “la técnica de cría y explotación de especies acuáticas vegetales y animales con fines científicos, económicos o industriales”. Dado que la palabra cría entraña el control de una o más fases del ciclo vital de una especie, podemos concluir que cuando se ejerce algún tipo de control sobre al menos una fase del ciclo vital de una especie acuícola, se está realizando acuicultura.

Mientras que el término global de acuicultura agrupa la producción de peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas, existen denominaciones específicas para cada tipo de producción acuícola. Así la producción de peces se englobaría bajo el nombre de piscicultura o producción piscícola, que igualmente podemos desglosarla por especies producidas como la ciprinicultura (producción de carpas), truchicultura (producción de truchas) o salmonicultura (producción de salmones). En el caso de estudio de esta tesis doctoral que se centra en las granjas marinas de peces le llamaríamos maricultura.

Existen varios criterios para clasificar los diferentes tipos de acuicultura. En primer lugar, en función del tipo de agua en la que se crían o engordan los animales, se distinguen la acuicultura marina, que utiliza agua de mares y océanos, y la continental, que usa la de ríos, lagos y aguas salobres. Según se producen una o varias especies en la misma explotación acuícola, se habla de monocultivo o policultivo. Y las granjas pueden ser extensivas o intensivas según el volumen y uso del agua, así como dependiendo de la productividad por unidad de volumen. También se diferencian instalaciones de circuito abierto o cerrado, en estas últimas se trata y recicla el agua de forma total.

Además, por otra parte, en función de las técnicas de producción y del grado en que se controla el ciclo productivo, existen explotaciones de ciclo completo, donde los animales se reproducen, se fecundan e incuban los huevos y se crían, recrían y engordan hasta tamaños o pesos comerciales, con reposición controlada y selección

de reproductores. Otras instalaciones de ciclo parcial, pastoreo o sólo de cebo, son aquellas que retienen o capturan las crías procedentes del medio natural hasta que alcanzan el tamaño deseado o las que retienen o capturan los reproductores del medio natural para la obtención de huevos ya embrionados, incubación, cría, recría y engorde de ejemplares para comercializar, sin control de la reproducción (Datos propios).

Respecto a los inicios de la acuicultura, se tiene constancia del aprovechamiento del agua para la cría de carpas hace 4.000 años en China. En el año 1.400 a.d.C. existían leyes de protección frente a ladrones de pescado y el primer tratado de cigricultura en este país se data en el año 475 a.d.C. También en las antiguas culturas mediterráneas, Aristóteles hace referencia en sus escritos a la cigricultura y ostricultura. Igualmente existen reseñas históricas, en el antiguo Egipto y en la época del Imperio Romano, referentes a la práctica de la piscicultura y a la invención del estanque de cultivo por el general Lucinius Murena; así como sobre la cría de ostras en diferentes países asiáticos. En la Edad Media, la cría de truchas y carpas se fue introduciendo poco a poco en abadías y monasterios de la Europa Occidental, que aprovechaban su proximidad a cauces fluviales. En 1758, el descubrimiento de la fecundación artificial de huevas de trucha y salmón por el austriaco Stephen Ludvig Jakobi, se considera la base de la piscicultura moderna. En la década de 1950, la piscicultura se empezaba a considerar como una actividad industrial y años más tarde su desarrollo experimentó un incremento espectacular, aumentando la producción de truchas de piscifactoría un 50% entre los años 1990 y 1998 (APROMAR, 2005).

Hoy en día, la acuicultura es una actividad estable y en pleno desarrollo y expansión, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo; esta forma de producción animal, junto a la pesca extractiva, debe hacer frente a la creciente demanda de productos acuícolas (Black, 2001).

2.1.2. Acuicultura y Pesca

La producción acuícola en el año 2014 (Tabla 1), ascendió a 156,2 millones de toneladas entre la pesca de captura (59,9%) y la acuicultura (40,1%), siendo mayoritaria la obtención de productos marinos, con un 75%. Respecto a la utilización de esta producción, 118,6 millones de toneladas (75,7%) fueron destinadas al consumo humano y los 38,1 millones de toneladas restantes (24,3%) tuvieron usos no alimentarios (FAO, 2012).

Tabla 1. Producción acuícola mundial en millones de toneladas en el año 2014. Fuente: FAO 2015.

	CONTINENTAL		MARINA		TOTAL	
	Mill. Tm	%	Mill. Tm	%	Mill. Tm	%
PESCA	9,6	10,2	84,2	89,8	93,8	59,9
ACUICULTURA	29,6	47	33,3	53	62,9	40,1
TOTAL	39,2	25	117,2	75	156,2	100

Gracias a que el pescado supone una de las más importantes fuentes de proteína animal, los hábitos alimenticios de la población mundial vienen apostando por un mayor consumo de productos pesqueros en detrimento de los cárnicos. Esto ha contribuido a que en los últimos 30 años se haya triplicado la demanda de pescado en el mundo y que su consumo *per cápita* haya pasado de 11 Kg/persona/año en 1970 a 16,6 Kg/persona/año en 2011 (FAO, 2006), 39 kg/persona/año en España (MERCASA, 2014).

Según datos de FAO (2015), la producción de la pesca tradicional alcanzó sus niveles máximos a finales de los años 80 y desde entonces fluctúa en torno al mismo nivel (entre 90 y 95 millones de toneladas anuales), indicando que los océanos se están explotando cerca de su producción máxima (Blanco *et al.*, 2007) tal y como vemos en la Figura 1.

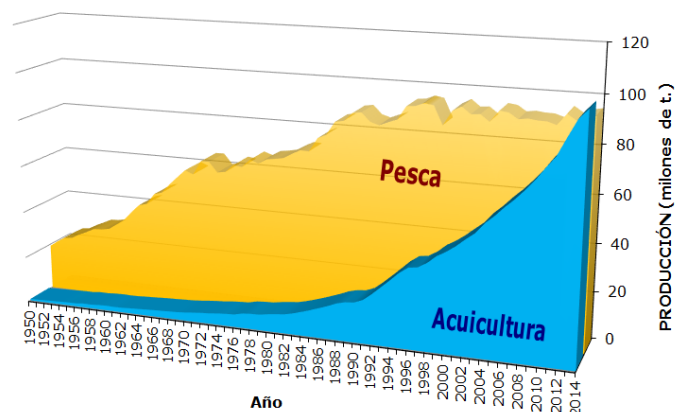


Figura 1. Evolución de la producción pesquera (pesca y acuicultura) en el mundo, 1951-2014. Fuente: APROMAR, 2016.

Por todo ello, para cubrir la creciente demanda de pescado por parte de la población, resulta necesario la intensificación de la acuicultura, como ya ha venido sucediendo en varios países en los últimos 15 años, lo que ha incrementado la producción de este sector hasta alcanzar las 101 millones de Tm (APROMAR, 2016). Esta expansión se espera que continúe en las próximas décadas, alcanzando según la FAO, los 100 millones de toneladas en 2030.

Para que la acuicultura moderna tenga éxito, de cara al futuro, en la satisfacción de las necesidades de la población, su desarrollo debe basarse en el control de la reproducción de las especies, gracias al mejor conocimiento de su biología, en las innovaciones tecnológicas y en el desarrollo de alimentos específicos (APROMAR, 2015).

En contrapartida, existe una creciente preocupación respecto al bienestar de los peces (De la Gándara, 2006) y respecto a las repercusiones de la acuicultura sobre el hábitat acuático, la dinámica de poblaciones piscícolas y su ecología, que exige a los piscicultores cumplir una serie de condiciones biológicas, éticas y medioambientales para garantizar el éxito de sus actividades (Naylor *et al.*, 2000).

Por otro lado, el espectacular incremento de la acuicultura en los últimos 15 años y el estancamiento de la producción pesquera, origina uno de los debates de mayor actualidad en el ámbito que nos ocupa, ante la posible futura sustitución de la pesca tradicional por la crianza de los peces y otras especies como método de

obtención de alimentos (Subasinghe, 2004) Si bien este hecho aún no se ha producido, a continuación se expone una serie de ventajas e inconvenientes de la acuicultura frente a la pesca (Mas Álvarez, 2006):

Ventajas

- ✚ Tipificación de los productos. Calidad y frescura uniformes.
- ✚ Regularización de la producción y producción fuera de temporada.
- ✚ Uso de aguas y zonas improductivas o de difícil empleo para otras actividades.
- ✚ Transformación y aprovechamiento de residuos y subproductos de otras actividades humanas.
- ✚ Aprovechamiento de energías residuales.
- ✚ Oferta de empleo estable.
- ✚ Aprovechamiento de aguas jurisdiccionales e independencia para el autoabastecimiento.
- ✚ Estabilización de precios en mercado.
- ✚ Posibilidad de control sanitario, mejoras zootécnicas y de selección y manipulación genética de los animales producidos.
- ✚ Repoblación de especies marinas y continentales; restauración o mejora de poblaciones y hábitat naturales.

Inconvenientes

- ✚ La pesca tradicional seguirá siendo un método económico de abastecer la demanda de pescado para determinadas especies de difícil domesticación.
- ✚ Las aguas constituyen una reserva de pescado que se repone de forma natural y que resulta difícil de agotar si se respetan los límites de capturas en cantidad, tallas o temporadas.

- ✚ Los animales acuáticos requieren procedimientos especiales de domesticación, manejo y producción, difíciles y costosos y no siempre realmente económicos. Puede que siga siendo mucho más fácil, e incluso barato, pescar (y no criar) a algunos de ellos.
- ✚ El impacto medioambiental negativo de las actividades de crianza en acuicultura es potencialmente elevado. Aunque debemos recordar que la pesca extractiva también lo tiene (contaminación por combustibles de embarcaciones, daños a bancos y poblaciones naturales, etc.) y que, en el caso de la acuicultura, es posible disminuirlo con adecuado diseño y gestión de las instalaciones.
- ✚ Precios estabilizados, pero por debajo de los conseguidos por productos de la pesca (que se siguen considerando, muchas veces sin justificación, de mayor calidad) que pueden afectar negativamente a la comercialización y frenar el negocio, la expansión y crecimiento de las empresas acuícolas.

2.1.3. Acuicultura en el mundo

La producción acuícola mundial estimada en el año 2012 fue de 65,5 millones de toneladas, incluyendo un total de 240 especies de plantas y animales acuáticos en todo el mundo (FAO, 2013). El 48,1 % de esta producción fueron peces, el 23,5 % vegetales acuáticos, el 21,4 % especies de moluscos, el 6,3 % crustáceos y un 0,7 % especies de anfibios y reptiles (Figura 2). El 49,9 % del total de la producción se desarrolla en aguas marinas, correspondiendo el 44,0 % a producciones de agua dulce y un 6,1 % a aguas salobres.

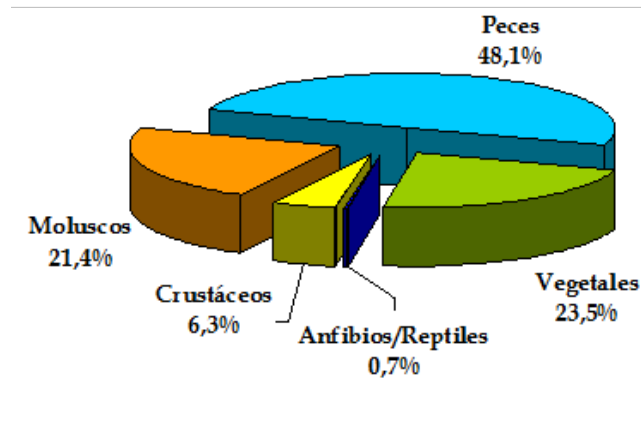


Figura 2. Producción de la acuicultura en el mundo, 2014. Fuente: FAO, 2015.

Por áreas de producción, China representa un 68,7% de la producción mundial con 38,6 millones de toneladas anuales, mientras que el resto del continente asiático y región del océano Pacífico (por este orden India, Indonesia, Filipinas, Vietnam, Japón, Tailandia, República de Corea, Bangladesh y Chile) agrupan el 21,2% con 13,4 millones de toneladas anuales, quedando el 10% restante (6,3 millones de toneladas) para el resto de continentes y países (FAO, 2015).

Según las estadísticas del último informe de la FAO (2015), la contribución de la acuicultura al suministro mundial de pescado, crustáceos y moluscos continúa creciendo cada año. Así lo demuestra el hecho de que en 1970 representaba el 3,9 % de la producción total en peso y en los últimos datos, del año 2011, ya supone el 40,1 % de la producción mundial (62,7 millones de toneladas anuales) y se estima que supere los porcentajes del 50 % en 2020 (APROMAR, 2015). El crecimiento de este sector, es aproximadamente un 8,9 % cada año desde 1970, de hecho sigue siendo más rápido que el logrado en cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal, como la producción de carne de especies de abasto convencionales, que es de un 2,8 % al año, o la de la pesca de captura, un 1,2 % al año en las buenas épocas.

La lista compuesta por las diez especies criadas más importantes (excluyendo el cultivo de plantas acuáticas), suma alrededor del 90 % de la producción mundial; de todas ellas, el ostión u ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) con 4,5 millones de toneladas en el año 2011, es la especie más importante en la acuicultura mundial,

seguida por tres especies de carpas de agua dulce: la plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), la común (*Cyprinus carpio*) y la herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), con cerca de 4 millones de toneladas cada una.

Es por ello que el grupo de peces criados más importante en el mundo, en términos de biomasa producida, sea el de las carpas y otros ciprínidos, que representa el 42 % - cerca de 20 millones de toneladas - de la producción total acuícola de peces, crustáceos y moluscos. Las tilapias, con una producción por encima de los 2 millones de toneladas anuales, son la segunda especie de agua dulce más producida en el mundo.

La producción de crustáceos en 2011 se elevó a 5,9 millones de toneladas y detrás, con una producción cercana a los 2 millones de toneladas, aparecen los salmónidos, familia en la que se encuentra el salmón atlántico (*Salmo salar*), del que se produjeron 1,24 millones de toneladas y la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), de la que se crían aproximadamente 750.000 toneladas anuales.

Respecto a la piscicultura marina, gracias a la producción asiática, las especies englobadas en el género *Seriola* siguen siendo, desde hace muchos años las protagonistas, con cifras anuales en torno a las 170.000 toneladas (De la Gándara, 2006).

Finalmente cabe destacar, en los últimos años, la aparición en acuicultura de dos especies con un incremento de producción importante: en primer lugar, el bacalao (*Gadus morhua*), criado principalmente en Noruega e Islandia, con una producción de sólo 4.000 toneladas anuales pero con incrementos anuales espectaculares; y, en segundo lugar, el atún (*Thunnus thynnus*), que se engorda en jaulas flotantes, es una actividad emergente en México, Australia y el mar Mediterráneo que suma en todo el mundo 11.000 toneladas anuales (Annon, 2004; De la Gándara, 2006).

2.1.4. La Acuicultura en Europa

La acuicultura es una fuente cada vez más importante de pescado en Europa, representando el 18% del volumen de su producción pesquera; en algunos países, como Finlandia, Noruega, Grecia o Alemania, su relevancia económica y social supera ya a la de la pesca extractiva. Centrándonos en la piscicultura (producción de peces), el principal productor de la Unión Europea en beneficios netos en 2014 ha sido Reino Unido, seguida de Grecia y España (Federación Europea de Productores de Acuicultura, APROMAR, 2016 (Figura 3). En producción piscícola también ha sido Reino Unido (Figura 4).

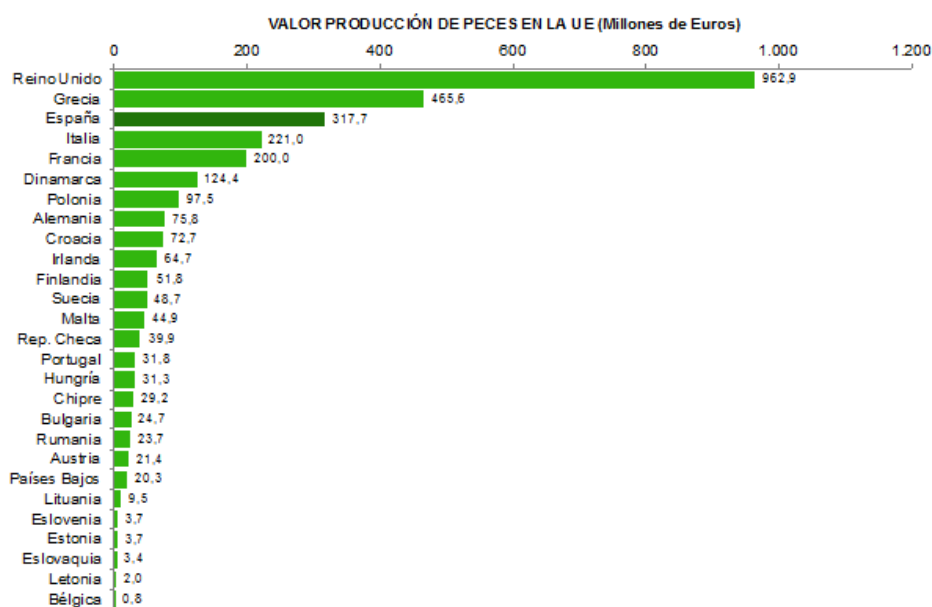


Figura 3. Valor de la producción piscícola (millones de euros) por países de la Unión Europea en 2014. Fuente: APROMAR, 2016.

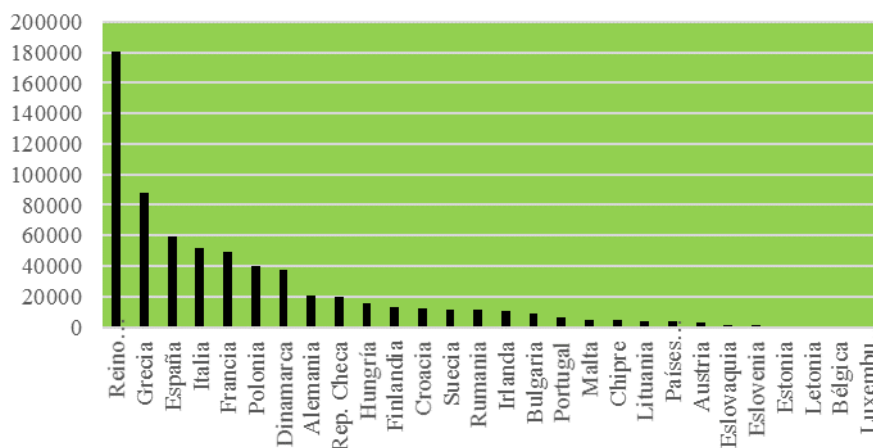


Figura 4. Distribución de la producción piscícola (toneladas) por países de la Unión Europea en 2014. Fuente: APROMAR, 2016.

Si bien la producción europea solo representa poco más del 3 % de la producción mundial, Europa es líder de producción en las principales especies piscícolas que cultiva: salmón atlántico (*Salmo salar*), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), dorada (*Sparus aurata*), lubina (*Dicentrarchus labrax*), y rodaballo (*Psetta maxima*). Según datos de 2011, el 67,8 % de la producción total europea corresponde a crianza de peces, el 32,1 % a la producción de moluscos y un escaso 0,01 % a la cría de crustáceos (Tabla 2).

Tabla 2. Producción de la piscicultura de la UE por especies cultivadas en el año 2014. Fuente: APROMAR, 2015.

Producción (toneladas)		
Especie	Nombre Científico	Toneladas
Trucha arco iris	<i>Onchorynchus mykiss</i>	194.081
Salmón atlántico	<i>Salmo salar</i>	175.090
Dorada	<i>Sparus aurata</i>	85.483
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	70.938
Lubina	<i>Dicentrarchus labrax</i>	63.965
Rodaballo	<i>Psetta máxima</i>	11.849
Pez-gato	<i>Clarias gariepinus</i>	4.986
Anguila europea	<i>Anguilla anguilla</i>	4.570
Total 8 principales especies		610.962
Resto de especies		49.822
Total Acuicultura Peces UE		660.784

Valor (millones €)		
Especie	Nombre Científico	Toneladas
Salmón atlántico	<i>Salmo salar</i>	978,2
Trucha arco iris	<i>Onchorynchus mykiss</i>	613,6
Dorada	<i>Sparus aurata</i>	448,8
Lubina	<i>Dicentrarchus labrax</i>	406,5
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	151,1
Rodaballo	<i>Psetta máxima</i>	74,6
Atún rojo	<i>Thunnus thynnus</i>	58,4
Anguila europea	<i>Anguilla anguilla</i>	42,0
Total 8 principales especies		2.773,3
Resto de especies		220,0
Total Acuicultura Peces UE		2.993,3

El ritmo de crecimiento de la piscicultura en la UE ha sido del 0,7% anual en los últimos 10 años, alcanzándose en 2014 más de 647.147 millones de toneladas (APROMAR 2015), pero un -0,3% con respecto a 2010. La Comisión Europea pretende que, en los próximos diez años, la acuicultura europea alcance la situación de una actividad estable e importante en el desarrollo de las zonas rurales y costeras, y que, al mismo tiempo, ofrezca al sector de la pesca extractiva alternativas en producción y empleo (APROMAR, 2015).

2.1.5. La Acuicultura en España

La acuicultura en España es hoy un sector productivo maduro, afianzado y en continuo crecimiento. Situado en el puesto número 15 de la clasificación mundial de productores acuícolas, y segundo país europeo después de Noruega, España aporta el 25 % de la producción acuícola europea (APROMAR, 2015).

El importante desarrollo de la acuicultura en España puede justificarse por sus características geográficas - abundancia de costas y acuíferos con potencial productivo - y de clima, así como por las progresivas dificultades para obtener pescado suficiente mediante la pesca, para cubrir la demanda creciente de este grupo de alimentos. Todo ello se basa en los hábitos alimenticios tradicionales de la población española, cuyo consumo de pescado *per cápita* (39 Kg/persona/año), es de los más elevados si se compara con la media mundial (16,2 Kg/persona/año), y

permite vislumbrar un buen futuro a este sector de la economía española (MERCASA, 2013).

Hasta la década de 1980, la producción acuícola española se centraba en el cultivo del mejillón, iniciado en Galicia en los años 40, y en la crianza de trucha arco iris, cuyo desarrollo se consolidó en los años 70. Sin embargo, a partir de los 90, con la incorporación de nuevas tecnologías y una mayor industrialización del sector, se comenzaron a criar nuevas especies piscícolas, como el rodaballo en el norte, y la dorada y la lubina en el sur y levante de España, Baleares y Canarias. Además, se incrementó la producción de mejillón y se mejoraron los métodos empresariales en las explotaciones de truchicultura (JACUMAR, 2013).

En el año 2014, la producción acuícola en España alcanzó un total de 282.242 toneladas (APROMAR, 2016), de las que un 82,4 % correspondió a la producción de moluscos y un 17,5 % a la piscicultura, completando con un 0,001 % la producción de crustáceos. Esta producción supone un 38,5 % de la producción pesquera española en ese mismo año.

En términos de biomasa, el primer puesto en crianza de especies acuícolas lo ocupa el mejillón, con una producción de 301.865,8 toneladas y representando un 82,4 % del total de la producción de la acuicultura española en 2011 (Figura 5). Este tipo de producción acuícola, que se obtiene mayoritariamente en bateas flotantes fondeadas en las rías gallegas, es muy dependiente de las condiciones naturales y sufre importantes altibajos. Es por ello que, al considerar las estadísticas dentro de España y al igual que ocurre con las algas y microalgas en los datos de producción mundial, su presencia siempre importante, pero variable según los años, enmascara o cubre las variaciones de la producción de otras especies.

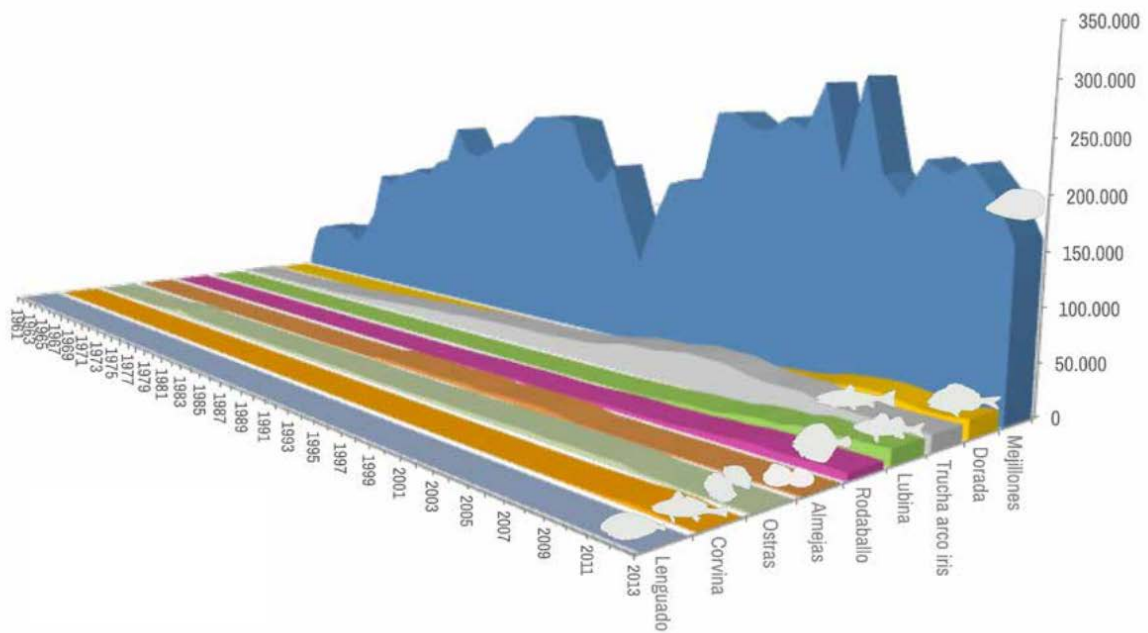


Figura 5. Evolución de la producción de la acuicultura en España por especies, en el periodo 1961-2013. Fuente: APROMAR, 2015.

Al mismo tiempo, existen grandes esperanzas en la completa domesticación del pulpo (*Octopus vulgaris*) de gran valor comercial en el mercado (Chapela *et al.*, 2006), aunque los problemas de mortalidad encontrados en las fases juveniles están retardando su desarrollo y expansión (Iglesias *et al.*, 2000).

Centrándonos en la piscicultura, la producción total alcanzada en 2014 fue de 73.672,2 toneladas, correspondiendo un 61,6 % a especies marinas y un 38,4 % a especies continentales. La cría de la trucha, dorada, lubina, rodaballo y el engorde de atún, representan el 97,4 % de la producción total (Figura 6). Y, si bien la producción de trucha arco iris en España ha sufrido un descenso de casi 10.000 toneladas en los últimos cuatro años, las otras cuatro especies marinas están en continua expansión, gracias a la diversidad y buenas condiciones de las costas españolas. Por otra parte, en los últimos años se viene desarrollando la crianza de nuevas especies con objeto de diversificar la oferta y así mantener la demanda (De la Gándara, 2006). A este respecto, están empezando a aparecer en el mercado producciones importantes de anguila (*Anguilla anguilla*), lengüado (*Solea senegalensis*) y corvina (*Argyrosomus regius*).

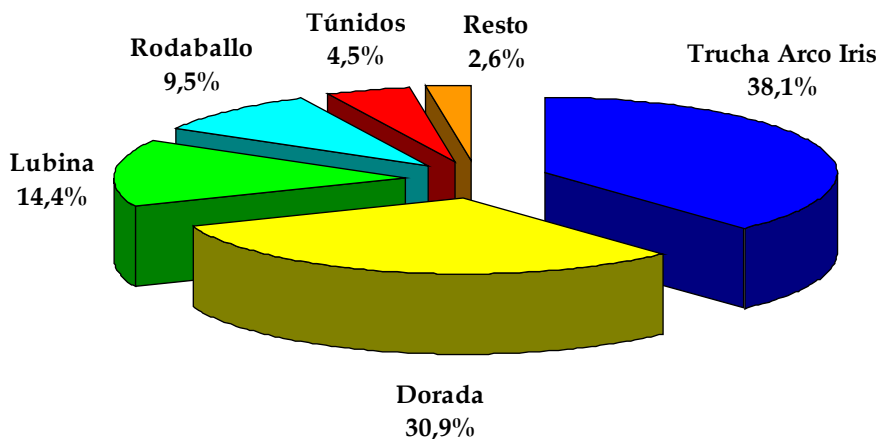


Figura 6. Producción acuícola de las cinco especies de peces más representativas en España (2014). Fuente: APROMAR, 2015.

2.2. Biofouling

2.2.1. Introducción y Antecedentes

El biofouling es un fenómeno común que ocurre en todas las superficies sumergidas en el ambiente marino. Los materiales inmersos en el mar son cubiertos rápidamente por una película macromolecular inerte, la cual favorece la colonización de bacterias, organismos unicelulares y luego el asentamiento de organismos multicelulares como macroalgas y moluscos (Persoone, 1971).

Este fenómeno afecta a las estructuras inmersas en el agua, como tuberías, cables, redes de pesca y pilares de puentes, produciendo efectos adversos que significan un gran problema para la industria marina como la pesca, la acuicultura o el transporte en barcos, generando así consecuencias económicas (Figura 7).



Figura 7. Aro anticorriente de una jaula de 25 m para cultivo de corvina (*Argyrosomus regius*) completamente repleto de *Mytilus galloprovincialis*.

El hecho de que las estructuras flotantes sean atractivas para los organismos marinos, como algas, microorganismos y animales, infiere una "carga viva" y es conocido como 'biofouling' marino. Por ejemplo, en el caso de los barcos el desafortunado efecto causado por el asentamiento biológico en el casco, infiere una carga que resta maniobrabilidad y peso, lo que incrementa el consumo de combustible. Desde un punto de vista biológico el biofouling es un efecto positivo. Sin embargo, para la industria, es un gran problema de mantenimiento y por ende con elevados costes económicos (Aarsnes, J.V., Rudi, H., Loland, G.,1990).

Las primeras alternativas utilizadas contra el biofouling fueron recubrimientos y pinturas, los que previenen el crecimiento de organismos adheridos (bacterias, algas, moluscos) mediante moléculas tóxicas (biocidas), principalmente basadas en cobre (Yebra, 2004) . Sin embargo, estas alternativas presentan desventajas relacionadas con su eficiencia y el impacto ambiental que producen (Solberg *et al.*, 2002) . Por lo anterior, es importante realizar una exhaustiva investigación centrada en el desarrollo de una solución antifouling efectiva. (Voulvoulis *et al.*, 1999). En este ámbito, la fabricación de polímeros con rellenos con nanopartículas de cobre que posean propiedades antifouling resulta interesante gracias a la gran versatilidad que poseen los materiales poliméricos. (Douglas-Helders *et al.*, 2003).

2.2.2. Mecanismo de formación del biofouling

En 20 minutos de inmersión, una superficie se “transforma” a través de macromoléculas como las proteínas presentes en el agua. Las bacterias colonizan en unas horas, poco después lo harán las algas unicelulares, protozoos y hongos (Relini, 1990). Estos tempranos colonizadores forman el llamado biofilm, que es una colección de organismos acoplados que son frecuentemente referidos como microfouling o “slime” (Costerton *et al*, 2005). Finalmente una capa de macrofouling coloniza la superficie, compuesto por multitud de especies de algas pardas y verdes, invertebrados como cirrípedos, mejillones, ascidias e hidrozooos (Berntsson y Johnsson 2003).

Los organismos que toman parte del biofouling son principalmente organismos sésiles que se desarrollan de manera natural en las zonas someras a lo largo de la costa o en la superficie dura de ciertos organismos marinos como crustáceos ó incluso mamíferos (WHOI, 1952). Aunque hay identificadas en torno a 4.000 especies sobre estructuras artificiales, esto incluye una pequeña proporción de las especies marinas conocidas. Estos organismos deben tener la habilidad para adherirse fuertemente y rechazar las fuerzas que le repelen. Sólo las especies con alta tolerancia en las condiciones ambientales (salinidad, temperatura, hidrodinamismo, etc.) dominarán sobre otras especies más sensibles y colonizarán el medio. Normalmente las comunidades de macrofouling están compuestas de organismos oportunistas que segregan tubos de carbonato cálcico, conchas o que poseen algún tipo de esqueleto (p,ej cirripodos, mejillones, gusanos tubícolas, briozoos y corales) junto con organismos más blandos (p,ej, algas, hidrozooos, esponjas o ascidias). (Dobretsov y Miron, 2001).

Los procesos en torno al fouling engloban multitud de interesantes pasos, 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 general está influenciado por muchos procesos químicos, físicos y biológicos. Diferentes estados se pueden superponer u ocurrir en paralelo. Estos procesos han sido observados en todos los ambientes marino, incluido el polar (Maki *et al.*, 1999).

Se ha considerado que el proceso 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 procariontas 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) (

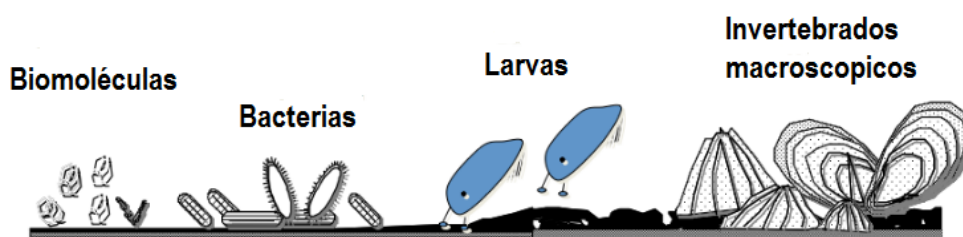


Figura 8).

Figura 8. Representación esquemática del biofouling en superficies sumergidas en el mar.
Fuente: <http://changeantifouling.com/research/environmental-science-wp4/bifouling/>.

2.2.2.1. 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).

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

El segundo estado del fouling es el llamado microfouling: los típicos microorganismos colonizadores como bacterias, levaduras, algas unicelulares y protozoos, forman la base microbiótica, el llamado 'biofilm' que será la base de las siguientes fases colonizadoras, la de la futura sucesión ecológica. El moderno concepto de biofouling, ó biofilm según la literatura anglo-sajona, 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).

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

2.2.2.4. 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).

La extensión del biofouling es dependiente de un gran número de diferentes parámetros, por ejemplo, temperatura, iluminación, hidrodinamismo y profundidad. Es ampliamente conocido que los organismos del fouling crecen más y de manera más rápida en regiones cálidas con altas temperaturas del mar. Así, hay una clara relación entre temperatura, periodo de reproducción y tasa de crecimiento en organismos marinos. En regiones frías con altas variaciones de temperaturas como Virginia se han hecho estudios de fouling en superficies artificiales marinas (Lin y Shao, 2002). y se ha observado que sólo una generación se puede producir durante el corto periodo de aguas templadas (Maloney *et al.*, 1958). En regiones con muy pequeños cambios estacionales como Hawaii estos mismos estudios revelaron que los organismos se pueden reproducir y crecer a lo largo de todo el año sin interrupción (Kashin *et al.*, 2003). La radiación es otro factor muy importante, elevando la temperatura de la capa de agua, además de su influencia sobre la temperatura y salinidad, tiene un importante efecto sobre la tasa fotosintética en plantas (Rajagopal, 1997). Al final, los procesos en el fouling son modificados por la interacción de las especies. Bacterias y organismos superiores compiten por

nutrientes, intercambio de oxígeno, luz e incluso en la segregación de metabolitos secundarios para inhibir la colonización de sus vecinos (Pawlik, 1992).

2.2.3. Patrones de colonización en granjas marinas offshore

Ciertas estructuras marinas, como las piscifactorías, son inspeccionadas diariamente y ello produce una recogida de datos muy interesante, potencialmente importante para estudios biológicos sobre organismos del fouling. Continuamente las inspecciones submarinas de estas estructuras nos brindan una oportunidad para observar y entender el mecanismo de colonización y desarrollo de comunidades del fouling en periodos más o menos largos. Whomersley y Pickens (2003) estimaron las dinámicas de las comunidades de fouling a largo plazo por medida del porcentaje de recubrimiento de los organismos más llamativos del fouling (mejillones, coral blando, anémonas, gusanos tubícolas e hidrozooos) de los anclajes de una plataforma marina. Así, investigaron la sucesión de comunidades de fouling y la diferencia de estructura de comunidades basadas en la variación de situación de las estructuras de la plataforma, así como de la profundidad de éstas. Encontraron una primera colonización por hidroides y poliquetos tubícolas, probablemente por su estrategia oportunista de la r, es decir, alta fecundidad, rápido crecimiento y madurez sexual a temprana edad con una habilidad para dispersar una gran cantidad de larvas a gran distancia. (Mayer-Pinto y Junqueira, 2003). Esta sucesión también ha sido documentada en substratos artificiales como boyas oceanográficas en el Mediterráneo (Relini, 2000).

La colonización puede ocurrir de dos diferentes maneras: migración por organismos de zonas cercanas, es decir de costa o/y de estructuras de la granja colonizadas o por reclutamiento de larvas de la columna de agua. Generalmente la cantidad de colonización dependerá de multitud de factores como son tipo de substrato, temperatura del agua, salinidad, estación (Flemming, 2002).

a) Migración

En esta forma de colonización las especies se mueven arrastrándose, nadando o a la deriva, pero normalmente no se dispersan a grandes distancias después del asentamiento. Muchos estudios se han hecho en torno la movilidad en este tipo de colonización. Page *et al.* (1987) describió dos tipos diferentes de comportamiento específico para el fouling de una plataforma petrolífera en California:

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*).

Otro estudio muy representativo trabajaba sobre la dinámica de colonización de animales bentónicos en substratos artificiales con respecto una zona control (Relini, 2000). La colonización alcanza el umbral después de 4-6 días en ambos casos, pero con una significativa mayor densidad en la zona control (sin presencia humana). Dado la rápida colonización, los substratos artificiales pueden ser una útil herramienta para estudios de calidad medioambiental. (Henschel *et al.*, 1990).

b) Dispersión larvaria

Multitud de invertebrados bentónicos son sésiles o sedentarios y tienen larvas planctónicas que potencialmente pueden llegar a grandes distancias. Esos organismos dependen de la dispersión para colonizar nuevas superficies y reclutar nuevas poblaciones. Mucho se ha debatido del balance entre procesos bénticos (como competencia y depredación) y el suministro y asentamiento de larvas planctónicas como determinantes de las dinámicas de poblaciones invertebradas (Caley *et al.* 1996; Hughes *et al.*, 2000; Menge 2000).

La predictibilidad de la dinámica de población que ocurrirá en el experimento (paño con pintura anti-fouling vs paño sin pintura anti-fouling) puede ser deducida con un conocimiento de las condiciones ambientales que influyen en la probabilidad de asentamiento. Una larva se asentará y reclutará en una superficie si el substrato y

el medio son correctos para la especie. Las variaciones entre rechazo o asentamiento de una especie y una superficie están condicionadas por varios factores:

- Suministro de larvas (Gaines, 1985; Roughgarden *et al.*, 1988; Miron *et al.*, 1995).
- Procesos físicos en el transporte (Pineda, 1991; Legendre y Gallagher, 2001)
- Ambiente larvario (Mullineaux, 1991).
- Disposición de los substratos (Gaines, 1985).
- Interacción con otros organismos, competencia y depredación (Menge, 2000).

Las preferencias larvianas por un substrato u otro han sido experimentadas en laboratorio (Pawlik, 1992; Hadfield, 1986). Hay trabajos interesantes que explican cómo incide en el reclutamiento larvario y en el asentamiento de éstos la intensidad de corriente (Qian, 2000); se comprobó por ejemplo, que el máximo de colonización por cirrípedos (*Balanus spp.*) es a medianas velocidades. De todas maneras los estudios sobre la importancia de los parámetros ambientales y físicos están todavía poco estudiados. Eckman (1996) y Abelson (1997) estudiaron los mecanismos envueltos en la fijación de las larvas al substrato de manera satisfactoria. Muchas fuerzas intervienen, como la circulación del agua por corrientes, mareas o difusión por densidad, todas estas fuerzas pueden llevar las larvas suspendidas en contacto directo con el substrato (Shanks, 2005).

La adhesión inicial será bajo el control de la larva. (Kavouras y Maki, 2003). Así, las fuerzas de adhesión o rechazo pueden romper la adhesión inicial y la larva es rechazada. La adhesión primaria permite a la larva explorar la superficie a colonizar. Una vez fijada la larva le seguirá una metamorfosis y crecimiento hasta adulto y saldrá de la población colonizadora por mortalidad. La explicación principal para la variación en el reclutamiento larvario sobre superficies artificiales se explica por el número de larvas que vienen a colonizar (Gaines, 1985).

Un experimento de campo llevado a cabo por Jonsson *et al.* (2004) dejó a la luz que el reclutamiento está relacionado con la cantidad de contacto y con una

relativa importancia de los mecanismos pasivos y de comportamiento. La variación en el aporte de larvas explica en parte la variación en el asentamiento/reclutamiento. El 75% de la variabilidad en la fijación se explicó con el ritmo inicial de contacto. En la Figura 9 se resume un modelo del mecanismo de suministro larvário y colonización (Jonsson, 2004).

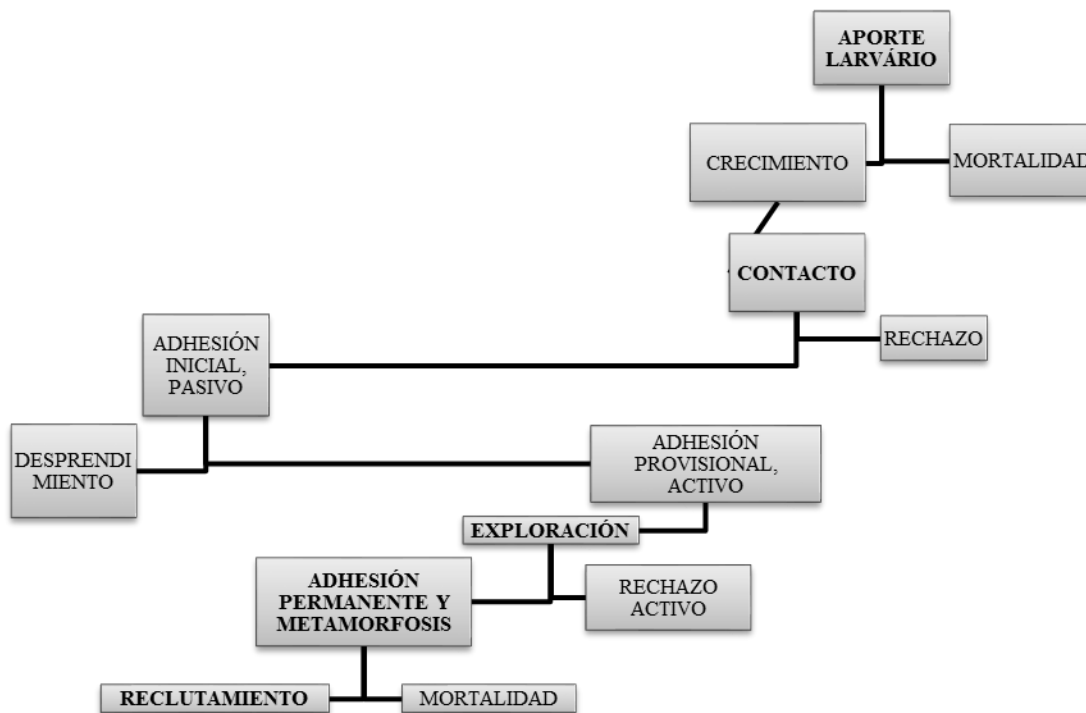


Figura 9. Esquema del modelo del mecanismo de suministro larvário y colonización.

2.2.4. Problemas asociados al biofouling

La acumulación y crecimiento de organismos sésiles y algas que forman el biofouling en estructuras artificiales sumergidas en el mar, causa problemas serios a las industrias marítimas y a los navíos alrededor del mundo. En el caso de los barcos, uno de los problemas producidos por el asentamiento biológico es la alta

resistencia a la fricción, debido a la rugosidad generada, lo que conduce a un aumento del peso y la consiguiente reducción de la velocidad potencial y la pérdida de la capacidad de maniobra. Para compensar esto, es necesario un mayor consumo de combustible, lo que causa un incremento de las emisiones de compuestos dañinos. Asimismo, existe un deterioro del recubrimiento de las estructuras sumergidas, de modo que son favorecidas la corrosión, decoloración y alteración de la conductividad del material. (Beech *et al.*, 2002).

En la industria de la acuicultura, el biofouling afecta el equipamiento, la infraestructura e incluso las provisiones. (Dubost *et al.*, 1996). El equipamiento y la infraestructura utilizados en esta industria corresponden a barcos y barcasas, boyas y cuerdas, redes y jaulas en el cultivo de peces, además de bandejas, redes de perlas, cuerdas y bolsas en el cultivo de mariscos (Brathwaite y McEvoy, 2004).

Las características y tipos de los materiales afectados son extremadamente variados, van desde plásticos como el PVC y el nylon, hasta diversos metales como el acero, los cuales pueden tener superficies planas, lisas o muy heterogéneas. Los materiales pueden ser flexibles como en las redes o duros como en las estructuras de jaulas. Esta alta variabilidad en los tipos de material y las características de sus superficies influyen en la acumulación del biofouling, proporcionando una alta diversidad en los hábitats para satisfacer los diferentes requisitos de asentamiento y conduciendo a diferentes ensamblajes, incluso en la misma granja acuícola. (Baine, 2001). En el caso de la industria acuícola, el cuidado y condiciones medioambientales necesitan ser óptimos para conseguir un producto vendible. Para el máximo crecimiento, la alimentación también debe estar en un nivel óptimo, lo que sólo puede ser logrado si el flujo a través de las redes, bandejas o bolsas 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 la acuicultura de peces, si el flujo es bajo o las redes se encuentran completamente bloqueadas, los niveles de oxígeno disminuyen drásticamente. Los peces dejan de alimentarse y por lo tanto, la mortalidad aumenta cada vez más.

Además, se evita la eliminación de materiales de desecho y la jaula actúa como un reservorio o vector de enfermedades y parásitos. El biofouling en las redes puede aumentar la resistencia hasta tres veces o el coeficiente de arrastre hasta un 900%. Otro de los importantes problemas asociados al biofouling es el drástico aumento en el peso de las estructuras, no sólo en el cultivo de peces, sino también en el de moluscos. El biofouling añade peso a las estructuras sumergidas, que puede tener implicancias 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 debido al biofouling dentro de algunas 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).

El biofouling, además, puede servir como un trampolín para enfermedades o parásitos. Si la condición metabólica de cualquier especie cultivada es reducida, por ejemplo mediante tensión o disponibilidad de alimentos, 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.

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. En una granja convencional del litoral español se puede usar hasta el 20% del tiempo de trabajo en cambiar redes repletas de fouling así como en limpiar las estructuras de flotación de las jaulas ya que en éstas aparece fouling calcáreo representando uno de los peligros más importantes de rotura de redes, también la aparición en estas estructuras de algas pardas y verdes confieren una superficie resbaladiza, que puede ocasionar multitud de accidentes.

En las jaulas, puede aparecer en un año hasta 20 kg/m² de mejillón (*Mytilus 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 (datos propios). El recambio de redes es muy caro, los costes anuales en cambios de red y pinturas antifouling para una granja media en la industria del salmón noruego se estima en unos 120.000 euros. La limpieza en bateas se estima en el 20% de los costes de producción y el biofouling puede reducir los crecimientos en un 40%. El impacto del fouling en los costes de producción de la industria del mejillón en Escocia se estima en 650.000 euros por año y granja, y el problema empeora (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 10 y Figura 11).



Figura 10. Colonización por un sustrato sumergido de polietileno (un anticorriente) por *Mytilus galloprovincialis*, en el centro, *Parablennius pilicornis* (hembra).



Figura 11. *Parablennius pilicornis* en el mismo sustrato (Macho).

2.3. Tecnologías anti-fouling

La severidad del biofouling depende de un gran número de parámetros, incluyendo la temperatura, la salinidad, la luz, la geografía, la profundidad y la velocidad de viaje. Para prevenir el biofouling, han sido empleados una variedad de recubrimientos y pinturas para lograr inhibir químicamente los organismos incrustantes. En general, los métodos antifouling se pueden dividir en tres categorías: métodos químicos, biológicos y físicos. Los métodos químicos se tratan básicamente de recubrimientos para inhibir químicamente la adherencia de los organismos mediante la disolución de partículas. Los métodos biológicos involucran el uso de una variedad de enzimas o metabolitos secretados por células como sustitutos de los tradicionales biocidas. Los métodos físicos incluyen la electrólisis, la radiación y otros métodos para reducir al mínimo la adhesión.

La aplicación de pinturas antifouling es la opción más generalizada, ya que se trata de una metodología efectiva y económicamente viable. Las pinturas antifouling son productos formadores de películas los cuales producen una lixiviación controlada de los productos biocidas que ellas contienen. Este mecanismo tiende a lograr que los biocidas se disuelvan durante toda la vida útil de la película creando, sobre la

superficie de la pintura, una microcapa donde la concentración del biocida impide la fijación de larvas o esporas (Coppejans, 1983).

De acuerdo a su mecanismo de acción, las pinturas antifouling pueden dividirse en cinco grupos (Caprari y Lecot, 2002):

- 1. Pinturas de matriz soluble a base de biocidas inorgánicos.
- 2. Pinturas de matriz insoluble a base de biocidas inorgánicos y pigmentos metálicos.
- 3. Pinturas de baja energía superficial.
- 4. Pinturas de disolución por abrasión a base de óxido de tributilestaño.
- 5. Pinturas de disolución por abrasión libres de óxido de tributilestaño.

1. Pinturas de matriz soluble a base de biocidas inorgánicos:

El principal material soluble formador de película utilizado en este grupo es de origen natural y proviene de un recurso renovable, tal como la resina colofonia. Esta es una resina que se obtiene de coníferas, de naturaleza ácida (principal componente ácido abiético), la que se acompaña también de otras sustancias solubles que actúan como plastificantes y ejercen acción de adhesión sobre el sustrato.

Emplean en su composición biocidas inorgánicos, como el óxido cuproso solo acompañado por óxido de cinc y pigmentos extendedores como el óxido de hierro rojo y cargas como carbonato de calcio natural. En algunos casos suelen dosificarse pequeñas cantidades de biocidas orgánicos que ejercen una acción sinérgica con el producto inorgánico o la mezcla de ambos óxidos, aumentando la efectividad del sistema. La duración de este revestimiento está limitada a unos 36 meses, por lo que se considera no son muy útiles para esta aplicación.

2. Pinturas de matriz insoluble a base de biocidas inorgánicos y pigmentos metálicos:

Esta es la pintura usada en el desarrollo experimental de la presente Tesis. Este tipo de pinturas también se pueden denominar pinturas de lixiviación por contacto continuo o sistemas de larga vida útil. En este caso, el componente resinoso es insoluble y no sufre efecto erosivo por parte del agua circulante. Hay una gran variedad de polímeros que pueden ser efectivos como las resinas vinílicas, las acrílicas, los caucho-acrílico y los epoxídicos. Estas pinturas se diferencian además por el tipo de biocida que contienen, y en tal sentido pueden clasificarse en:

- Pinturas a base de biocidas inorgánicos: cuya composición de pigmento es similar a las empleadas en las pinturas de matriz soluble. En concreto esta es la pintura usada en la presente Tesis. El óxido cuproso, de fórmula CuO , es uno de los compuestos más antiguos y más efectivos utilizado como pigmento en pinturas antiincrustantes. Tiene una muy baja solubilidad en agua dulce, la que aumenta aunque no de manera sustancial en agua de mar. Su acción depende del perfecto ajuste de la solubilidad del ligante, proveyendo de protección contra organismos larvales en muy bajas concentraciones dentro de la película. Actúa aumentando su acción en presencia de óxido de cinc. Con la fórmula ZnO se describe al óxido de cinc un compuesto de 99% de pureza, muy poco soluble en agua, que contiene como impurezas pequeñas cantidades de plomo, hierro, azufre y cadmio. Una vez obtenido cristaliza en el sistema hexagonal en forma de un polvo de apariencia blanco, aunque su color depende del tamaño de las partículas que lo forman. De acuerdo al proceso de elaboración se obtiene un producto de partículas aciculares (forma de agujas) o nodular, que aumenta la dureza de la película y la resistencia a la descomposición del ligante. Como complemento tiene una cierta acción fungicida y bactericida. En pinturas, se emplea solo o acompañado con óxido cuproso, con el cuál ejerce una acción sinérgica mutua. Estos compuestos mejoran su comportamiento en presencia de pequeñas

cantidades de biocidas orgánicos con los que también ejercen una acción sinérgica.

- A base de pigmentos metálicos: Son pinturas de bajo y medio contenido de ligante, que es lo mismo que decir alto y medio contenido de pigmento. En las pinturas con alto contenido de pigmento, el ligante es agregado solo en cantidad suficiente como para mantener aglomerado el pigmento durante toda la vida útil de la película. Se emplean polvos de cobre y cinc de diferente tipo y tamaño de partícula. También suele acompañarse el pigmento con pequeñas cantidades de óxido de cinc y biocidas orgánicos que tienen el efecto sinérgico ya mencionado. Se consideran las resinas más aptas para este tipo de pinturas las epoxídicas, vinílicas, las acrílicas y los caucho-acrílico.

3. Pinturas de baja energía superficial:

Es un tema de pinturas en desarrollo en el ámbito mundial sobre el que se han logrado alentadores avances en los últimos años. Son sistemas basados en una resina formadora de película y resinas de siliconas, que impiden el desarrollo del bicho y la fijación de bivalvos.

4. Pinturas de disolución por abrasión a base de óxido de tributilestaño:

El tributilestaño (TBT) y el óxido de tributilestaño (TBTO) han sido considerados como los agentes antifouling más eficaces que se han desarrollado pero también resultan ser los más tóxicos para el medio marino. Los exigentes estándares internacionales prohíben la aplicación de pinturas a base de estaño y es por ello que desde 1980 esta pintura ha dejado de ser usada.

5. Pinturas de disolución por abrasión libres de óxido de tributilestaño:

A partir de la entrada en vigor de la resolución que prohibía el uso de estos compuestos organoestánicos y que actuaban como biocidas, cualquier pintura de disolución por abrasión dejaba de contener TBT's entre sus componentes

3. MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente capítulo a fin de proporcionar una visión integrada de los materiales y los métodos, se incluye una descripción conjunta de los mismos.

3.1. Localización del lugar de muestreo

El estudio fue realizado en la costa de Villajoyosa (Alicante, España) (Figura 12), aproximadamente a 10 km al suroeste de Benidorm y a 34 km al nordeste de Alicante (España), distando 1,8 millas aproximadamente de la costa de Villajoyosa en las coordenadas $38^{\circ} 29' 54,0937''\text{N}$, $00^{\circ} 11' 59,7121''\text{W}$, sobre una profundidad de 35m de lecho marino del Mediterráneo Occidental.



Figura 12. Zona de estudio.

El periodo experimental se llevó a cabo en la granja marina Gramamed S.L. empresa dedicada al engorde de dorada (*Sparus aurata*), lubina (*Dicentrarchus labrax*) y corvina (*Argyrosomus regius*), con una producción anual de 2.000 tm. En la Figura 13 se puede observar una vista aérea de la instalación.



Figura 13. Vista aérea de la instalación.

El fondo de la granja está compuesto por cieno y fango horizontal. Las jaulas de engorde (Figura 14) tienen un diámetro de 25 m y disponen de dos tubos centrales de 350 mm (Quintas y Quintas S.L., España) con un tubo anticorriente a -10 m del mismo tamaño que los anteriores pero con un lastre interior, a éste tubo se le amarran unos cabos de 8 mm que cazan la red para evitar que se mueva por la corriente (Figura 165). Un mayor fouling en las redes implica un efecto pantalla mayor y la red se desplazará en mayor medida perdiendo volumen y forma (Figura 176, Figura 17, Figura 18).



Figura 14. Jaulas de engorde (superficie).



Figura 15. Jaula de engorde (parte sumergida).



Figura 16. Cambio de una red de 25 m colmatada.

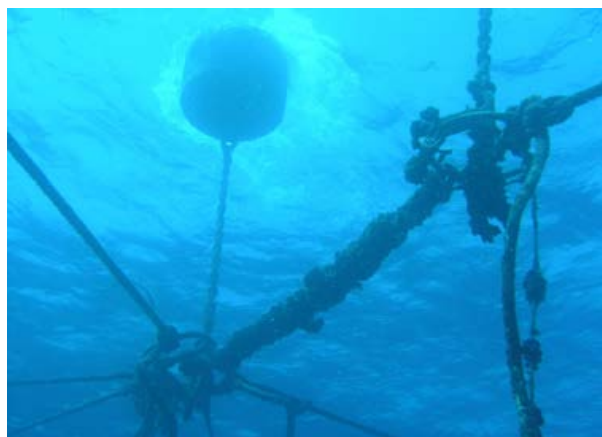


Figura 17. Entramado SUR donde se realizó parte de la prueba.



Figura 18. Cable donde se colocaron parte de los paños.

3.2. Periodo experimental

El periodo experimental de exposición de las placas en el mar abarcó desde diciembre de 2013 hasta diciembre de 2014. Después de ello, continuo el trabajo de laboratorio y de tratamiento de la información.

3.3. Análisis de los parámetros oceanográficos

3.3.1. Temperatura y Oxígeno disuelto

La temperatura y el oxígeno disuelto se midieron in situ diariamente mediante un oxímetro dotado de sensor térmico y de una sonda de 50 m (YSI-58, YSI Inc., EEUU) suministrado por Valenciana Acuicultura.

3.3.2. Salinidad

La salinidad se determinó diariamente in situ mediante un multímetro que permite la medición de salinidad, conductividad y temperatura (YSI-33 S-C-T, YSI Inc., EEUU) suministrado por la Universidad de Alicante.

3.3.3. Clorofila

El procedimiento empleado para la determinación de clorofila constó de dos fases: extracción de pigmentos y determinación espectrofotométrica (Método 10200

H, *Standard Methods*). A continuación se calculó el Índice de Margalef que resulta de dividir las absorbancias a las longitudes de onda de 430 nm (en la que se absorben todos los pigmentos) y 663 nm (en que sólo absorbe la clorofila a), de este modo, dicho índice permite establecer el grado de eutrofia u oligotrofia de las aguas (eutrofia < 2,4 < oligotrofia). Las muestras de agua se tomaron mediante una botella hidrográfica modelo Nisskin suministrada por la Universidad de Alicante.

3.3.4. Turbidez

La turbidez se determinó diariamente a partir de la transparencia de las aguas, medida según la profundidad que desaparece a la visión el disco de Secchi (propio).

3.3.5. Corrientes

La zona de estudio se encuentra sometida a regulares corrientes superficiales de NE de 0.1 nudo a 0,15 nudos, con máximos de 1 nudo NNE. Las corrientes fueron monitorizadas por un correntómetro monopunto (RCM-7, Aanderaa Instruments, Noruega).

3.3.6. Análisis de los epibiontes

Los epibiontes se analizaron por inspección ocular, empleando una lupa binocular (SMZ 1000, Nikon Instrumentes, España) prestada por el departamento de Ciencias del Mar de la Universidad de Alicante. Los organismos se identificaron hasta el grupo taxonómico inferior posible y se anotó el número de éstos como índice de presencia. En el caso de las algas se anotó su presencia en porcentaje de cobertura (Boudouresque, 1971).

3.4. Diseño experimental

3.4.1. Puesta en marcha

Durante los días 21, 22, 23 del mes de diciembre de 2013 se colocaron en los cuatros puntos cardinales de la piscifactoría 48 paneles fabricados de material de polietileno con medidas de 20 x 20 cm y 0,5 cm de grosor. Se utilizó polietileno ya

que se trata del mismo material con el que se fabrican los tubos de flotación de las jaulas marinas y de este modo las sucesiones ecológicas a lo largo del estudio se podrían considerar representativas del proceso que realmente ocurre en los tubos de flotación de las jaulas marinas empleadas actualmente en las instalaciones piscícolas.

Así, los 48 paneles depositados en cada punto cardinal (N, S, E, O) estaban situados la mitad de ellos (24 paneles) a 3 metros de profundidad y la otra mitad a 15 metros de profundidad, de tal manera que se pudiera comparar cómo varían las sucesiones ecológicas y las especies de biofouling con respecto a la mayor presencia de luz e hidrodinamismo (3 metros) en comparación a la zona esciáfila y de menos hidrodinamismo (15 metros).

Como además se estudia la repercusión de una pintura antifouling comercial sobre los procesos de colonización, se trató en los cuatros puntos cardinales con pintura antifouling a 12 de las 24 placas que estaban a 3 metros de profundidad, y la mitad de las placas que estaban a 15 metros de profundidad también fueron tratadas. La pintura aplicada pertenece al grupo de pinturas de matriz insoluble, denominadas también como pinturas de lixiviación por contacto continuo o sistemas de larga vida útil. En este caso, el componente resinoso es insoluble y no sufre efecto erosivo por parte del agua circulante. La pintura usada es el modelo Netwax NL 3, basada en una emulsión de cera a la que se ha agregado Óxido de Cobre al 3%.

Por lo tanto, se dejaron 48 placas por cada punto cardinal, es decir 192 placas totales en la instalación. En la Figura 19 se localizan los puntos cardinales en la instalación objeto de estudio. Las placas establecidas en el punto cardinal Sur se identificaron con números de la 1 a la 48. Las placas de la zona Oeste se numeraron desde la 49 a la 96. Las de la zona Norte desde 97 a 144 y, por último, las placas de la zona Este desde 145 a 192. Cada una se identifica convenientemente, tal y como se detalla más adelante.

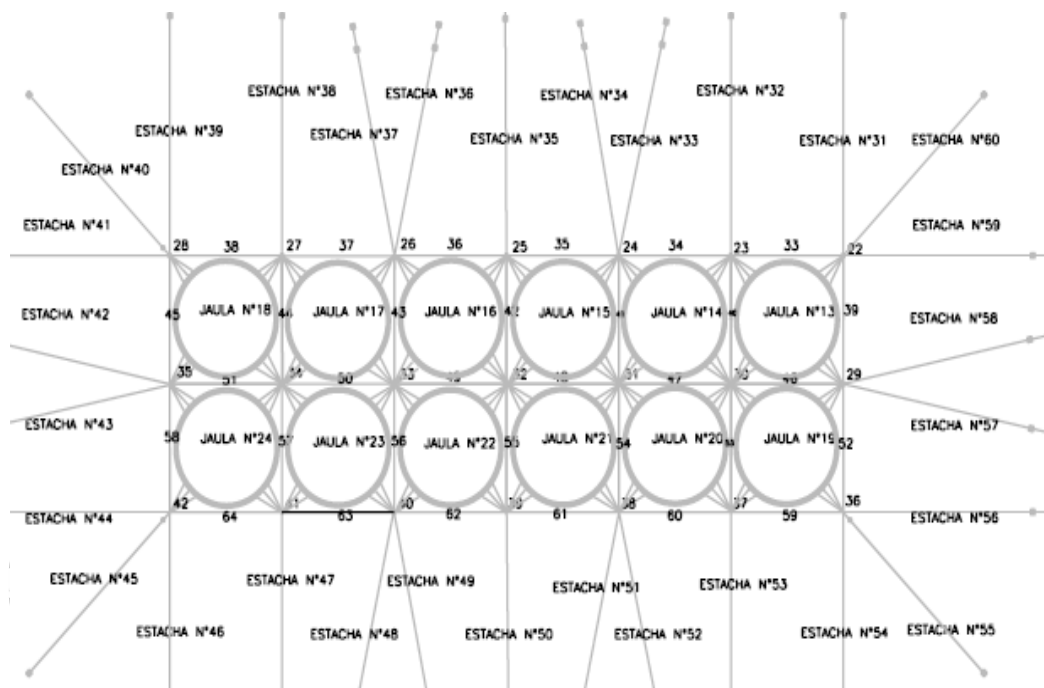
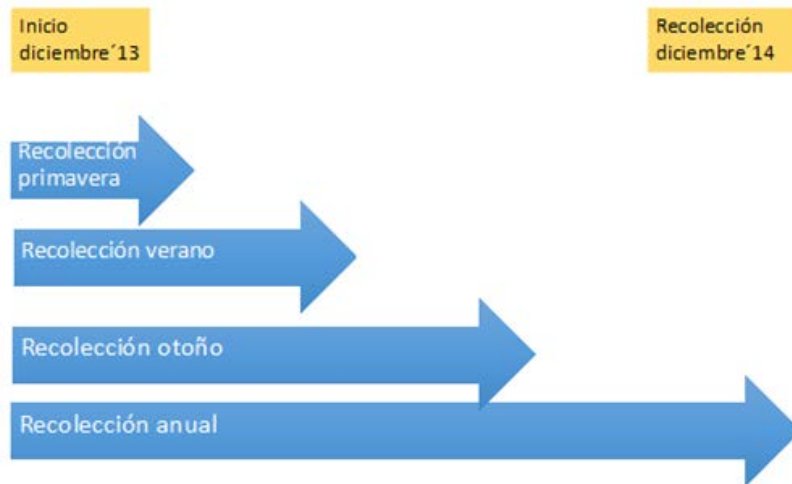


Figura 19. Esquema de la distribución de las placas objeto de estudio en la instalación piscícola.

Para conocer la evolución de la colonización con el transcurso del tiempo, se colocaron en cada uno de los cuatros puntos cardinales 12 placas durante todo un año. Al conjunto de estas 48 placas se denominó “anual”, ya que se recogieron en diciembre del año 2014, exactamente un año después de empezada la prueba.

Otras 12 placas por punto cardinal (otras 48 placas en total) se recogieron en la primera semana de primavera, llamándose estas placas “primavera”. Asimismo, otras 48 se recogieron en la primera semana de verano, denominándose a estas placas “verano” y, finalmente, las restantes 48 placas se recogieron en la primera semana de otoño llamándose placas “otoño”.

Esta cronología seguida en la recogida de las muestras se explica ya que



unos de los principales objetivos de este estudio era comparar los paneles en el tiempo, para estudiar los epibiontes según las estaciones del año. Se esquematiza la cronología de recogida de muestras en la Figura 20.

Figura 20. Cronología de recogida de muestras.

En resumen, se dispusieron 4 conjuntos de 48 placas cada uno en 4 puntos diferentes de la granja piscícola (Norte, Sur, Este y Oeste). Cada uno de estos conjuntos se dividió a su vez en dos subgrupos de 24 placas, uno de los subgrupos se dispuso a 3 m de profundidad y el otro a 15 m. A su vez, cada subgrupo de 24 placas se dividió en dos unidades de 12 placas cada una. Una de estas unidades tenía pintura antifouling y la otra no. A continuación, se resume esta distribución en

las figuras Figura 21, Figura 22,

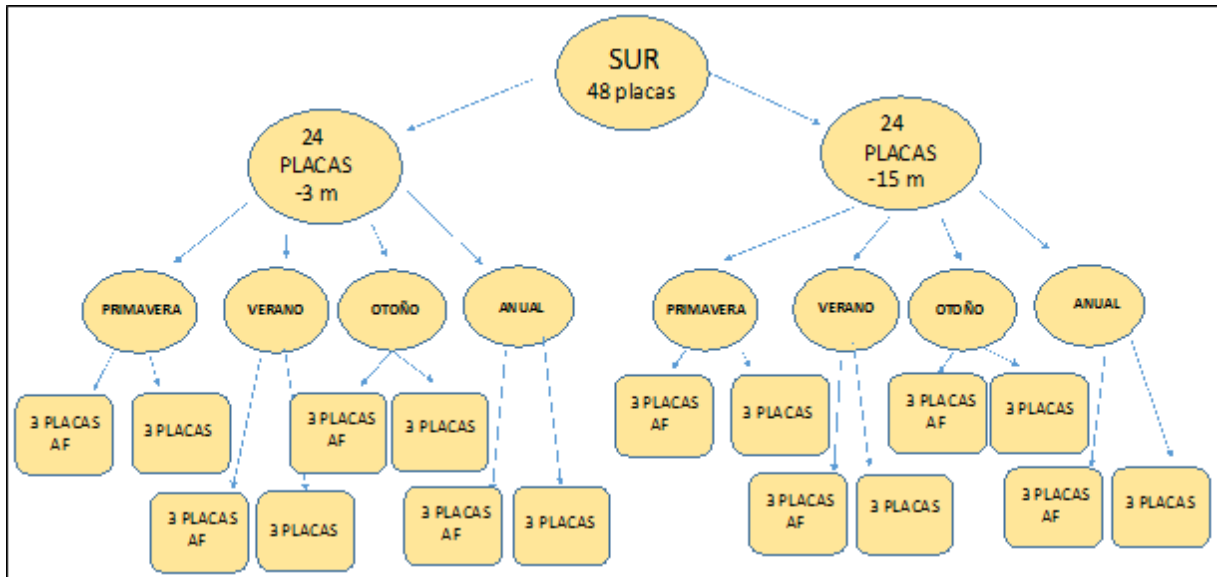


Figura 23 y

Figura 24.

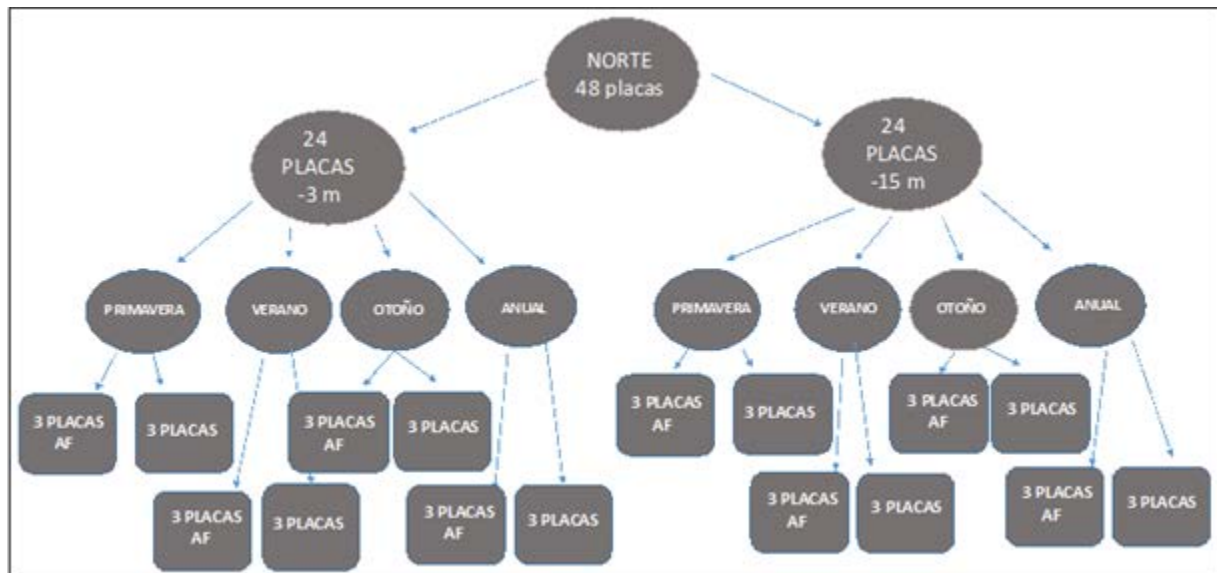


Figura 21. Esquema de la distribución y organización de las placas en el Norte de la instalación piscícola. AF=antifouling.

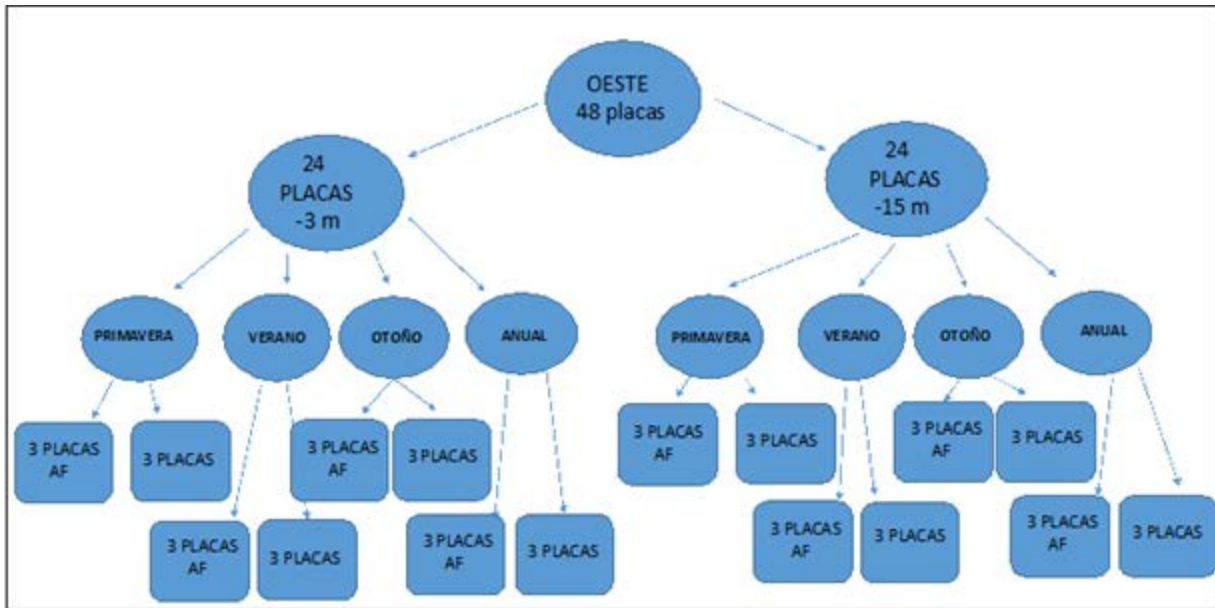


Figura 22. Esquema de la distribución y organización de las placas en el Oeste de la instalación piscícola. AF=antifouling.

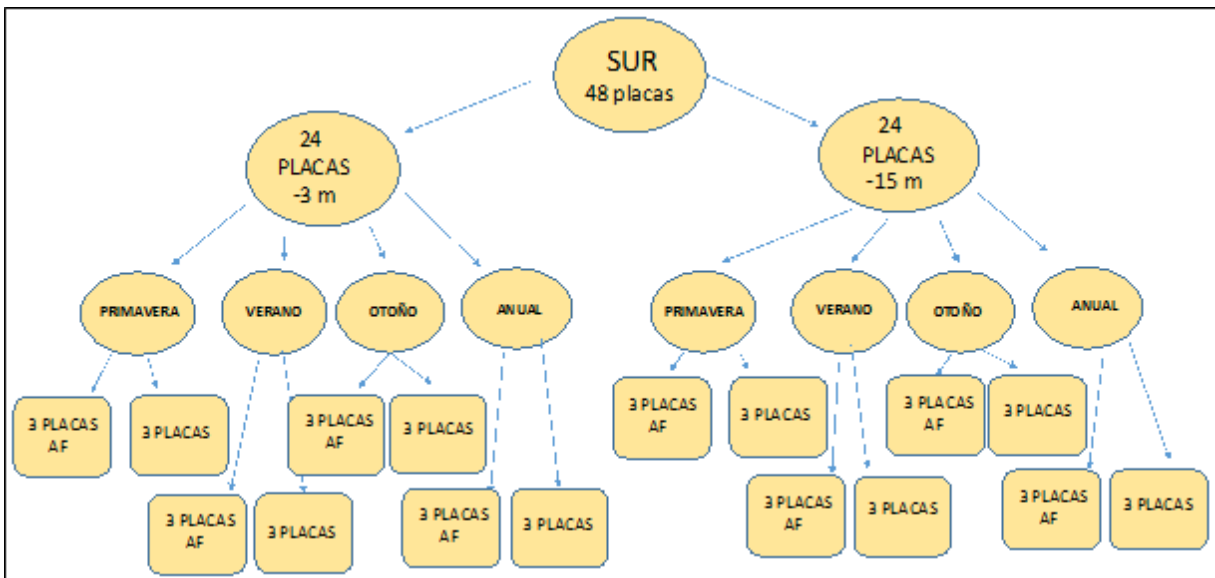


Figura 23. Esquema de la distribución y organización de las placas en el Sur de la instalación piscícola. AF=antifouling.

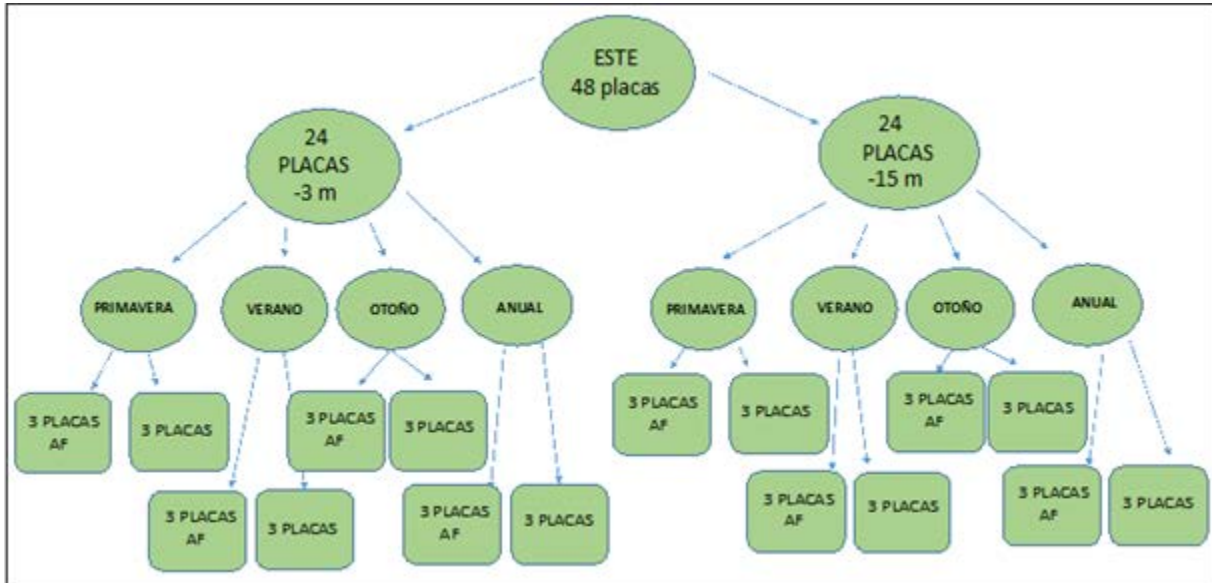


Figura 24. Esquema de la distribución y organización de las placas en el Este de la instalación piscícola. AF=antifouling.

3.4.2. Seguimiento

A lo largo de todo el desarrollo experimental de esta Tesis doctoral se realizó una inmersión semanal para controlar que las muestras seguían bien colocadas y no había nada que distorsionara o pudieran afectar a las muestras (roturas por animales, temporales, etc.).

3.4.3. Adquisición de datos

Los paneles se recogieron en las fechas previamente comentadas, a principios de cada estación del año 2014, los paneles sin pintura (muestra y controles) y los paneles con antifouling, se introdujeron cuidadosamente en bolsas de plástico y se cerraron con bridas estableciendo en cada bolsa una numeración específica para su correcta identificación. Una vez en el laboratorio se obtuvieron por raspado los organismos y se introdujeron en botes con formol al 10%, analizándose posteriormente las muestras.

Respecto a la identificación de las muestras, para facilitar el trabajo ulterior estadístico, las 192 muestras se clasificaron según la zona (Sur, Norte, Este, Oeste),

tratamiento o no, profundidad (3 metros, 15 metros), recolección (anual, primavera, verano, otoño). La identificación de cada una de las 192 placas se detalla en las tablas a,b,c,d del Anejo.

Así pues, y como ejemplo, la muestra número 2 es una placa control de la zona S (Sur), que estaba colocada a 3 metros de profundidad no teniendo ésta tratamiento antifouling y que fue recogida en un periodo anual.

3.4.4. Tratamiento estadístico de los datos

Las técnicas estadísticas utilizadas para el tratamiento de los datos recopilados han sido: por una parte análisis de componentes principales y, por otro lado, varios análisis de la varianza. El análisis de componentes principales (Jobson, 1992 y Peña 2002) se realizó para sintetizar relaciones entre diferentes especies de epibiontes (*Elasmopus pocillimanus* (Bate, 1862), *Jassa marmorata* Holmes, 1905, *Caprella liparotensis* Haller, 1879, *Ceramium ciliatum* (J. Ellis) Ducluzeau, 1806, *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 y *Bryopsis dúplex* De Notaris, 1844) y diversos factores ambientales (estación, tratamiento, profundidad y zona) de un modo descriptivo global. En los ANOVA (Montgomery, 1991; Kutner *et al.*, 2005) se tomaron en consideración 3 factores (tratamiento, zona y profundidad) y se realizaron por separado para cada una de las estaciones. El análisis estadístico se ha realizado por épocas del año debido a que este factor, "Estación", es determinante en las sucesiones ecológicas, siendo los demás factores muy importantes, condicionantes, pero no determinantes como lo es la época del año (Whomersley y Pickens, 2003).

Dentro de las variables aparecen dos grandes grupos: epibiontes animales y epibiontes algales. No se toma en consideración la estación de primavera en ningún tratamiento estadístico al no haberse encontrado ningún epibionte en dicha época del año. Para realizar los análisis de la Varianza se empleó el programa Statgraphics Centurión XVI.II (Statpoint Technologies Inc.). Los Análisis de Componentes Principales se realizaron empleando el programa ProMV 15.02.

Se pasa a continuación a describir los tipos de análisis estadísticos realizados en esta Tesis.

3.4.4.1. Análisis de Componentes Principales

Un problema de elevada importancia en el análisis de datos cuantitativos multivariantes es la reducción de la dimensionalidad; esta reducción supone describir, con un notable grado de precisión, los valores de p variables por un subconjunto de r ($r < p$) de ellas, con una pérdida de información lo menor posible. Cuanto mayor es la dependencia, o correlación, entre las p variables originales, mayor será la reducción de dimensionalidad que puede obtenerse.

El análisis de componentes principales es una técnica descriptiva (no inferencial) que se aplica con esta finalidad: obtener un número más reducido de variables, incorrelacionadas entre sí, que se denominan componentes y que se constituyen como combinaciones lineales de las variables originales, en nuestro caso 7.

Componente principal r para la observación i :

$$C_{ri} = a_{r1} X_{i1} + a_{r2} X_{i2} + \dots + a_{rp} X_{ip}$$

donde :

a_{r1}, \dots, a_{rp} representan los pesos de cada variable original p en cada componente r

X_{i1}, \dots, X_{ip} representan los valores de la observación i en cada variable original p

Cada componente explica una parte de la varianza total (suma de varianzas entre observaciones para todas las variables originales), considerada ésta como una manera de valorar la información total de la tabla de datos. Si se consigue encontrar pocas componentes (r), capaces de explicar una parte importante de la varianza total entre observaciones, podrán sustituir a las variables originales en la interpretación.

La técnica de componentes principales (orientada, como se acaba de indicar, a explicar la mayor proporción de varianza de las variables primitivas mediante la menor cantidad posible de componentes), fue desarrollada por Hotelling en 1933, aunque sus orígenes se encuentran en los ajustes ortogonales introducidos por Karl Pearson en 1901. La utilidad de la técnica para este trabajo puede resumirse en dos puntos fundamentales:

- Permite representar óptimamente en un espacio de pequeña dimensión n observaciones de un espacio general p -dimensional. Ese espacio de dimensión reducida ($r < p$) se obtiene de modo que al proyectar las observaciones (o individuos) sobre él, conserven su estructura con la menor distorsión posible; o, equivalentemente, de modo que se conserven lo mejor posible las distancias relativas entre individuos.
- Permite también transformar las variables originales, con mayor o menor grado de dependencia entre sí, en nuevas variables (componentes) incorrelacionadas, facilitando de este modo la interpretación de los datos.

La mayor dificultad en la interpretación de las componentes estriba en la necesidad de que tengan sentido y midan algo útil en el contexto del problema o fenómeno estudiado. Por ello, para dicha interpretación, es indispensable considerar el peso que cada variable original X_p tiene dentro de cada componente C_r , así como las correlaciones existentes entre variables y componentes.

La interpretación de las componentes principales se favorece representando las proyecciones de las observaciones sobre un espacio bidimensional (plano), definido por distintas parejas de las componentes principales más importantes. Los dos ejes de cada plano representan las dos componentes consideradas; cada punto i sobre el plano representa un individuo, cuyas coordenadas son los valores de las dos componentes (combinaciones lineales C_{ri} de las variables originales X_{ip} para el individuo i).

Por otra parte, teniendo en cuenta que las componentes principales se obtienen maximizando la varianza de la representación de las observaciones en el espacio reducido, las variables originales que presenten una mayor varianza provocarán un aumento en el peso de esa variable en las distintas componentes.

Este hecho ocasiona un problema importante cuando se aborda un análisis de componentes principales en el que, como sucede habitualmente, las unidades o escalas de medida de las variables son distintas: los pesos de las variables originales en las componentes dependerán de sus escalas de medida. El modo de

evitar este problema es estandarizar las variables (dividir las por su desviación típica) antes de calcular las componentes, de manera que las magnitudes de los valores numéricos de las variables originales sean similares; al análisis realizado sobre las variables transformadas de este modo se le conoce con el nombre de análisis de componentes principales normado.

3.4.4.2. Análisis de la Varianza (ANOVA)

El análisis de la varianza (ANOVA) es un procedimiento estadístico inferencial, desarrollado hacia 1930 por R.A. Fisher cuando trabajaba en la estación de investigación agraria de Rothamsted en Inglaterra, que permite estimar el efecto que una o más variables explicativas (factores) tienen sobre el valor medio de una variable respuesta. El modelo de ANOVA utilizado en esta Tesis es el denominado de efectos fijos. En éste, los niveles o variantes de los factores se fijan de antemano y se está interesado específicamente en ellos mientras que la variable respuesta es una variable aleatoria de naturaleza cuantitativa.

Dado que las mediciones realizadas sobre los epibiontes animales son datos de conteo (no continuos) es recomendable, para esas variables (*Elasmopus pocillimanus*, *Jassa marmorata*, *Caprella liparotensis* y *Mytilus galloprovincialis*), la aplicación de la transformación raíz cuadrada previa a la realización del ANOVA. La transformación tiene por objeto lograr una mayor concordancia entre los datos y las hipótesis de normalidad y homocedasticidad en las que se basan las conclusiones del ANOVA.

Hablar de la influencia de uno o varios factores sobre la variable dependiente es equivalente a hablar de la diferencia significativa entre las medias de la variable respuesta en los diferentes niveles o variantes de cada factor.

La técnica del ANOVA descompone la variabilidad total observada en los datos, en suma de componentes de variabilidad asociada a los factores, más la componente de variabilidad residual, con la que después se compararán las primeras a través de un contraste F-Snedecor.

Si el contraste F resulta estadísticamente significativo (se acepta la hipótesis de que el factor afecta el valor medio poblacional de la respuesta o, equivalentemente, existe al menos un nivel o variante del factor en estudio para el que la media poblacional de la variable respuesta es diferente que en el resto), habrá que estudiar entre cuáles de los niveles existen diferencia; existen al respecto diversos métodos: Tukey, Duncan, Scheffé, etc. En esta Tesis se ha empleado el método de Tukey, que permite una representación gráfica de los intervalos HSD (*Honestly Significant Difference*) para la media de cada tratamiento. La diferencia entre las medias de dos tratamientos será estadísticamente significativa (asumiendo un riesgo de 1ª especie preestablecido, normalmente del 5%) si los respectivos intervalos HSD no se solapan. La representación gráfica de estos intervalos HSD facilita la comparación visual de las medias de los tratamientos dos a dos. Conviene recordar que el intervalo HSD asociado a la media de un tratamiento no es equivalente al intervalo de confianza para la media poblacional correspondiente a ese tratamiento, ya que no se pretende realizar una estimación de dicha media poblacional, sino comparar la media de ese tratamiento con la de los otros tratamientos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis descriptivo multivariante

Se realiza un primer análisis descriptivo de los datos, apoyándose en la técnica multivariante del Análisis de Componentes Principales, con el fin de sintetizar las relaciones de las variables (presencia cuantitativa de las especies: *Elamospus pocillimanus*, *Jassa marmorata*, *Caprella liparotensis*, *Ceramium ciliatum*, *Mytilus galloprovincialis*, *Bryopsis duplex* y *Jania Rubens*) (Figura 25) entre sí, así como las relaciones entre esas variables y los factores de interés en el estudio (estación, tratamiento, profundidad y zona). Dado que en la estación de primavera no se recogieron epibiontes en las placas se descarta dicha estación en este análisis.

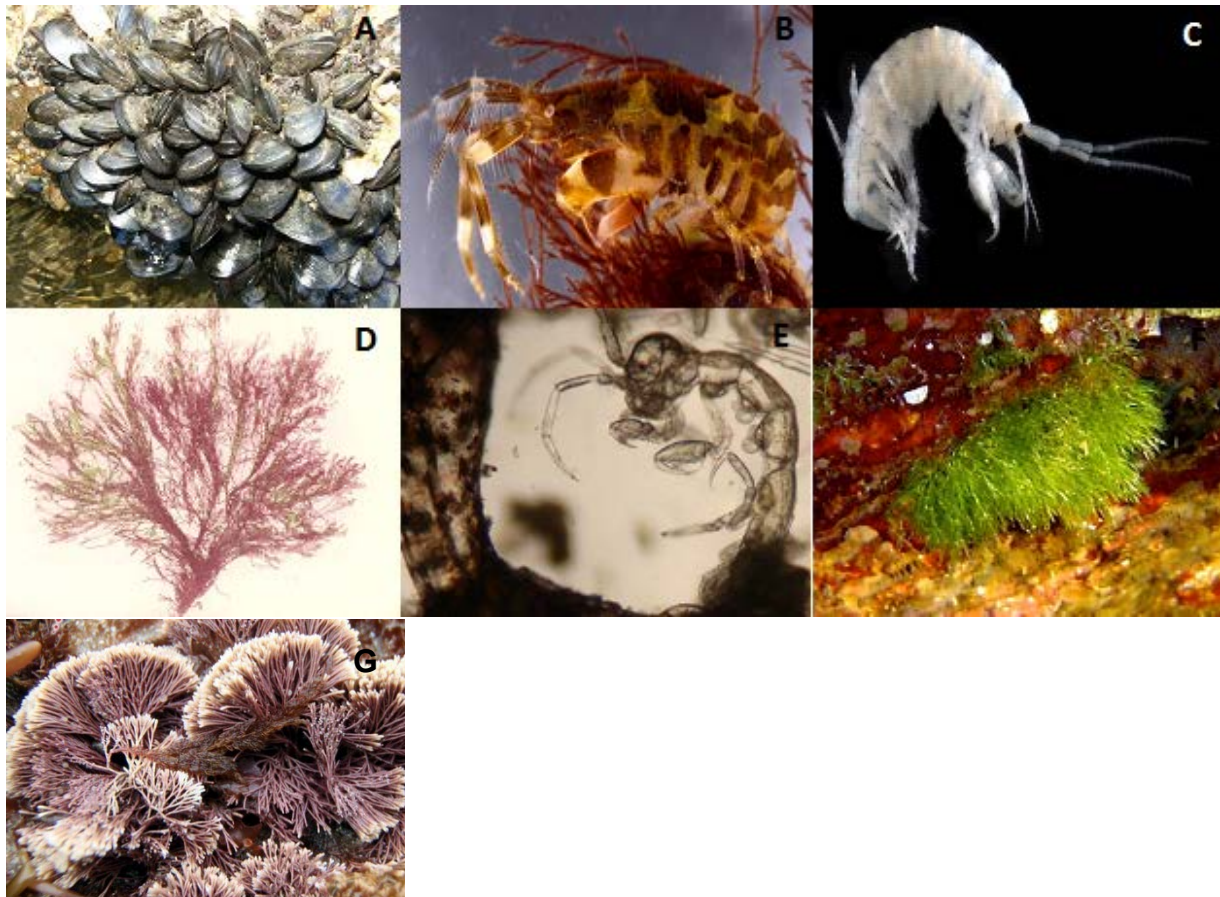


Figura 25. Especies determinadas para el Análisis de Componentes Principales. A) *Mytilus galloprovincialis*, B) *Jassa marmorata*, C) *Elamospus pocillimanus*, D) *Ceramium ciliatum*, E) *Caprella liparotensis*, F) *Bryopsis duplex*, G) *Jania rubens*.

En el análisis se han obtenido tres componentes principales que explican el 62%, el 16,7% y el 10,2%, respectivamente, de la inercia total de las variables estudiadas. Entre las tres componentes extraídas, que se pasan a comentar a continuación, alcanzan un 89% de dicha inercia total.

En la Figura 26 se observan los pesos de las distintas variables en las tres componentes extraídas del Análisis de Componentes Principales.

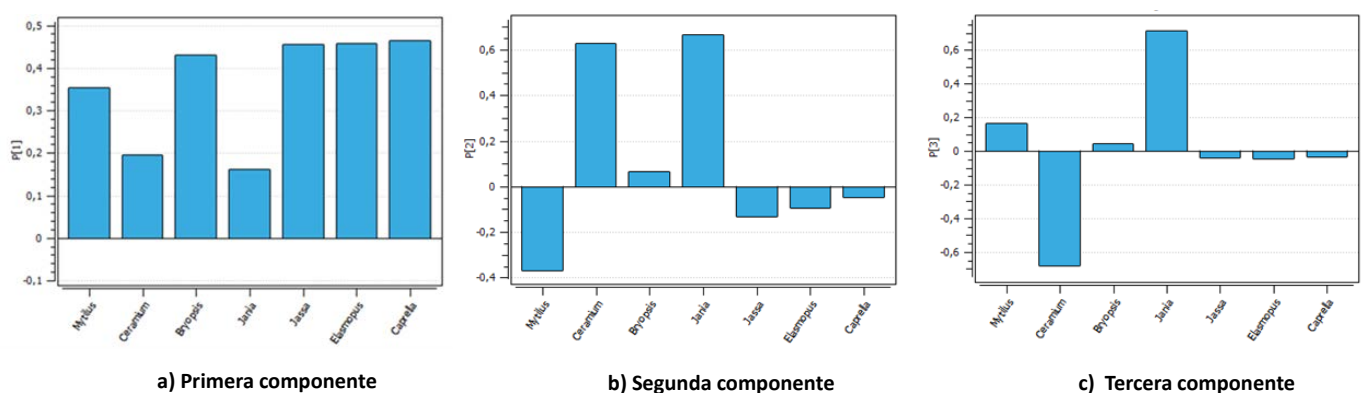


Figura 26. Peso de las variables en las tres primeras componentes del Análisis de Componentes Principales. a) Primera componente, b) Segunda componente, c) Tercera componente.

Así, en la Figura 26a puede observarse el peso positivo de todas las especies en la primera componente, aunque *Ceramium ciliatum* y *Jania rubens* toman un peso sensiblemente inferior a los demás. Se trata de la típica componente de “tamaño” indicadora de la cantidad global de fouling.

En la segunda componente (Figura 26b) el peso recae fundamentalmente sobre *Ceramium ciliatum* y *Jania rubens*, de modo que las observaciones con mayor cantidad de estas dos especies tendrán un valor elevado en esa componente.

En la tercera componente (Figura 26c) estas dos especies toman pesos opuestos, por lo que las observaciones con mayores valores en esa componente indicarán que tienen mayor ratio *Jania/Ceramium*.

Por otro lado, en la Figura 27 se presentan los gráficos “biplot” sobre los planos de las componentes 1-2 (Figura 27a) y 1-3 (Figura 27b). En ellos los pesos de las variables (puntos en el gráfico) vienen determinados por las escalas horizontal superior y vertical derecha, mientras que los valores de las componentes (triángulos en el gráfico) en cada una de las observaciones, se leen en las escalas horizontal inferior y vertical izquierda.

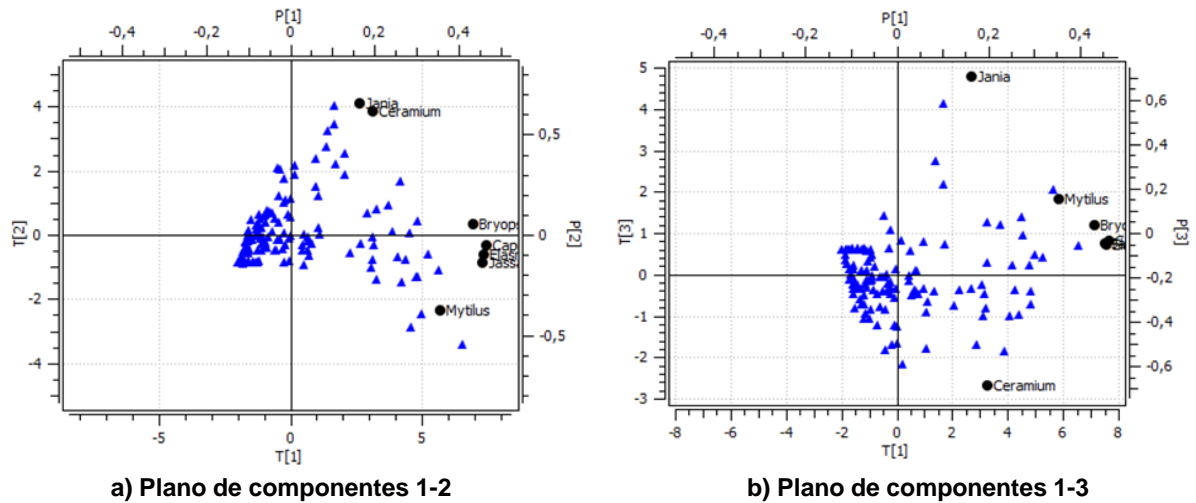


Figura 27. Gráfico “biplot” de variables y observaciones en los planos de componentes 1-2 y 1-3

Con el fin de relacionar las variables con los factores se ha procedido a representar las observaciones de las componentes 1 vs 2 y 1 vs 3 con distinta codificación de colores para los distintos factores. En la Figura 28 aparecen en el plano de las componentes 1 y 2 la identificación de colores para los 4 factores en estudio en otras tantas representaciones. Del mismo modo, en la Figura 29 se asocian los diferentes factores a distintos colores en el plano de los componentes 1 y 3.

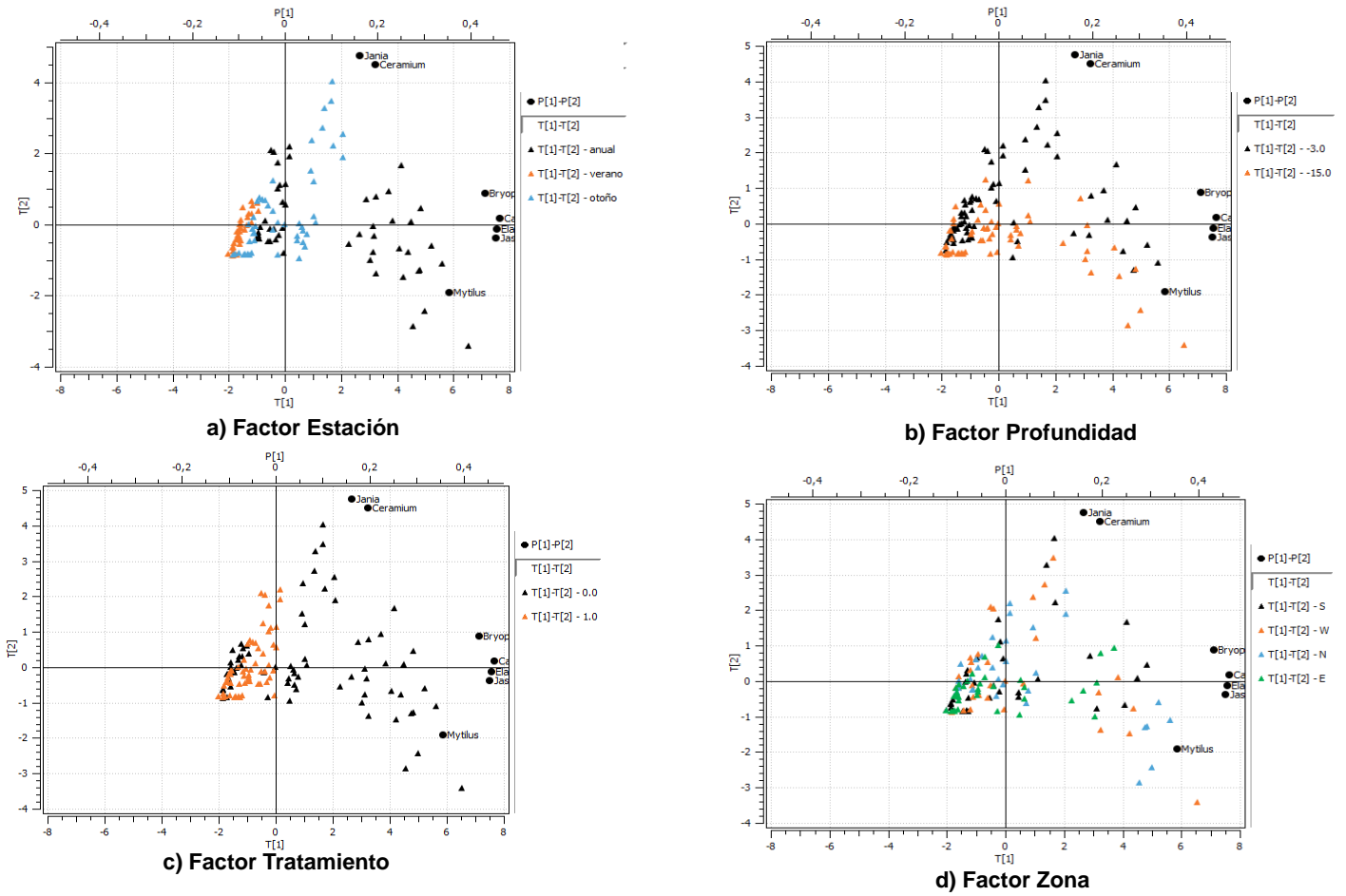


Figura 28. Gráfico “biplot” de variables y observaciones en el plano de las componentes 1-2, con separación de colores para los distintos niveles de los factores estudiados.

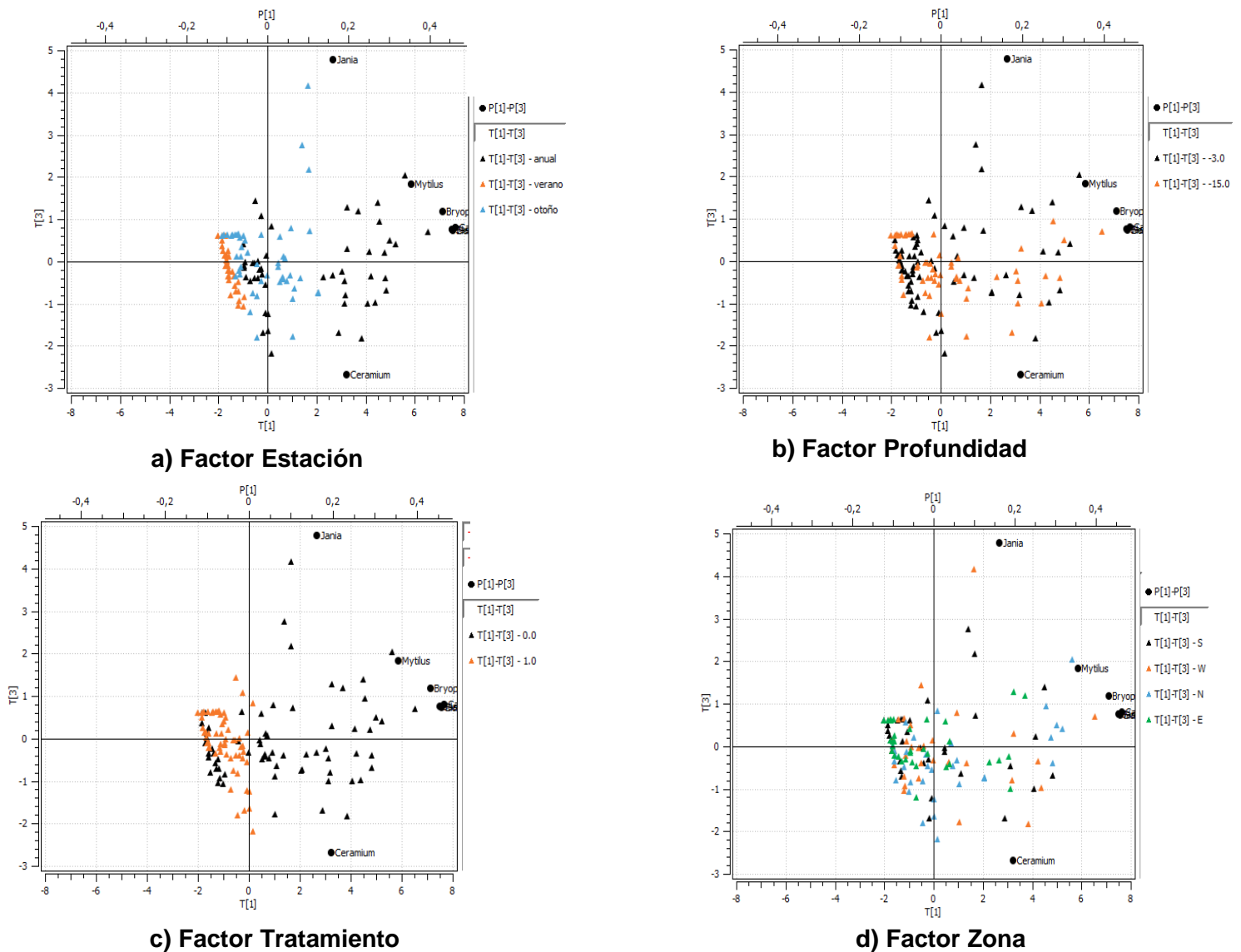


Figura 29. Gráfico “biplot” de variables y observaciones en el plano de las componentes 1-3, con separación de colores para los distintos niveles de los factores estudiados.

De estas figuras se desprende la siguiente información:

- 1) En el gráfico 28a puede observarse un claro gradiente de menor a mayor biofouling; siendo verano donde menos y anual donde más. Ello indica que la permanencia en el agua nos da mayor recubrimiento, no habiendo por tanto especies competitivas limitantes de la abundancia de epibiontes.
- 2) Tanto en anual como en otoño (Figuras 28a y 28c) se observa un claro efecto inhibitor del tratamiento. En anual hay una disminución por el tratamiento

fundamentalmente en *Bryopsis duplex*, *Caprella liparotensis*, *Elasmopus pocillimanus* y *Jassa marmorata*, no siendo tan sensible en *Jania rubens* y *Ceramium ciliatum*. En otoño, el efecto del tratamiento se traduce tanto en la disminución de las especies citadas como de *Jania* y *Ceramium*; estas especies aparecen, sobre todo, cuando no hay tratamiento antifouling, en otoño y a 3 metros de profundidad que es donde más irradiación e hidrodinamismo existe. El efecto antifouling no parece distinto según profundidad en anual.

- 3) La zona no parece relacionada con ninguna componente principal.
- 4) En anual con tratamiento aparece menos fouling que en otoño sin tratamiento (Figuras 28a y 28c).
- 5) Lo que sí parece ser es que *Ceramium* y *Jania* están presentes en mayor medida (tanto con tratamiento antifouling como sin éste) a profundidad de 3 metros; a profundidad de 15 metros parece que aumente la presencia de *Mytilus galloprovincialis* (Figuras 28b y 28c).
- 6) En el plano componente 1 vs componente 3, como se observa en la figura 29, no extraemos ningún tipo de asociación entre las componentes y los factores. Los colores están muy mezclados sin indicar, por tanto, nada significativo en la representación de las observaciones. De todos modos, en la Figura 29b parece intuirse que a 15 metros de profundidad el ratio *Ceramium/Jania* es algo más favorable que a 3 metros.

4.2. Estudio del efecto de los factores sobre la presencia de epibiontes: Análisis de la Varianza.

Una vez realizado el estudio descriptivo de Análisis de Componentes Principales se analizan en este apartado las posibles influencias de los factores Profundidad, Tratamiento y Zona sobre las sucesiones ecológicas acontecidas en cada una de las estaciones mediante la técnica estadística de Análisis de Varianza. Primeramente, se abordará el análisis especie a especie para determinar sus comportamientos particulares en cada estación estudiada. Posteriormente, y una vez estudiados los tres períodos por separado, comentaremos los aspectos distintos entre esos periodos estacionales en lo que se refiere a la influencia de los factores sobre el crecimiento de las distintas especies.

Se pasa a continuación a describir los ANOVA realizados de manera cronológica: verano, otoño y anual.

4.2.1. Análisis de la Varianza para la estación de verano

Se estudian en este apartado especie a especie las sucesiones ecológicas acontecidas en la estación de verano, es decir, que han llevado en el agua toda la estación de invierno y la estación de primavera. No se hará referencia a las especies *Jania rubens* ni *Mytilus galloprovincialis* al no encontrarse ningún individuo de estas dos especies en la estación de verano.

4.2.1.1. ANOVA para la especie *Elasmopus pocillimanus* en la estación de verano.

Se estudia primeramente al epibionte *Elasmopus pocillimanus*, concretamente el efecto que sobre él ejercen los 3 factores asociados a la muestra recogida en verano: Tratamiento (presencia o ausencia de pintura antifouling), Profundidad y Zona.

Como se observa en la Tabla 3, no se detecta ningún tipo de interacción entre los tres factores, lo que nos indica que el efecto simple de cualquier factor no es dependiente del nivel considerado en los otros.

Tabla 3. Tabla de ANOVA para la especie *Elasmopus pocillimanus* en la estación de verano.

FUENTE DE VARIACIÓN	suma cuadrado	GL	cuadrado medio	estadis-F	p-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Profundidad	11,1441	1	11,1441	12,75	0,0011
B:Tratamiento	2,23067	1	2,23067	2,55	0,1191
C:Zona	10,1952	3	3,3984	3,89	0,0169
INTERACCIONES					
AB	0,408896	1	0,408896	0,47	0,4985
AC	0,990795	3	0,330265	0,38	0,7695
BC	6,50441	3	2,16814	2,48	0,0771
RESIDUAL	30,591	35	0,874029		
TOTAL	62,0651	47			

En cuanto a los efectos simples, existen efectos altamente significativos (p -valores muy bajos) de los factores Profundidad y Zona; sin embargo, el Tratamiento no muestra efecto significativo sobre la cantidad del epibionte *Elasmopus pocillimanus* encontrado en verano.

En la Figura 30 se puede observar cómo la presencia del epibionte es superior en la zona Norte frente a las tres zonas restantes; los intervalos de Tukey de comparación de medias están muy claramente solapados en esas tres zonas. Esa mayor presencia en el Norte pudiera ser debido al mayor aporte de nutrientes de la corriente constante y del cono de deyección.

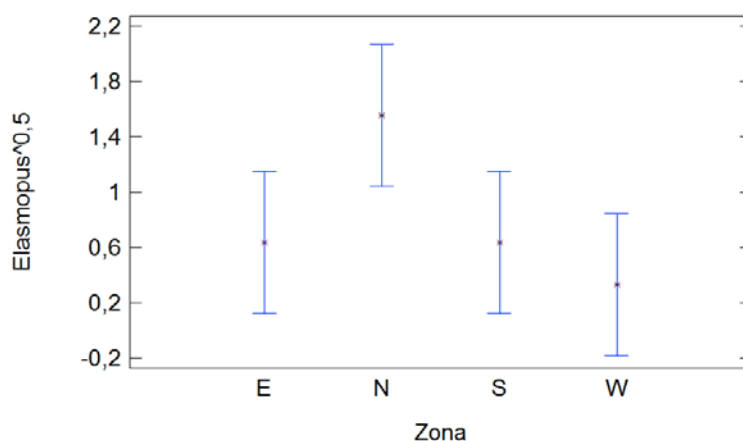


Figura 30. Gráfica de medias, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Elasmopus pocillimanus* según la zona considerada

En la Tabla 4 que se adjunta a continuación se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95%, para los efectos significativos (Profundidad y Zona).

Tabla 4. Valores medios e intervalos de confianza al 95%(entre paréntesis) de presencia de *Elasmopus pocillimanus* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA de verano.

FACTORES	
PROFUNDIDAD	ZONA
3m : 1,61 (0,77-2,72)	E : 0,39 (0,01-1,39)
15m : 0,01 (0,00-0,47)	N : 2,40 (1,12 - 4,41)
	S : 0,39 (0,01 – 1,39)
	W: 0,10 (0,00 – 0,75)

4.2.1.2 ANOVA para la especie *Jassa marmorata* en la estación de verano.

En el caso de este epibionte, se observa una estructura de significación estadística similar a *Elasmopus pocillimanus* (Tabla 5): no aparecen interacciones entre factores, pero sí significación estadística en los efectos simples de dos de ellos.

Tabla 5. ANOVA para la especie *Jassa marmorata* en la estación de verano

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis-F	p-Valor
EFFECTOS					
A:Zona	1,76744	3	0,589147	0,85	0,4759
B:Profundidad	90,111	1	90,111	130,05	0,0000
C:Tratamiento	60,8069	1	60,8069	87,76	0,0000
INTERACCIONES					
AB	3,66372	3	1,22124	1,76	0,1723
AC	1,34359	3	0,447863	0,65	0,5905
BC	0,414499	1	0,414499	0,60	0,4445
RESIDUAL	24,251	35	0,692886		
TOTAL	182,358	47			

La diferencia con respecto a *Elasmopus pocillimanus*, es que en *Jassa marmorata* no hay evidencia de influencia de la Zona sobre la cantidad de epibionte, siendo más ubicua esta especie, al menos en este periodo. En *Jassa marmorata* sí que resulta muy significativo el tratamiento antifouling en la estación de verano, siendo más sensible a la pintura que la especie anteriormente mencionada.

En la Tabla 6 se especifican los valores medios encontrados para cada nivel de los dos factores significativos (Tratamiento y Profundidad) en el conteo del epibionte; se especifican también en la tabla los correspondientes intervalos de confianza al 95%.

Se observa una presencia más importante de *Jassa marmorata* en profundidades menores debido a la mayor irradiación y temperatura y sin presencia de pintura antifouling ya que ,como antes se ha mencionado, la especie parece ser muy sensible a la pintura .

Tabla 6. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de presencia de *Jassa marmorata* para los niveles de los factores en significación estadística en el ANOVA de verano

FACTORES	
TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD
0 (no): 13,76 (11,28-16,40)	3 m : 15,60 (13,03-18,49)
1 (si) : 2,13 (1,23- 3,24)	15 m: 1,46 (0,75-2,25)

4.2.1.3 ANOVA para la especie *Caprella liparotensis* en la estación de verano.

En el análisis del epibionte *Caprella liparotensis* (Tabla 7) se detecta elevada significación estadística, tanto en los efectos simples como en su interacción, en los factores Tratamiento y Profundidad. El factor Zona no presenta efecto alguno sobre la presencia de este epibionte, igual que ocurría en *Jassa marmorata*, y a diferencia de lo que acaecía en *Elasmopus pocillimanus*.

Tabla 7. Tabla de ANOVA para la especie *Caprella liparotensis* en la estación de verano.

FUENTES DE VARIACIÓN	suma cuadrados	GL	cuadro medio	Estadis-F	p-Valor
EFECTOS					
A:Profundidad	60,1934	1	60,1934	81,19	0,0000
B:Tratamiento	62,697	1	62,697	84,57	0,0000
C:Zona	3,25263	3	1,08421	1,46	0,2416
INTERACIONES					
AB	8,89748	1	8,89748	12,00	0,0014
AC	3,93357	3	1,31119	1,77	0,1711
BC	1,90234	3	0,634114	0,86	0,4733
RESIDUAL	25,9485	35	0,741387		
TOTAL	166,825	47			

En la Figura 31 que se adjunta a continuación puede verse el porqué de la significación estadística en la interacción

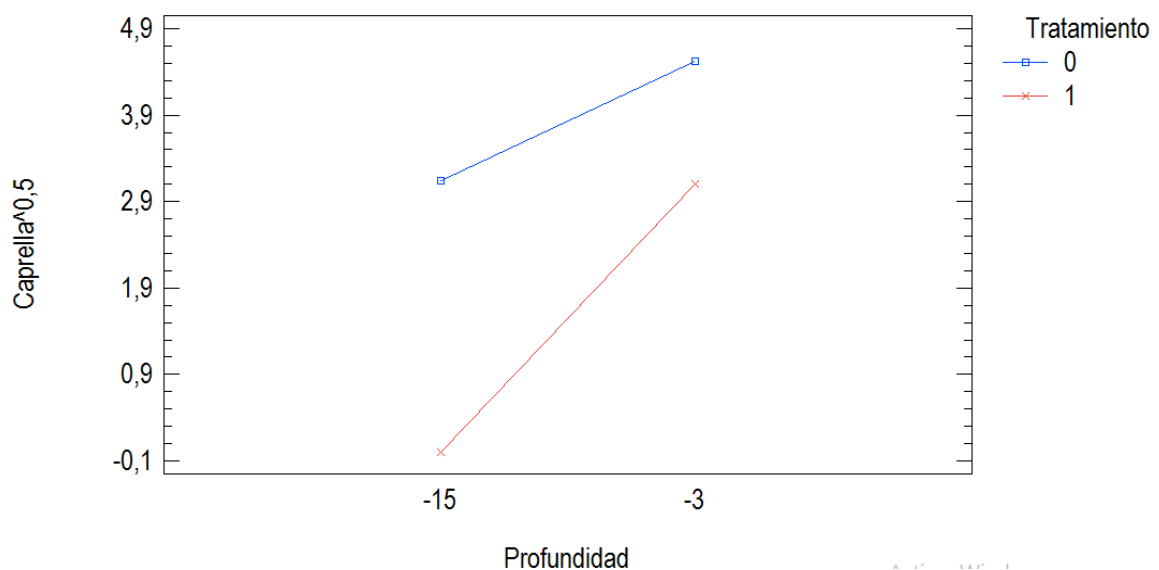


Figura 31. Gráfica de interacción de Profundidad x Tratamiento para la especie *Caprella liparotensis* en la estación de verano.

Se observa cómo el tratamiento antifouling consigue disminuir de modo importante la presencia del epibionte, pero además resulta claro que esa disminución es mucho más importante cuando la profundidad es más elevada. Ello es

probablemente debido a que a mayores profundidades, la presión colonizadora es menor y, por lo tanto, la pintura antifouling es más efectiva.

En la Tabla 8 se presentan los valores medios, junto con sus intervalos de confianza al 95%, para el número de epibiontes de *Caprella liparotensis* en cada una de las situaciones procedentes del cruce entre los factores simples de Tratamiento y Profundidad.

Tabla 8. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de presencia de la especie *Caprella liparotensis* para las combinaciones derivadas de los factores con significación estadística.

FACTORES		
TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	VALOR MEDIO (IC 95%)
0 (No)	15 m	9,61 (6,96 – 13,32)
1 (Si)	15 m	0,0 (-0,25 – 0,25)
0 (No)	3 m	20,43 (16,16 – 25,30)
1 (Si)	3 m	9,61 (6,70 – 12,96)

Como se puede apreciar en la tabla, la utilización de pintura antifouling es muy eficaz para impedir la proliferación del epibionte, exhibiendo valores medios de presencia de *Caprella liparotensis* diez unidades inferiores que en las muestras no tratadas. Se aprecia una presencia más significativa de *Caprella liparotensis* en profundidades menores debido a la mayor irradiación y temperatura, y quizá también al mayor hidrodinamismo. Cuando en una zona encontramos especies como *Caprella liparotensis*, podemos estar seguros de que se trata de una zona de aguas limpias, oxigenadas, con valores altos de hidrodinamismo y niveles bajos de materia orgánica y sólidos en suspensión. Estas especies son muy sensibles a la contaminación orgánica y a la falta de oxígeno y desaparecen en zonas perturbadas por la acción del hombre (Guerra-García, 2001). Esto nos indica que la zona de trabajo no está siendo una zona de perturbación ambiental ni de gran contaminación.

4.2.1.4 ANOVA para la especie *Ceramium ciliatum* en la estación de verano.

Se exponen a continuación los datos extraídos para el epibionte *Ceramium ciliatum* con respecto a la Zona de la granja, a la Profundidad y a la presencia o ausencia de Tratamiento en la muestra recogida en verano. Los valores, al ser un alga, se muestran en porcentaje medio de recubrimiento.

Como se observa en la Tabla 9 ,existe un efecto simple de la Zona sobre la cantidad del epibionte *Ceramium*, como ocurría con *Elasmopus pocillimanus ciliatum* (aunque en este caso interacciona significativamente con el factor Tratamiento), pero al contrario de lo que ocurría en los dos anteriores epibiontes: *Caprella liparotensis* y *Jassa marmorata*. Existe también un efecto simple altamente significativo de los otros dos factores en estudio: Profundidad y Zona.

Tabla 9. Tabla de ANOVA para la especie *Ceramium ciliatum* en la estación de verano.

FUENTES	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p-Valor
EFFECTOS					
A:Profundidad	0,0256687	1	0,0256687	56,25	0,0000
B:Tratamiento	0,0315188	1	0,0315188	69,06	0,0000
C:Zona	0,00907292	3	0,00302431	6,63	0,0012
INTERACCIONES					
AB	0,00001875	1	0,00001875	0,04	0,8405
AC	0,00162292	3	0,000540972	1,19	0,3294
BC	0,00560625	3	0,00186875	4,09	0,0136
RESIDUAL	0,0159729	35	0,000456369		
TOTAL	0,0894812	47			

En la Tabla 10 observamos los diferentes valores de presencia de la especie *Ceramium ciliatum* para los efectos de Profundidad y Tratamiento. Se comprueba cómo el Tratamiento reduce en promedio la presión colonizadora a un tercio aproximadamente, y como la cercanía a la superficie, con su mayor irradiación y temperatura logra presentar más epibiontes de la especie *Ceramium ciliatum*. Las zonas naturales para esta especie serían zonas de medio hidrodinamismo y luz (Varo y Ramírez, 1979) .

Tabla 10. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de recubrimiento de *Ceramium ciliatum* para los niveles de los factores Tratamiento y Profundidad en verano.

FACTORES	
PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO
15m: 2,62 % (1,7-3,5)	0 (No): 7,5(6,61-8,38)
3m: 7,25 %(6,64-8,13)	1 (Sí): 2,3(1,48-3,26)

La distribución del epibionte según la Zona se observa gráficamente en la Figura 32 y se detalla numéricamente en la Tabla 10.

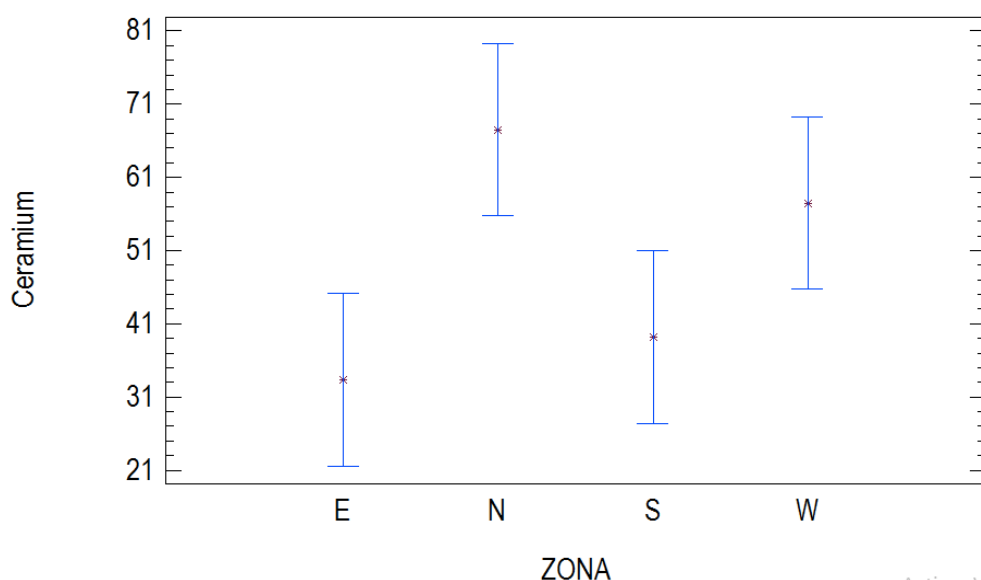


Figura 32. Gráfica de medias de recubrimiento, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Ceramium ciliatum* según la zona considerada, en la estación de verano.

Tal y como se aprecia en la Figura 31, la presencia de *Ceramium ciliatum* en verano es mayor en las zonas Norte y Oeste, y menor en las zonas Este y Sur. La razón puede radicar en que las zonas Este y Sur son las que están a barlocorriente.

En la Tabla 11 se presentan los valores medios, junto con sus intervalos de confianza al 95%, para cada situación procedente del cruce de niveles de Zona y Tratamiento

Tabla 11. Valores medios de recubrimiento en porcentaje e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Ceramium ciliatum* para las combinaciones derivadas de los factores Tratamiento y Zona.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	Valor medio (IC 95%)
E	0 (No)	4,16 % (2,39-5,93)
N	0(No)	10,50 % (8,72-12,27)
S	0(No)	6,50 % (4,72-8,27)
W	0(No)	8,83 % (7,06-10,60)
E	1(Sí)	2,50 % (0,72-4,20)
N	1(Sí)	3,00 % (1,22-4,77)
S	1(Sí)	1,33 % (0-3,10)
W	1(Sí)	2,66 % (0,89-4,43)

En la Figura 33 se representan gráficamente los valores medios de la tabla anterior; en esa representación se evidencia claramente el motivo por el que el análisis muestra significación estadística en la interacción Tratamiento x Zona. Puede observarse en la figura el distinto comportamiento de la zona Este frente al resto de zonas; así, el efecto del Tratamiento provoca un mayor descenso del recubrimiento del epibionte en las zonas Norte, Sur y Oeste que en la zona Este.

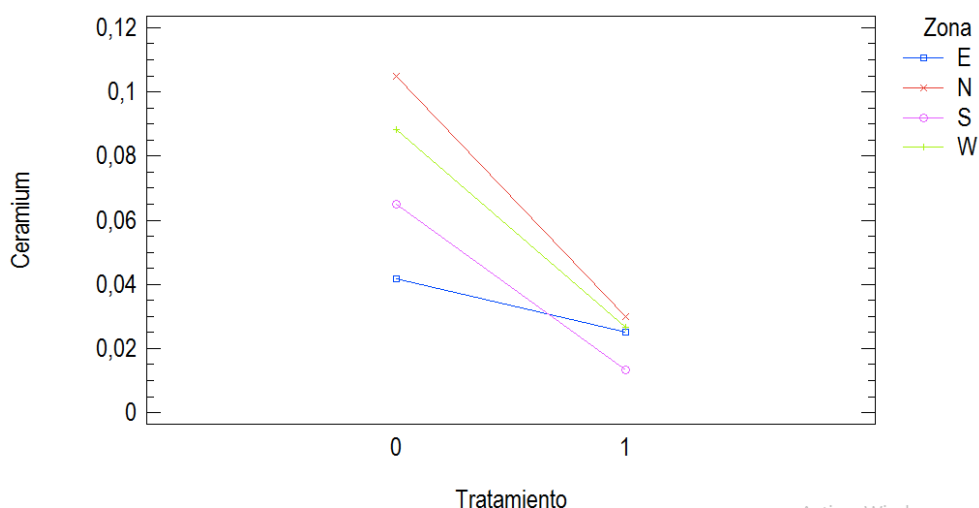


Figura 33. Gráfica de interacción de los efectos de Zona x Tratamiento para la especie *Ceramium ciliatum* en la estación de verano.

4.2.1.5 ANOVA para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de verano.

En el análisis del epibionte, tal y como se observa en la Tabla 12, se detecta interacción entre los factores Profundidad y Zona y Profundidad y Tratamiento. También se aprecian efectos simples muy significativos en los factores Tratamiento y Zona. No existe por tanto, una significación estadística en el efecto simple del factor Profundidad, pero sí en su interacción con los otros dos factores.

Tabla 12. Tabla de ANOVA para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de verano.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p-Valor
EFECTOS					
A:Profundidad	0,0256687	1	0,0256687	3,10	0,3286
B:Tratamiento	0,00826875	1	0,00826875	39,25	0,0000
C:Zona	0,00622292	3	0,00207431	9,85	0,0001
INTERACCIONES					
AB	0,00091875	1	0,00091875	4,36	0,0441
AC	0,00635625	3	0,00211875	10,06	0,0001
BC	0,000522917	3	0,000174306	0,83	0,4877
RESIDUAL	0,00737292	35	0,000210655		
TOTAL	0,0553312	47			

En la Figura 34 que se adjunta a continuación, puede observarse cómo, en promedio para las distintas profundidades, las Zonas Norte y Oeste presentan un mayor recubrimiento del epibionte. Las zonas Oeste y Norte son zonas de mayor aporte de nutrientes, y a mayor aporte de nutrientes, y por tanto de larvas colonizadoras, mayor es el número de epibiontes.

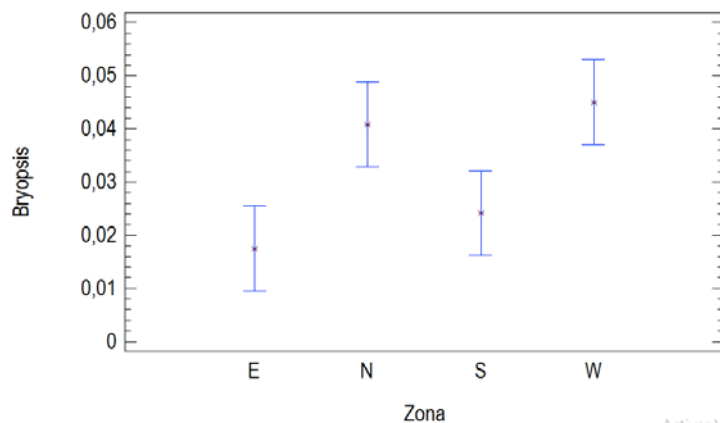
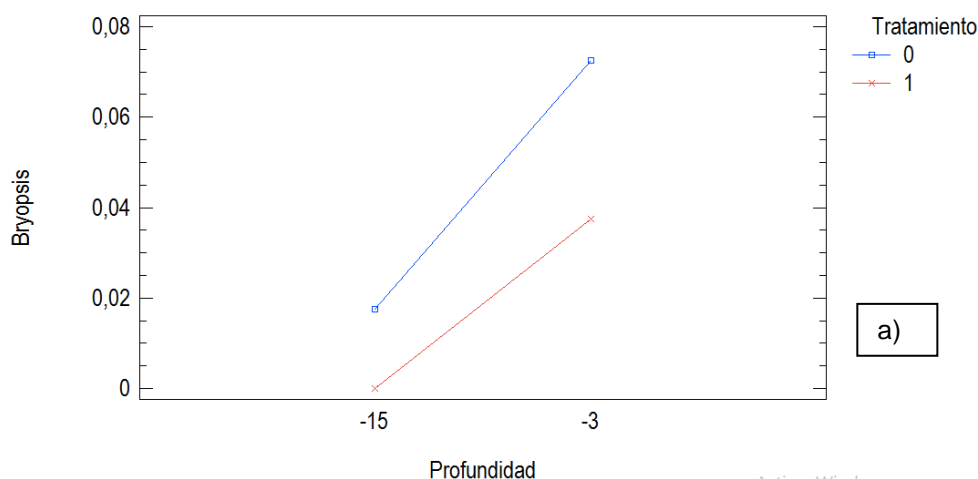


Figura 34. Gráfica de medias de recubrimiento, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Bryopsis duplex* según la zona considerada en la estación de verano

En la Tabla 13, se presentan los valores medios de recubrimiento, con sus intervalos de confianza al 95%, tanto para el efecto simple Zona como para el efecto simple Tratamiento.

Tabla 13. Valores medios de recubrimiento en porcentaje e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Bryopsis duplex* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA de verano.

FACTORES	
TRATAMIENTO	ZONA
0 (No) : 4,50 % (3,89-5,10)	E : 1,75 % (0,89-2,60)
1 (Sí) : 1,87 % (1,27-2,47)	N : 4,08 % (3,23-4,93)
	S : 2,41 % (1,56-3,26)
	W: 4,50 % (3,64-5,35)



En la Figura 35 se presentan las gráficas de interacción de Profundidad x Tratamiento y Profundidad x Zona.

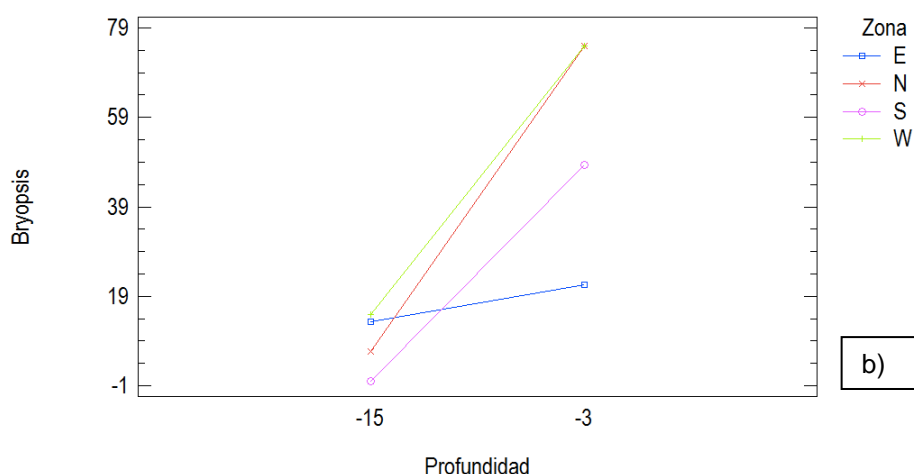


Figura 35. Gráficas de interacciones para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de verano: a) Profundidad x Tratamiento. b) Profundidad x Zona.

En la Figura 35a, puede comprobarse la eficacia del Tratamiento con pintura antifouling para detener el recubrimiento de *Bryopsis duplex* en cualquiera de las profundidades. Es interesante comprobar cómo hay más recubrimiento a menor profundidad con tratamiento que a mayor profundidad sin éste, lo que nos lleva a pensar que la profundidad es más determinante que el tratamiento para *Bryopsis duplex* en verano. A profundidades de 15 metros el antifouling es más determinante

que a 3 metros. De la figura se desprende también, al igual que pasaba con *Ceramium ciliatum*, que el efecto del Tratamiento es más acusado a baja profundidad.

De la Figura 35b puede concluirse que, independientemente de la zona, la presencia del epibionte *Bryopsis duplex* en verano es, en promedio, superior a profundidades de 3 metros que a 15 metros. En cualquier caso, el efecto de la profundidad es mucho menos marcado en la zona Este que en el resto de zonas.

En la Tabla 14 se presentan los valores medios de recubrimiento, junto con sus intervalos de confianza al 95%, para el epibionte *Bryopsis duplex* en cada una de las situaciones procedentes del cruce entre Profundidad y Tratamiento.

Tabla 14. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de recubrimiento de la especie *Bryopsis duplex* para las combinaciones derivadas de los factores Tratamiento y Profundidad en verano.

FACTORES		
PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	Valor medio (IC 95%)
15m	0 (No)	1,75 % (0,90 - 2,60)
15m	1(Sí)	0 % (-0,85 - 0,85)
3m	0(No)	7,25 % (6,39 - 8,10)
3m	1(Sí)	3,75 % (2,89 - 4,60)

En la Tabla 15 se presentan los valores medios de recubrimiento en % de cobertura colonizada, junto con sus intervalos de confianza al 95%, en cada una de las situaciones procedentes del cruce entre Profundidad y Zona.

Tabla 15. Valores medios e intervalos de confianza (entre paréntesis) de cobertura en porcentaje de la especie *Bryopsis duplex* para las combinaciones derivadas de los factores Profundidad y Zona para verano

FACTORES		
ZONA	PROFUNDIDAD	Valor medio (IC 95%)
E	15 m	1,33 % (0,13-2,50)
N	15 m	0,66 % (0-0,80)
S	15 m	0 % (-1,20-1,20)
W	15 m	1,5 % (0,29-2,70)
E	3 m	2,1 % (0,96-3,36)
N	3 m	7,5 % (6,29-8,70)
S	3 m	4,83 % (3,63-6,03)
W	3 m	7,5% (6,29-8,70)

De la tabla anterior se puede concluir que, independientemente de la zona, la presencia del epibionte *Bryopsis duplex* en verano es superior a profundidades de 3 metros que a 15 metros. En la zona Este ocurre igual que pasaba con *Ceramium ciliatum*: en esta zona el tratamiento antifouling no es tan efectivo como en las otras zonas, no se nota tampoco una diferencia de efectividad entre profundidades tan acusada como en el resto de las zonas.

4.2.1.6 Resumen de los análisis realizados sobre la presencia de epibiontes en la estación de verano.

Una vez estudiados los epibiontes individualmente en la estación de verano, se realizan unos comentarios globales sobre todas las especies analizadas.

Así, en la Tabla 16 se muestran los p -valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA para todas las especies consideradas en la muestra de verano. Los p-valores asociados a efectos significativos han sido resaltados en color rojo en la tabla.

Hay que indicar que en la tabla no aparecen las especies *Jania rubens* y *Mytilus galloprovincialis* al no haberse presentado en la estación de verano.

Tabla 16. P-valores de los efectos analizados en los ANOVA de las distintas especies, en la estación de verano. (Se representan en color rojo los p-valores asociados a efectos significativos)

	<i>Elasmopus</i>	<i>Jassa</i>	<i>Caprella</i>	<i>Ceramium</i>	<i>Bryopsis</i>
EFFECTOS					
A:PROFUNDIDAD	0,0011	0,4759	0,0000	0,0000	0,3286
B:TRATAMIENTO	0,1191	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C:ZONA	0,0169	0,0000	0,2416	0,0012	0,0001
INTERACCIONES					
AB	0,7695	0,5905	0,1711	0,3294	0,0001
AC	0,4985	0,1723	0,0014	0,8405	0,0441
BC	0,0771	0,4445	0,4733	0,0136	0,4877

En cuanto a las interacciones entre los tres factores estudiados (Tratamiento, Profundidad y Zona) se observa que no hay una interacción significativa fija, para las especies recogidas, entre los tres efectos en verano, es decir, una interacción repetitiva que afecte siempre a todos y cada uno de los epibiontes. Es de resaltar, que a la especie *Jassa marmorata* no le afecta la profundidad, en sus colonizaciones de verano (al contrario que a sus especies vecinas) lo que nos podría decir algo acerca de una independencia de esta especie para con sus epibiontes vecinos; no viene determinado su crecimiento al de los otros.

En la especie *Elasmopus pocillimanus* vemos que el tratamiento no le afecta en su colonización de verano, afectando en cambio al resto de epibiontes, lo cual puede darnos una idea de su fortaleza ante la pintura antifouling.

La granja, como se expuso en la introducción, está expuesta a corrientes predominantes y constantes de NE por lo que la zona Norte es la zona que más agua cargada de nutrientes recibe tanto de origen antrópico por la actividad industrial como de origen natural, lo que hace que esa zona tenga más aporte de larvas para fijarse, además de mayor cantidad de nutrientes para alimentarlos.

Por el contrario, la zona Sur, con la menor cantidad de aportes de materia orgánica debido a la corriente predominante, es la que menos crecimiento ha registrado, debido a la carencia de aportes de materia orgánica y larvas.

Sin embargo, y a pesar de todo lo anteriormente comentado, no se ve una zona determinante donde los epibiontes crezcan en mayor medida

Es una constante también que los epibiontes que han crecido en verano lo han hecho notablemente más a una profundidad de 3 metros que a 15 metros, con la excepción del alga *Bryopsis duplex*. Ello puede ser debido a que en la zona de 3 metros de profundidad hay una incidencia mayor de la insolación, lo que hace que las algas crezcan más y se desarrolle un mayor número de epibiontes sobre las mismas.

Atendiendo a la pintura antifouling, su uso siempre hace que aparezcan menos epibiontes, en todas las orientaciones y en todas las profundidades muestreadas, aunque, tal y como se ha dicho anteriormente, no afecta a *Elasmopus pocillimanus*.

En cuanto a la presencia de algas por zona, en la estación de verano se comprueba que es en el Norte donde tenemos los mayores porcentajes de recubrimiento, igual que ocurría anteriormente con los animales.

La insolación, debido a la orientación de la granja, es más importante en las muestras de Sur y Norte y es en la zona Norte, donde más corriente y horas de luz se recibe, donde más crecimientos de algas ha habido debido a todo ello, lo que hará que al tener un mayor sustrato de algas, las larvas se puedan desarrollar más que en las zonas con menos cobertura de algas. Se podría desprender también, que estas algas no son inhibidoras del crecimiento de los epibiontes animales, sino al contrario, la base de su desarrollo (Glasby y Connell, 2001).

4.2.2 Análisis de la Varianza para la estación de otoño.

Se estudian en este apartado, especie a especie, las sucesiones ecológicas acontecidas en la estación de otoño, es decir, que han llevado en el agua toda la

estación de invierno , la estación de primavera y verano. No se hará referencia a la especie *Mytilus galloprovincialis* al no encontrarse ningún individuo de esta especie en la estación de otoño.

4.2.2.1.ANOVA para la especie *Elasmopus pocillimanus* en la estación de otoño.

Se estudia primeramente al epibionte *Elasmopus pocillimanus* , concretamente el efecto que sobre él ejercen los 3 factores asociados a la muestra recogida en otoño: Tratamiento (presencia o ausencia de pintura antifouling), Profundidad y Zona.

En el presente apartado, tal y como se observa en la Tabla 17, se detecta una interacción entre los factores Profundidad y Zona. También se comprueba un efecto simple de la Zona y de Profundidad muy significativos sobre la cantidad del epibionte *Elasmopus pocillimanus*. Existe también un efecto simple muy significativo del Tratamiento, al contrario de lo que ocurría en verano.

Tabla 17. Tabla de ANOVA para la especie *Elasmopus pocillimanus* en la estación de otoño.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Profundidad	10,3642	1	10,3642	9,21	0,0045
B:Tratamiento	141,489	1	141,489	125,76	0,0000
C:Zona	38,4362	3	12,8121	11,39	0,0000
INTERACCIONES					
AB	1,85902	1	1,85902	1,65	0,2071
AC	17,8607	3	5,95355	5,29	0,0041
BC	4,01263	3	1,33754	1,19	0,3281
RESIDUAL	39,3775	35	1,12507		
TOTAL	253,399	47			

En la Figura 36 que se adjunta a continuación, extraemos que *Elasmopus pocillimanus* ha sido encontrado en la zona Norte con mayor número, zona ésta de sotacorriente, y por tanto, de llegada de nutrientes y larvas colonizadoras. (Mannino y Gianluca, (2008). La zona de Levante es, claramente, donde menos se recogen.

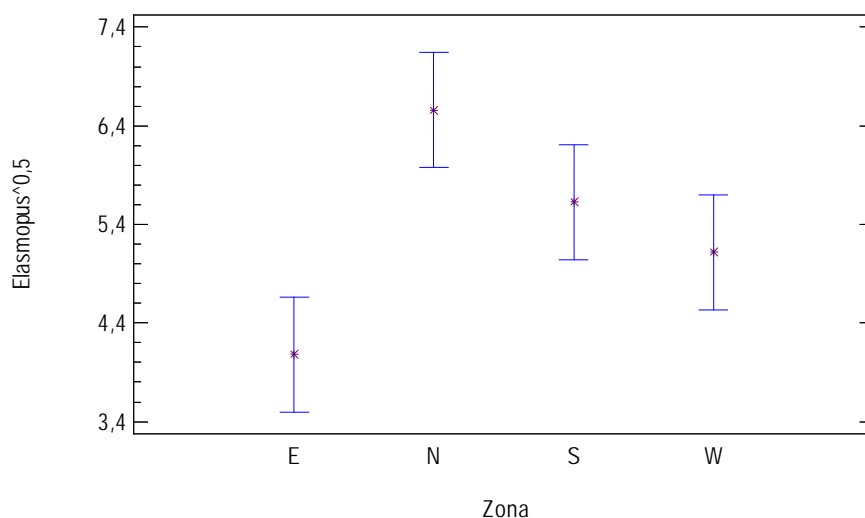


Figura 36. Gráfica de medias ,con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Elasmopus pocillimanus* según la zona considerada en otoño

A continuación, en la Tabla 18, se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95%, para los tres factores significativos (Zona, Tratamiento y Profundidad).

Tabla 18. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Elasmopus pocillimanus* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA en otoño.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD
E: 16,64 (11,97-22,09)	1 (Sí) : 13,17 (10,17-16,32)	3m: 33,75 (28,83-39,06)
N: 43,03 (35,15-51,55)	0 (No): 49,84 (43,82-56,25)	15m: 23,81 (19,71-28,30)
S: 31,58 (25-38,93)		
W: 26,11 (20,16-32,94)		

Como se puede extraer de la tabla anterior, el epibionte es más favorable en las zonas de menor profundidad y mayor irradiación que en las zonas más profundas, más frías. Las muestras sin tratamiento prácticamente cuadruplican en presencia del epibionte a las que sí contienen antifouling.

A continuación, explicamos en la Figura 37 la interacción con significación estadística que *Elasmopus pocillimanus* tiene en otoño: Profundidad x Zona. De ésta, se puede concluir que si bien en las zonas Norte, Sur y Oeste no hay diferencias significativas entre los dos niveles de profundidad, en la zona Este hay una clara caída de la presencia de *Elasmopus pocillimanus* a altas profundidades.

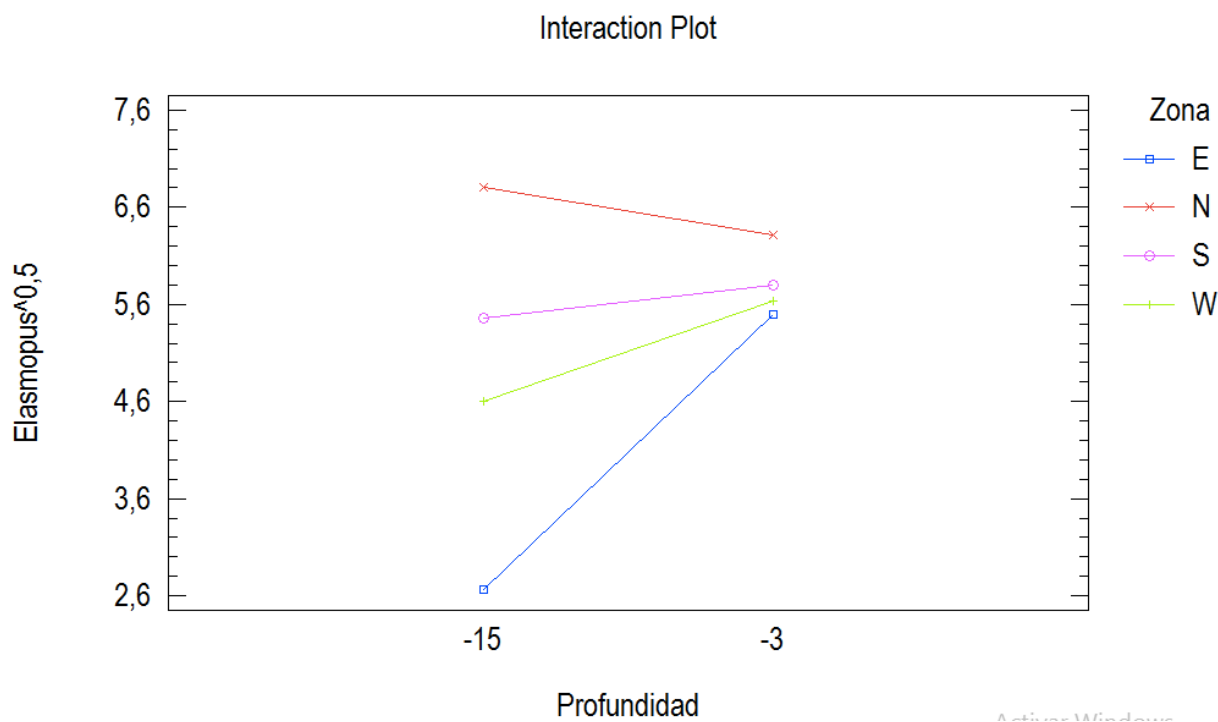


Figura 37. Gráfica de interacción de Profundidad x Zona para la especie *Elasmopus pocillimanus* en la estación de otoño.

Los valores correspondientes a las distintas situaciones procedentes del cruce entre los niveles de Profundidad y Zona se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores medios e intervalos de confianza al 95%(entre paréntesis) de presencia de la especie *Elasmopus pocillimanus* para las combinaciones derivadas de los factores Profundidad y Zona en otoño.

FACTORES		
PRODUNDIDAD	ZONA	Valor medio
15 m	E	7,07 (3,16-12,53)
15 m	N	46,24 (35,04-58,78)
15 m	S	29,70 (20,88-40,06)
15 m	W	21,16 (13,83-30,03)
3 m	E	30,14 (21,25-40,57)
3 m	N	39,81 (29,48-51,69)
3 m	S	33,52 (24,20-44,48)
3 m	W	31,69 (22,56-42,38)

4.2.2.2 ANOVA para la especie *Caprella liparotensis* en la estación de otoño.

En el análisis del epibionte *Caprella liparotensis* (Tabla 20) en otoño se detecta elevada significación estadística, al igual que en *Elasmopus pocillimanus*, tanto en los tres efectos simples como en la interacción de los factores Profundidad y Zona. Este epibionte tiene la misma interacción significativa que tuvo en verano.

Tabla 20. Tabla de ANOVA para la especies *Caprella liparotensis* en la estación de otoño

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Profundidad	16,6863	1	16,6863	8,47	0,0062
B:Tratamiento	466,198	1	466,198	236,56	0,0000
C:Zona	29,2899	3	9,76328	4,95	0,0057
INTERACCIONES					
AB	1,46601	1	1,46601	0,74	0,3943
AC	29,0341	3	9,67803	4,91	0,0060
BC	1,89993	3	0,633309	0,32	0,8099
RESIDUAL	68,9758	35	1,97074		
TOTAL	613,55	47			

En la Figura 38 que se representa a continuación se muestra la distribución por zona del epibionte.

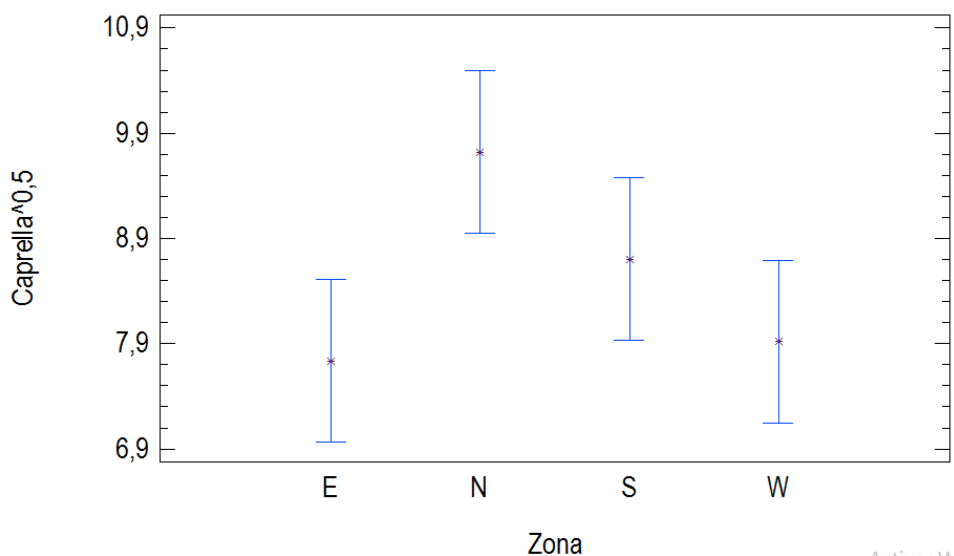


Figura 38. Gráfica de valores medios, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Caprella liparotensis* según la zona considerada en otoño

Tal y como se ve en la Figura 38 y en la posterior Tabla 21, en otoño, es en la zona Norte donde más *Caprella liparotensis* se puede encontrar, siendo la Zona Este donde menos, de igual manera que ocurría con el anterior epibionte. Las muestras que han sido tratadas han reducido en promedio su colonización por el epibionte en cuatro veces. La zona de 3 metros tiene ligeramente más cantidad de *Caprella liparotensis* que la zona más profunda.

En la tabla 21 que se adjunta a continuación, se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95% para los tres factores significativos (Zona, Tratamiento y Profundidad).

Tabla 21. Valores medios de recubrimiento e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Caprella liparotensis* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD
E: 59,754 (47,74-73,10)	1(Sí): 29,16 (23,23-35,76)	3m: 82,81 (72,59-93,89)
N: 94,28 (79,03-73,10)	0(No): 135,25 (122,10-149,08)	15m: 62,88 (53,87-72,42)
S: 75,69 (61,93-90,63)		
W: 62,72 (50,26-76,38)		

Se comenta a continuación la interacción con significación estadística para *Caprella liparotensis* en otoño: Profundidad y Zona.

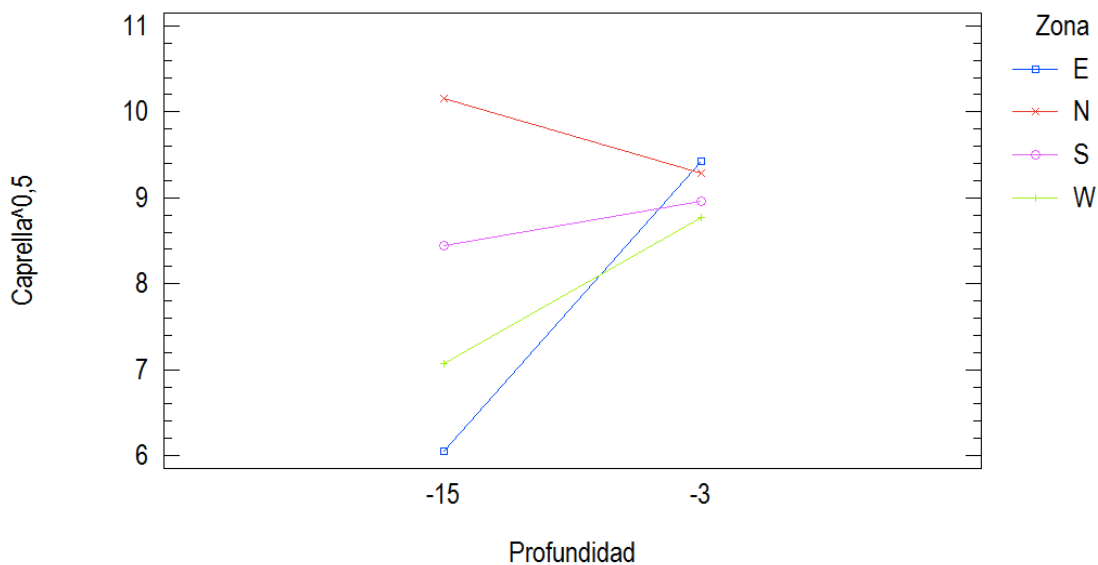


Figura 39. Gráfica de interacción de Profundidad x Zona para la especie *Caprella liparotensis* en la estación de otoño.

De la figura anterior se puede concluir que independientemente de la Zona, la presencia del epibionte *Caprella liparotensis* en otoño es superior a profundidades de

3 metros que a 15 metros, a excepción de la Zona Norte, donde se encuentra a mayor profundidad esta especie aunque sin mostrar diferencias significativas. En la zona Este apreciamos la mayor diferencia entre la cantidad de epibiontes encontrados entre las dos profundidades de estudio, al contrario de lo que ocurría con el anterior epibionte, *Elasmopus pocillimanus*. Este cambio en la zona Este es el único de los comentados que muestra significación estadística.

Los valores medios expresados en la anterior figura, junto con sus intervalos de confianza al 95%, se detallan en la Tabla 22.

Tabla 22. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Caprella liparotensis* para las combinaciones derivadas de los factores Profundidad y Zona.

FACTORES		
PROFUNDIDAD	ZONA	Valor medio
15	E	36,6 (23,92-51,98)
15	N	103,02 (80,82-127,91)
15	S	71,23 (52,85-92,16)
15	W	49,98 (34,81-67,73)
3	E	88,73 (68,06-111,93)
3	N	86,11 (65,93-108,99)
3	S	80,28 (60,68-102,41)
3	W	76,91 (57,60-98,60)

4.2.2.3 ANOVA para la especie *Jassa marmorata* en la estación de otoño

En el caso de este epibionte y tal y como se aprecia en la Tabla 23, no aparecen interacciones entre factores, al igual que ocurría con este epibionte en verano, pero sí significación estadística en los efectos simples de dos de ellos: Zona y Tratamiento, si bien en verano era el efecto de Profundidad el que no aparecía significativo. Tampoco había en esta especie interacciones significativas en la estación anterior.

Tabla 23. Tabla de ANOVA para la especie *Jassa marmorata* en la estación de otoño.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p- Valor
EFECTOS					
A:Zona	32,1751	3	10,725	11,62	0,0000
B:Profundidad	0,149895	1	0,149895	0,16	0,6894
C:Tratamiento	139,011	1	139,011	150,62	0,0000
INTERACCIONES					
AB	6,21367	3	2,07122	2,24	0,1004
AC	6,33343	3	2,11114	2,29	0,0956
BC	0,25707	1	0,25707	0,28	0,6010
RESIDUAL	32,3026	35	0,922931		
TOTAL	216,443	47			

Se expone a continuación la Figura 40, de la que extraemos que *Jassa marmorata* ha sido encontrado en la zona Norte con mayor número, zona ésta de sotacorriente, y por tanto, de llegada de nutrientes y larvas colonizadoras. La zona de Levante vuelve a ser la de menor recogida de epibiontes, aunque sin mostrar diferencias significativas con la zona Oeste.

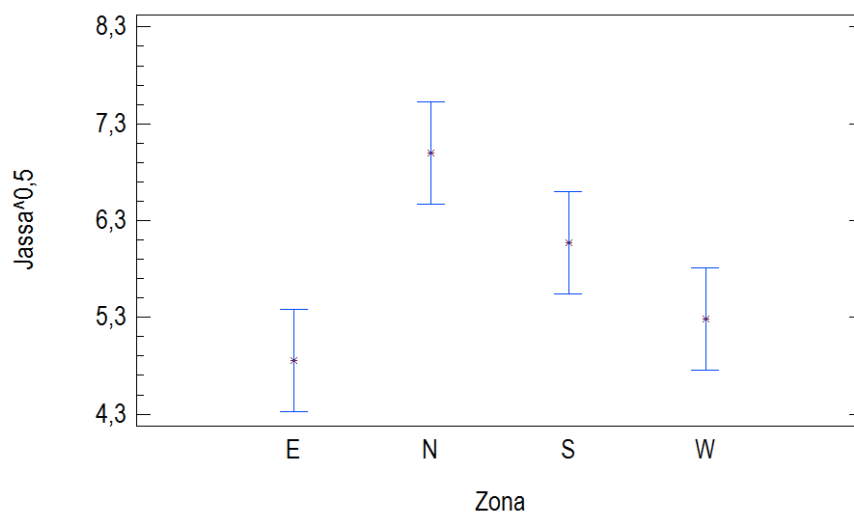


Figura 40. Gráfica de valores medios, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Jassa marmorata* según la zona considerada en otoño

En la Tabla 24 que se adjunta a continuación, se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95% para los dos factores significativos: Zona y Tratamiento .

Tabla 24. Valores medios de recubrimiento e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Elasmopus pocillimanus* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA de otoño.

FACTORES	
ZONA	TRATAMIENTO
E: 23,5 (18,31-29,26)	1 (Si) : 16,72 (13,69-20,16)
N: 49(41,34-57,15)	0 (No): 56,25 (50,41-62,41)
S: 36,72(30,25-43,95)	
W: 27,87(20,16-32,94)	

4.2.2.4 ANOVA para la especie *Ceramium ciliatum* en la estación de otoño.

Se estudia el alga *Ceramium ciliatum* donde tal y como se aprecia en la Tabla 25, ocurre una situación similar a la que ocurría con *Jassa marmorata*: no aparecen interacciones entre factores, pero sí significación estadística en los efectos simples estudiados. En verano sí había una interacción con significación estadística entre Profundidad y Zona para este epibionte.

Tabla 25. Tabla de ANOVA para la especie *Ceramium ciliatum* en la estación de otoño

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Profundidad	0,0154083	1	0,0154083	5,71	0,0224
B:Tratamiento	0,0234083	1	0,0234083	8,68	0,0057
C:Zona	0,030825	3	0,010275	3,81	0,0184
INTERACCIONES					
AB	0,00100833	1	0,00100833	0,37	0,5449
AC	0,00449167	3	0,00149722	0,55	0,6482
BC	0,014225	3	0,00474167	1,76	0,1733
RESIDUAL	0,094425	35	0,00269786		
TOTAL	0,183792	47			

De la siguiente Figura 41 podemos extraer que, al igual que en los anteriores epibiontes, es la zona Norte ,a sotacorriente, donde se recogen más epibiontes, siendo la zona Este donde menos. Esta zona no muestra, sin embargo, diferencias significativas con las zonas sur y Oeste.

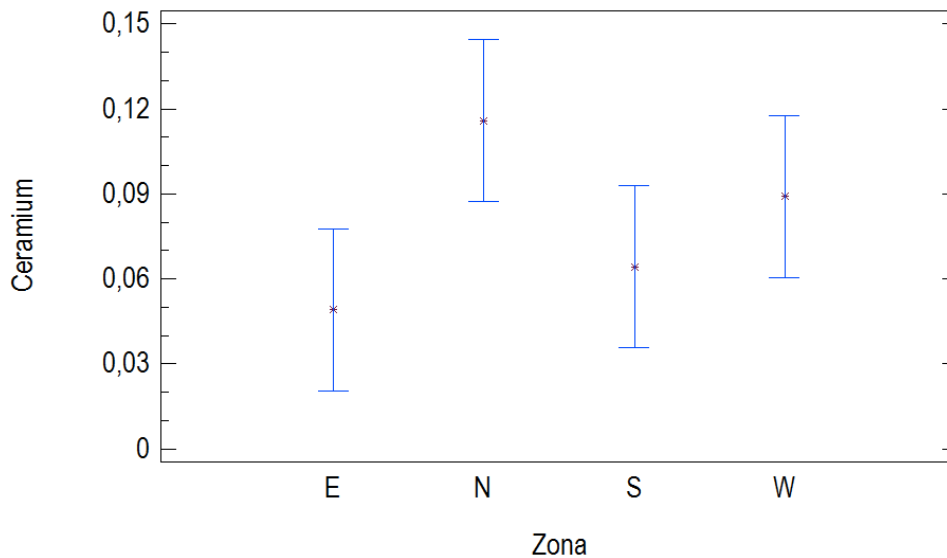


Figura 41. Gráfica de medias, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Ceramium ciliatum* según la zona considerada para la estación de otoño.

En la Tabla 26 que se adjunta a continuación, se presentan los valores en porcentaje de recubrimiento medio del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95% para los tres factores significativos (Zona, Tratamiento y Profundidad). Las muestras sin antifouling casi duplican en cobertura, en promedio, a las no tratadas. En este epibionte, y al igual que en los anteriores, a menor profundidad hay más cobertura de recubrimiento.

Tabla 26. Valores medios de recubrimiento en porcentaje e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Ceramium ciliatum* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA de otoño.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD
E: 4,91%(1,87-7,96)	1(Sí): 5,75% (3,59-7,90)	15m: 6,16% (4,01-8,31)
N: 11,58%(8,53-14,62)	0(No): 10,165% (8,01-12,31)	3m: 9,75% (7,59-11,90)
S: 6,41%(3,37-9,46)		
W: 8,91% 5,87-11,96)		

4.2.2.5 ANOVA para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de otoño.

Se estudia ahora el epibionte *Bryopsis duplex*, concretamente el efecto que sobre esta alga ejercen los efectos asociados a la muestra recogida en otoño: Tratamiento, Profundidad y Zona.

Como se observa en la Tabla 27, no se detecta una interacción entre la Profundidad y la Zona, pero sí una interacción muy significativa entre la Profundidad y el Tratamiento y una interacción, menos significativa, entre el Tratamiento y la Zona. En cuanto a los efectos simples, el Tratamiento y la Zona aparecen como efectos significativos. Por otra parte, al igual que ocurría con esta especie en verano,

también se observa que no hay significación estadística en la Profundidad como efecto simple en el epibionte *Bryopsis duplex* en otoño, aunque sí cuando este efecto interacciona con el Tratamiento, dando a entender que el efecto del Tratamiento viene determinado en buena medida por el efecto de la Profundidad.

Tabla 27. Tabla de ANOVA para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de otoño.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Profundidad	0,00440833	1	0,00440833	0,64	0,4301
B:Tratamiento	2,45707	1	2,45707	355,15	0,0000
C:Zona	0,077075	3	0,0256917	3,71	0,0203
INTERACCIONES					
AB	0,180075	1	0,180075	26,03	0,0000
AC	0,051875	3	0,0172917	2,50	0,0755
BC	0,0621417	3	0,0207139	2,99	0,0439
RESIDUAL	0,242142	35	0,00691833		
TOTAL	3,07479	47			

Atendiendo a la figura siguiente (Figura 42), vemos como la zona Oeste es la de mayor cobertura del epibionte, ocurriendo esto por segunda vez con esta especie, sin embargo, y casi como una constante, la Zona Este es de nuevo la de menor cobertura de fouling. Hay que hacer notar, sin embargo, que la única diferencia que muestra significación estadística es la existente entre las zonas extremas: Este y Oeste.

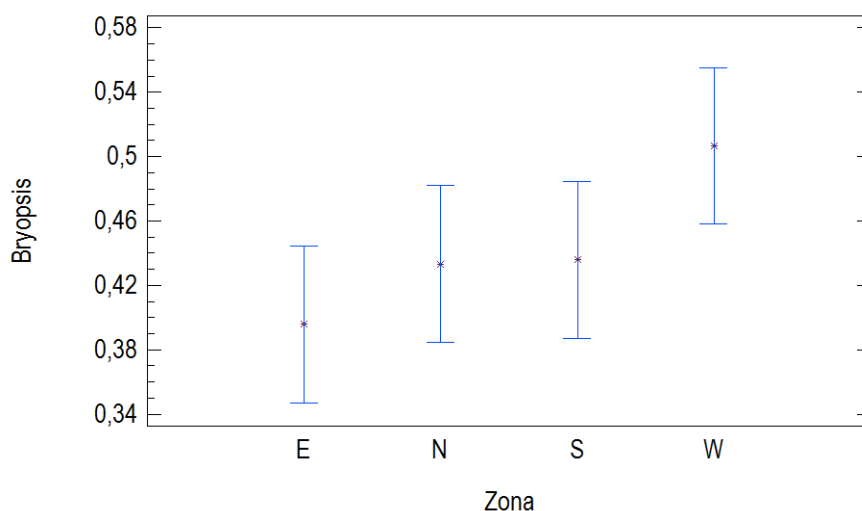


Figura 42. Gráfica de medias de recubrimiento, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Bryopsis duplex* según la zona considerada para la estación de otoño.

En la Tabla 28 que se adjunta a continuación se presentan los valores medios del epibionte en porcentaje de recubrimiento, con sus intervalos de confianza al 95%, para los dos efectos significativos (Tratamiento y Zona).

Tabla 28. Valores medios de recubrimiento en porcentaje e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Bryopsis duplex* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA de otoño.

FACTORES	
TRATAMIENTO	ZONA
0(No): 66,91% (63,46-70,36)	E: 39,5% (34,7-44,45)
1(Sí): 21,66% (18,21-25,11)	N: 43,33% (38,45-48,20)
	S: 43,58% (38,70-48,45)
	W: 50,66% (45,79-55,54)

También, y como se puede comprobar en la Tabla 28, el Tratamiento con antifouling es útil para controlar la especie *Bryopsis duplex* pues ha rebajado su presencia un tercio aproximadamente. Se pasa ahora a desarrollar las interacciones encontradas en otoño para la especie *Bryopsis duplex*.

En la Figura 43 que se adjunta a continuación puede verse el porqué de la significación estadística en la interacción Profundidad x Tratamiento.

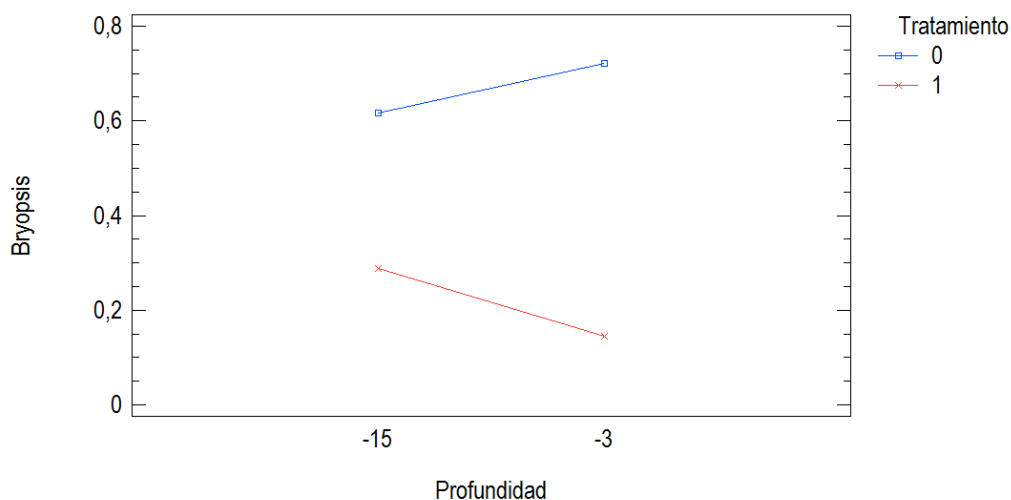


Figura 43. Gráfica de interacción de Profundidad x Tratamiento para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de otoño.

Como observamos en la Figura 42, las muestras con tratamiento antifouling siempre aparecen menos recubiertas de *Bryopsis duplex* que las no tratadas. En las muestras tratadas a una profundidad de 15 metros hay más epibiontes que en las tratadas a 3 metros. En las muestras no tratadas es al contrario, habiendo más epibiontes *Bryopsis duplex* a menor profundidad. Podría tener esto un significado acerca de la actividad del antifouling a diversas profundidades con respecto a esta especie en cuestión, pues no es el comportamiento habitual hasta ahora.

Se desarrolla en detalle la anterior figura y lo comentado en la Tabla 29 que aparece a continuación.

Tabla 29. Valores medios en porcentaje de cobertura e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Bryopsis duplex* para las combinaciones derivadas de los factores Profundidad y Tratamiento en otoño.

PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO (IC 95%)
15	0 (No)	61,75 (56,87-66,62)
15	1(Si)	28,75 (23,87-33,62)
3	0(No)	72,08 (67,20-76,95)
3	1(Si)	14,58 (9,70-19,45)

Una vez mostrada la primera de las dos interacciones se pasa ahora a describir la segunda interacción :Tratamiento x Zona , en la Figura 44 y la Tabla 34.

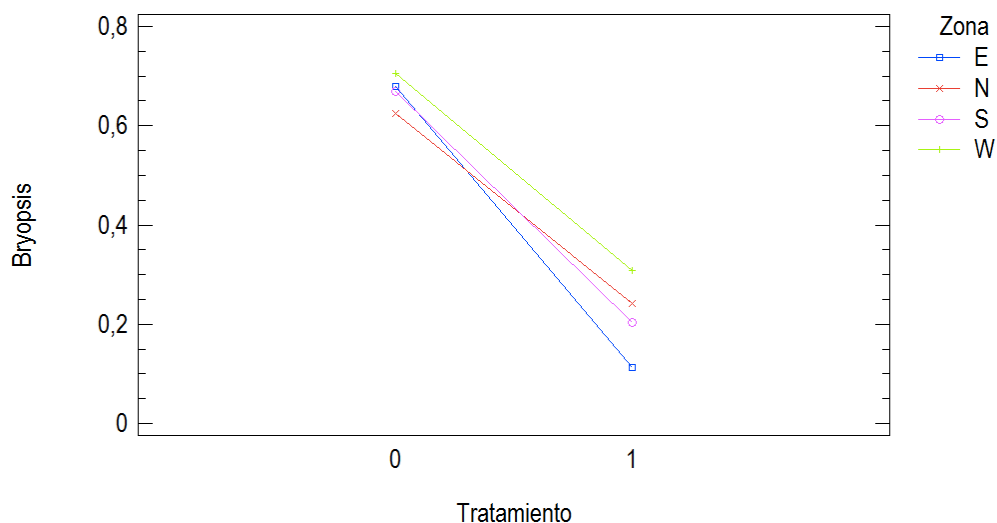


Figura 44. Gráfica de interacción de Zona x Tratamiento para la especie *Bryopsis duplex* en la estación de otoño.

Tabla 30. Valores medios en porcentaje de cobertura e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Bryopsis duplex* para las combinaciones derivadas de los factores Profundidad y Tratamiento en otoño.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO
E	0 (No)	67,83% (60,93-74,72)
N	0 (No)	62,5% (55,60-69,39)
S	0 (No)	66,83% (59,93-73,72)
W	0 (No)	70,5% (63,60-77,39)
E	1(Sí)	11,33% (04,43-18,22)
N	1(Sí)	24,16% (17,27-31,06)
S	1(Sí)	20,33% (13,43-27,22)
W	1(Sí)	30,83% (23,93-37,72)

Tal y como se observa en la Tabla 30 y en la Figura 44 , el Tratamiento funciona independientemente de la Zona, si bien, es en la zona Este donde mejor funciona.

4.2.2.6 ANOVA para la especie *Jania rubens* en la estación de otoño.

Se estudia ahora el epibionte *Jania rubens*, siendo en otoño cuando hace su primera aparición como colonizador; en verano no se registró su presencia en ninguna de las muestras. Puede ser quizá por necesitar esta especie mejores temperaturas o algún colonizador previo. En el análisis de *Jania rubens* (Tabla 31) no se tiene en cuenta el factor Profundidad pues en la de 15 metros no apareció éste alga y podría éste distorsionar los resultados obtenidos para los otros factores. Así, en los otros dos factores en estudio se detecta una muy elevada significación

estadística, tanto en el factor Zona como en el factor Tratamiento, así como para la interacción entre éstas.

Tabla 31. Tabla de ANOVA para la especie *Jania rubens* en la estación de otoño

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p- Valor
EFFECTOS					
A: Tratamiento	0,0392042	1	0,0392042	24,57	0,0001
B: Zona	0,0341792	3	0,0113931	7,14	0,0029
INTERACCIONES					
AB	0,0240458	3	0,00801528	5,02	0,0122
RESIDUAL	0,0255333	16	0,00159583		
TOTAL	0,122962	23			

Se puede observar en la siguiente Figura 45 (y Tabla 32) como en la zona Este prácticamente no aparece la especie, y es en la zona Oeste y Sur donde más recubrimiento de *Jania rubens* se encuentra

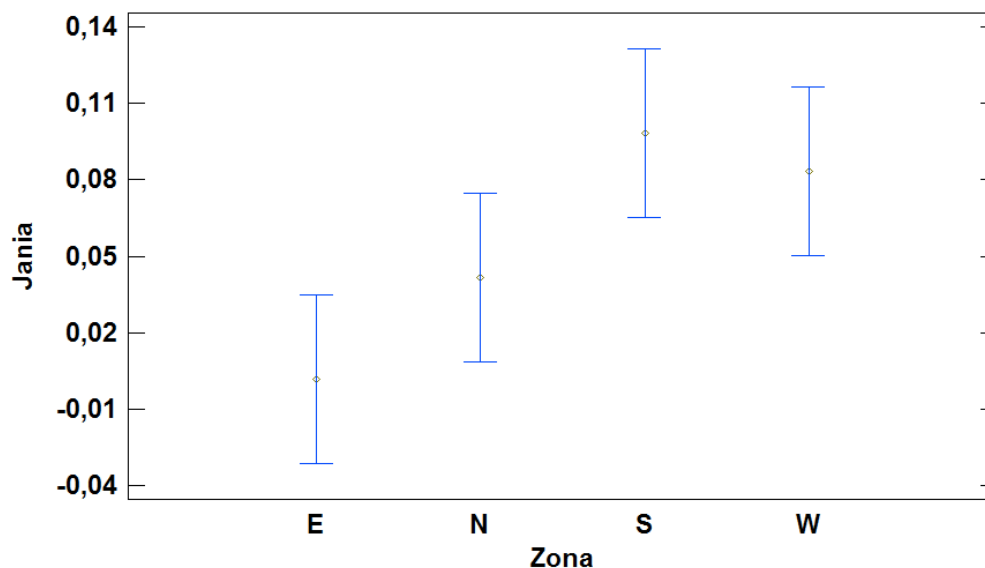


Figura 45. Gráfica de medias de recubrimiento, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Jania rubens* según la zona considerada para la estación de otoño

En la Tabla 32 que se adjunta a continuación se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95%, para los 2 factores estudiados.

Tabla 32. Valores medios de recubrimiento en porcentaje e intervalos de confianza (entre paréntesis) de *Jania rubens* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA para otoño.

FACTORES	
TRATAMIENTO	ZONA
0(No): 9,66% (7,22-12,11)	E: 0,16% (-3,29-3,62)
1(Sí): 1,58% (-0,86-4,02)	N: 4,16% (0,70-7,62)
	S: 9,83% (6,37-13,29)
	W: 8,33% (4,87-11,79)

Tal y como podemos extraer de la Tabla 32 y de la Figura 46, el uso del antifouling para la especie *Jania rubens* es muy útil, pues las muestras que no llevan el tratamiento sextuplican en cobertura a las muestras con pintura.

Se presenta ahora la interacción para la especie *Jania rubens*: Tratamiento y Zona en la Tabla 33 y Figura 46.

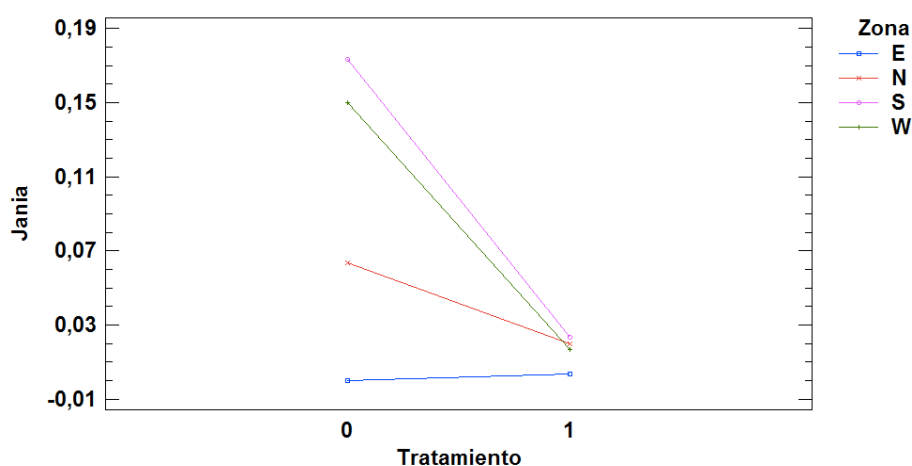


Figura 46. Gráfica de interacción de Tratamiento x Zona para la especie *Jania rubens* en la estación de otoño

Tabla 33. Valores medios en porcentaje de cobertura e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Jania rubens* para las combinaciones derivadas de los factores tratamiento y Zona en otoño

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	Valor medio
E	0 (No)	0% (-4,88 - 4,88)
N	0 (No)	6,33% (1,44 - 11,22)
S	0 (No)	17,33% (12,44 - 22,22)
W	0 (No)	15% (10,11 - 19,88)
E	1(Sí)	0,33% (-4,55 - 5,22)
N	1(Sí)	2 % (-2,88 - 6,88)
S	1(Sí)	2,33% (-2,55 - 7,22)
W	1(Sí)	1,66% (-3,22 - 6,55)

Se aprecia en las anteriores figuras y tablas que en todas las zonas se encuentra más recubrimiento de *Jania rubens* en las muestras sin Tratamiento, siendo en la zona Este donde menos epibiontes encontramos en promedio. Las zonas Sur y Oeste son donde más diferencia encontramos al hacer uso del

antifouling; son las dos zonas en las que el efecto del tratamiento resulta estadísticamente significativo.

4.2.2.7 Resumen de los análisis realizados sobre la presencia de epibiontes en la estación de otoño

Una vez estudiados los epibiontes individualmente en la estación de otoño, se realizan unos comentarios globales sobre todas las especies analizadas.

Así, en la Tabla 34 se muestran los p -valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA para todas las especies consideradas en la muestra de otoño. Los p-valores asociados a efectos significativos han sido resaltados en color rojo en la tabla.

Hay que indicar que en la tabla no aparece la especie *Mytilus galloprovincialis* al no haberse encontrado ningún ejemplar en la estación de otoño, al igual que tampoco se encontró en verano. *Jania rubens* aparece ya en esta estación; en ella resulta nula la presencia del epibionte a una profundidad de 15 metros.

Tabla 34. P-valores de los efectos analizados en los ANOVA de las distintas especies, en la estación de otoño. (Se representan en color rojo los p-valores asociados a efectos significativos)

	<i>Elasmopus</i>	<i>Jassa</i>	<i>Caprella</i>	<i>Ceramium</i>	<i>Bryopsis</i>	<i>Jania</i>
EFFECTOS						
A:PROFUNDIDAD	0,0045	0,0000	0,0062	0,0224	0,4301	
B:TRATAMIENTO	0,0000	0,6894	0,0000	0,0057	0,0000	0,000
C:ZONA	0,0000	0,0000	0,0057	0,0184	0,0203	0,002
INTERACCIONES						
AB	0,2071	0,1002	0,3943	0,5449	0,0000	
AC	0,0041	0,0956	0,006	0,6482	0,0755	
BC	0,3281	0,6010	0,8099	0,1733	0,0439	0,012

En cuanto a las interacciones entre los tres factores estudiados en otoño (Tratamiento, Profundidad y Zona) se observa que no hay una interacción significativa constante para las especies recogidas, es decir, una interacción repetida y que afecte siempre a todos y cada uno de los epibiontes.

Sí hay en cambio un factor simple que es constante a todos los epibiontes: Zona. De la tabla se puede extraer también cómo el factor Profundidad tiene un efecto simple altamente significativo en todas las especies a excepción de *Bryopsis duplex*, aunque luego éste factor sí le afecte en interacción con Tratamiento. El factor Tratamiento es muy significativo en todas las especies encontradas en otoño a excepción de *Jassa marmorata*, lo cual nos puede estar hablando de su fortaleza contra el antifouling. Los comportamientos de los epibiontes en otoño, comparados con verano no son nada parecidos, desarrollando unas respuestas muy diferentes a la estación previa.

De manera constante los epibiontes que han crecido en otoño lo han hecho notablemente más a una profundidad de 3 metros que a una profundidad de 15 metros. de profundidad. Ello puede ser debido a que en la zona de 3 metros de profundidad hay una incidencia mayor de la insolación, lo que hace que las algas crezcan más y se desarrollen mayor número de epibiontes sobre las mismas.

Atendiendo a la pintura antifouling, su uso siempre hace que aparezcan menos epibiontes, en todas las orientaciones y en todas las profundidades muestreadas.

En cuanto a la presencia por zona en la estación de otoño, se comprueba que es en el Norte donde tenemos los mayores porcentajes de recubrimiento, a excepción de *Bryopsis duplex*, que al igual que en verano, crece más en la zona Oeste, y de *Jania rubens*, que lo hace más en el Sur.

La insolación, debido a la orientación de la granja, es más importante en las muestras de Sur y Norte y es en la zona Norte, donde más corriente y horas de luz se recibe, donde más crecimientos de algas se ha recogido debido a todo ello, lo que hará que al tener un mayor sustrato de algas ,las larvas se puedan desarrollar más

que en las zonas con menos cobertura de algas. Se podría desprender también, que estas algas no son inhibitoras del crecimiento de los epibiontes animales, sino al contrario, la base de su desarrollo.

4.2.3 Análisis de la Varianza para el periodo anual.

Se estudian en este apartado especie a especie las sucesiones ecológicas acontecidas en el periodo anual, es decir, que han llevado en el agua toda la estación de invierno, la estación de primavera, verano y otoño, por lo que llevan todo un año desde que se sumergieron las muestras. Es en esta estación cuando aparecen todas las especies encontradas y es quizá la estación más importante pues es la que más información ofrece.

4.2.3.1. ANOVA para la especie *Elasmopus pocillimanus* en el periodo anual.

Se estudia primeramente al epibionte *Elasmopus pocillimanus*, concretamente el efecto que sobre él ejercen los 3 factores asociados a la muestra anual recogida: Tratamiento (presencia o ausencia de pintura antifouling), Profundidad y Zona.

En el presente apartado, tal y como se observa en la Tabla 35, no se detectan interacciones, igual que pasaba con esta especie en verano; en cambio sí había una interacción en otoño significativa entre Profundidad y Zona. La Profundidad no es significativa ni como efecto simple ni en interacción con ninguno de los otros dos factores.

En la Tabla 35 y Figura 47 que se adjuntan a continuación, se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95% para los dos factores significativos (Zona y Tratamiento)

Tabla 35. Tabla de ANOVA para la especie *Elasmopus pocillimanus* en el periodo anual.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Profundidad	29,1991	3	9,73302	4,59	0,7486
B:Tratamiento	0,221244	1	0,221244	0,10	0,0000
C:Zona	465,48	1	465,48	219,52	0,0082
INTERACCIONES					
AB	9,03887	3	3,01296	1,42	0,2531
AC	2,90445	3	0,968149	0,46	0,7143
BC	6,20383	1	6,20383	2,93	0,0960
RESIDUAL	74,2172	35	2,12049		
TOTAL	587,264	47			

En la figura siguiente se puede extraer que *Elasmopus pocillimanus* ha sido encontrado en la zona Norte con mayor número (aunque no muestra diferencia significativa del todo clara con zonas Sur y Oeste), zona ésta de sotacorriente, y por tanto, de llegada de nutrientes y larvas colonizadoras. La zona de Levante es donde menos epibiontes se recogen en promedio.

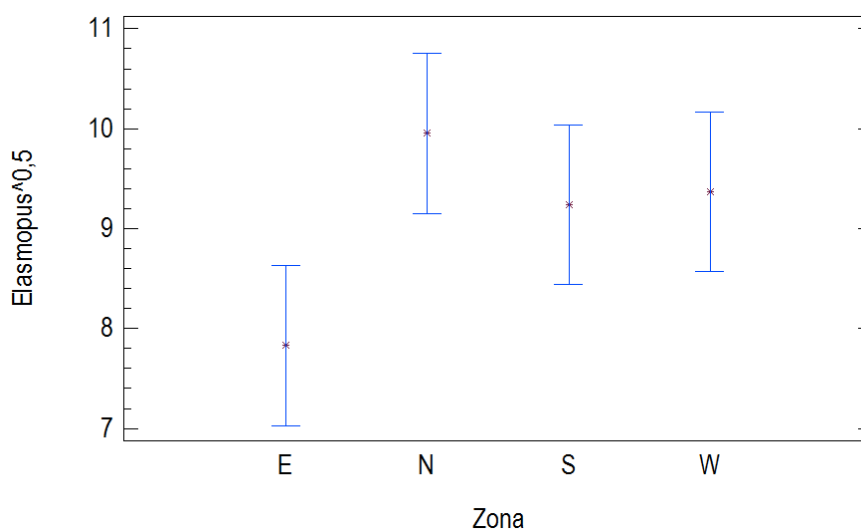


Figura 47. Gráfica de medias ,con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95%, para la especie *Elasmopus pocillimanus* según la zona considerada en el periodo anual.

Se pasa ahora a detallar en la Tabla 36 los valores medios de respuesta del epibionte ante el antifouling, junto con sus correspondientes intervalos de confianza al 95%, notándose cómo el epibionte responde muy notablemente a la presencia del tratamiento antifouling.

Tabla 36.Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Elasmopus pocillimanus* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA del periodo anual.

FACTORES	
ZONA	TRATAMIENTO
E: 166,66 (149,81-184,68)	0 (No) 149,08 (134,56-164,09)
N: 147,13 (131,33-164,09)	1(SI) 34,69 (28,30-43,29)
S: 120,56 (106,29-135,95)	
W: 149,08 (132,94-166,15)	

4.2.3.2 ANOVA para la especie *Caprella liparotensis* en el periodo anual.

En el análisis del epibionte *Caprella liparotensis* (Tabla 37) en el periodo anual se detecta elevada significación estadística para los efectos simples de Zona y Tratamiento; no se detecta significación en Profundidad como efecto simple pero sí en interacción con Tratamiento. Se aprecia también una interacción significativa entre la Zona y Tratamiento. Es de resaltar, que en las dos estaciones anteriores, para este epibionte sólo había interacción significativa entre Profundidad y Zona y en esta estación no hay significación en esta interacción y sí en las otras dos.

Tabla 37. Tabla de ANOVA para la especie *Caprella liparotensis* en el periodo anual

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Zona	22,9661	3	7,65538	5,76	0,0000
B:Profundidad	1,38532	1	1,38532	1,04	0,3144
C:Tratamiento	759,837	1	759,837	571,52	0,0026
INTERACCIONES					
AB	4,20668	3	1,40223	1,05	0,3807
AC	12,4369	3	4,14563	3,12	0,0383
BC	6,56158	1	6,56158	4,94	0,0329
RESIDUAL	46,5329	35	1,32951		
TOTAL	853,927	47			

En la Tabla 38 que se adjunta a continuación, se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95% para los dos factores significativos (Zona, Tratamiento). Previamente, en la Figura 48 se representa la distribución por zona del epibionte.

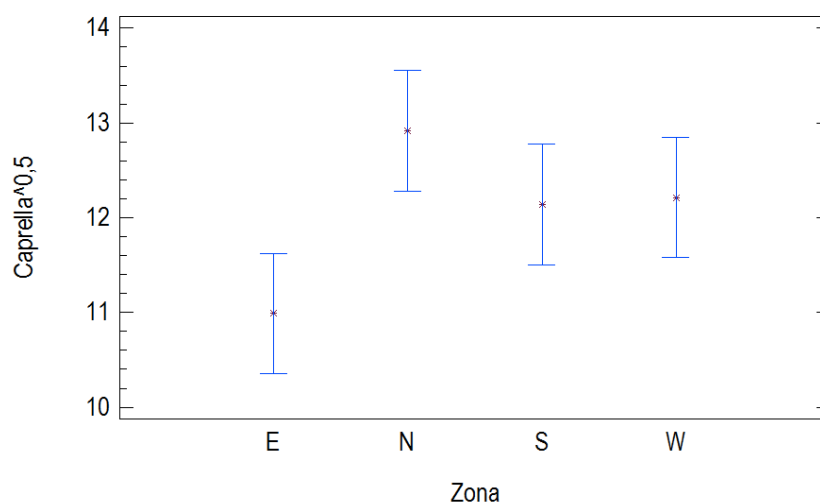
**Figura 48.** Gráfica de valores medios, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95%, para la especie *Caprella liparotensis* según la zona considerada en el periodo anual.

Tabla 38. Valores medios de recubrimiento e intervalos de confianza al 95%(entre paréntesis) de *Caprella liparotensis* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA del periodo anual.

FACTORES	
ZONA	TRATAMIENTO
E 120,56 (106,29-135,95)	0 (No) 257,28 (242,11-272,91)
N: 166,66 (149,81-184,68)	1(Si) 65,28 (57,76-73,27)
S: 147,13 (131,33-164,09)	
W: 149,08(132,94-166,15)	

Tal y como se ve en la Figura 49 y la Tabla 38, en anual, es en la zona Norte donde más *Caprella liparotensis* se puede encontrar (aunque no presente diferencias significativas con las zonas Sur y Oeste), siendo la zona Este donde menos, de igual manera que ocurría con el anterior epibionte y de igual manera que le pasaba en la anterior estación. Las muestras que han sido tratadas han reducido su colonización por el epibionte en casi cuatro veces.

Así, en la Tabla 39 se presentan los valores medios ,junto con sus intervalos de confianza al 95%, en cada una de las situaciones procedentes del cruce entre Tratamiento y Zona. En la Figura 48 se representa gráficamente la interacción Tratamiento x Zona que el análisis ha detectado como significativa

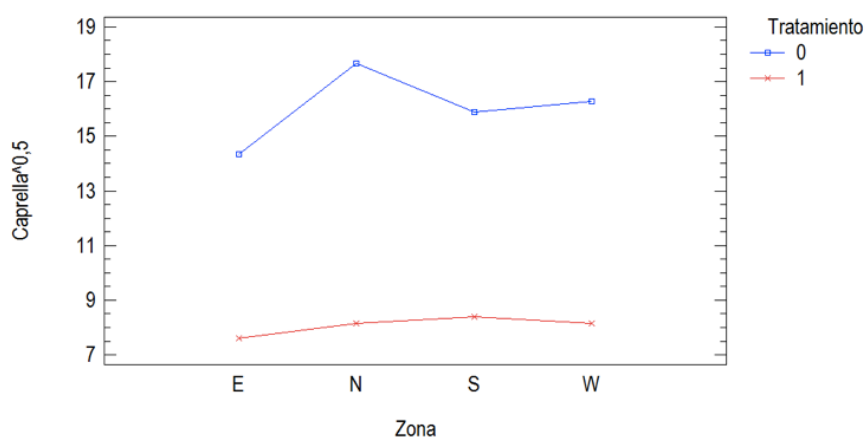


Figura 49. Gráfica de interacción de Tratamiento x Zona para la especie *Caprella liparotensis* en el periodo anual.

Tabla 39. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Caprella liparotensis* para las combinaciones derivadas de los factores Tratamiento y Zona para el periodo anual.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO
E	0 (No)	205 (179,56-234,39)
N	0 (No)	312,22 (279,22-346,70)
S	0 (No)	251,85 (222,60-283,24)
W	0 (No)	264,38 (265,69-296,18)
E	1(Sí)	57,91 (44,35-73,44)
N	1(Sí)	66,58 (51,84-82,99)
S	1(Sí)	70,39 (55,35-87,42)
W	1(Sí)	66,58 (51,84-83,17)

Se aprecia en las anteriores figuras y tablas que en todas las zonas se encuentra más recubrimiento de *Caprella liparotensis* en las muestras sin tratamiento, siendo en la zona Norte donde más diferencia encontramos al hacer uso del antifouling.

Se pasa ahora a comentar la segunda Interacción con significación: Profundidad x Tratamiento. Para ello, se muestran a continuación la Tabla 40 y Figura 50.

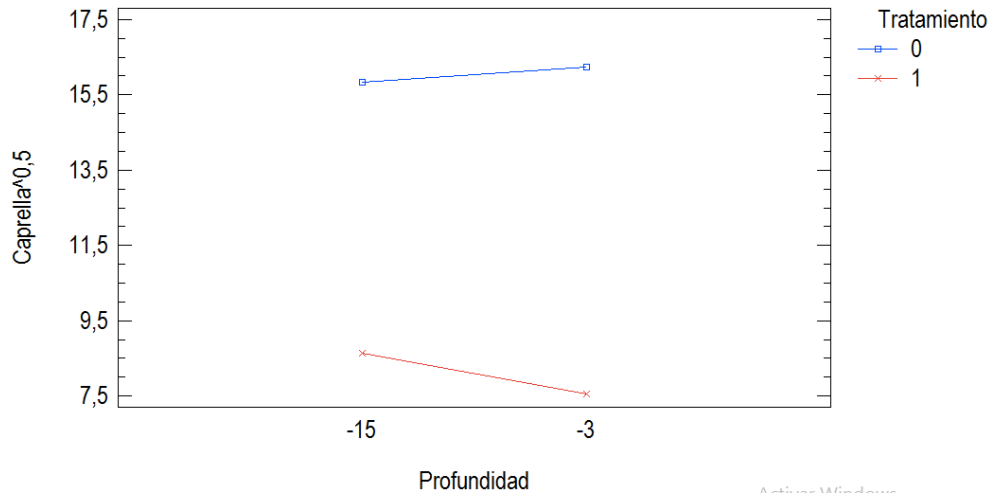


Figura 50. Gráfica de interacción de Tratamiento x Profundidad para la especie *Caprella liparotensis* en el periodo anual.

Tabla 40. Valores medios e intervalos de confianza (entre paréntesis) de la especie *Caprella liparotensis* para las combinaciones derivadas de los factores Tratamiento y Profundidad para el periodo anual.

FACTOR		
PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO
15m	0 (No)	250,90 (229,82-272,58)
15m	1(Sí)	73,30 (62,72-86,49)
3m	0 (No)	263,73 (242,11-285,94)
3m	1(Sí)	56,85 (47,19-67,56)

Tal y como se puede extraer de la anterior figura y de su tabla desarrollada, *Caprella liparotensis* cuando no lleva tratamiento tiene crecimiento muy parecidos del epibionte a las dos diferentes profundidades; sin embargo, cuando se le aplica el tratamiento tiene un crecimiento mayor a mayores profundidades, quizá porque el tratamiento no funcione igual de bien que a 3 metros.

4.2.3.3 ANOVA para la especie *Jassa marmorata* en la estación anual.

En el caso de este epibionte, y tal y como se aprecia en la Tabla 41, aparece una interacción entre Profundidad y Tratamiento, y significación estadística en los efectos simples de dos de ellos: Zona y Tratamiento. La Profundidad como efecto simple no tiene significación estadística. Esta especie en las anteriores dos estaciones no presentaba interacciones significativas.

Tabla 41. Tabla de ANOVA para la especie *Jassa marmorata* en el periodo anual

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadís F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Zona	24,6712	3	8,22374	4,71	0,0073
B:Profundidad	1,27121	1	1,27121	0,73	0,3996
C:Tratamiento	683,232	1	683,232	390,89	0,0000
INTERACCIONES					
AB	7,35009	3	2,45003	1,40	0,2586
AC	9,35565	3	3,11855	1,78	0,1682
BC	13,7267	1	13,7267	7,85	0,0082
RESIDUAL	61,1754	35	1,74787		
TOTAL	800,783	47			

En la Tabla 42 que se adjunta a continuación, se presentan los valores medios del epibionte, con sus intervalos de confianza al 95% para los dos factores significativos en sus efectos simples: Zona y Tratamiento. En la Figura 51 se representan los valores medios con sus intervalos de Tukey para el factor Zona, con el fin de detectar las zonas más y menos afectadas por la presencia del epibionte.

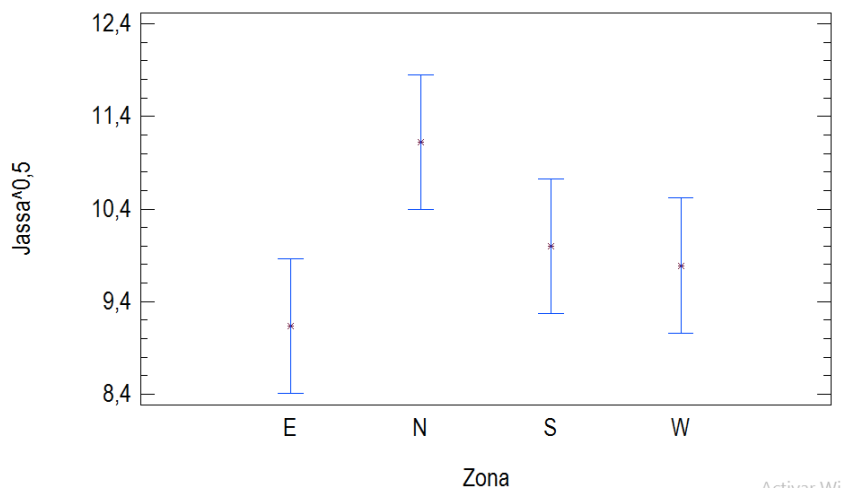


Figura 51. Gráfica de valores medios, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95%, para la especie *Jassa marmorata* según la zona considerada en el periodo anual.

Tabla 42. Valores medios de recubrimiento e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Jassa marmorata* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA del periodo anual.

FACTORES	
ZONA	TRATAMIENTO
E: 23,5 (18,31-29,26)	1 (Si): 16,72 (13,69-20,16)
N: 49(41,34-57,15)	0 (No): 56,25 (50,41-62,41)
S: 36,72(30,25-43,95)	
W: 27,87(20,16-32,94)	

Extraemos por tanto de la Figura 52 y de la Tabla 42 que *Jassa marmorata* ha sido encontrado en la zona Norte con mayor número, zona ésta de sotacorriente, y por tanto, de llegada de nutrientes y larvas colonizadoras. La zona de Levante vuelve

a ser la de menor recogida de epibiontes. Las muestras sin tratamiento antifouling han triplicado en número de *Jassa marmorata* a las muestras con pintura.

Tal y como se puede extraer de la Figura 52 y de su tabla desarrollada, *Jassa marmorata* cuando no lleva tratamiento tiene crecimientos parecidos del epibionte a las dos diferentes profundidades, aunque con un ligero crecimiento mayor a bajas cotas; sin embargo, cuando se le aplica el tratamiento, y como ocurría con *Jassa marmorata*, tiene un crecimiento mayor a mayores profundidades.

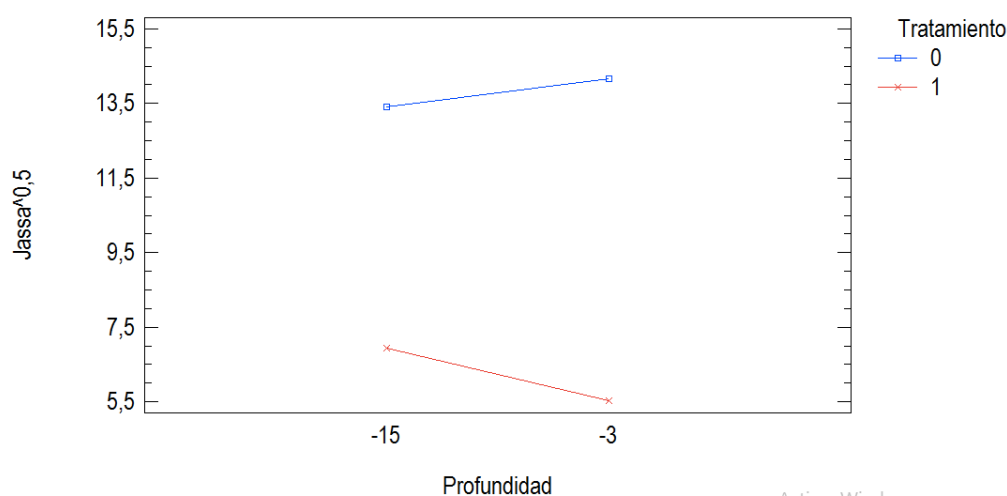


Figura 52. Gráfica de interacción de Profundidad x Tratamiento para la especie *Jassa marmorata* en el periodo anual.

En la Tabla 43 se expresa numéricamente la anterior figura con los valores medios, junto con sus intervalos de confianza al 95%, para el número de epibiontes de *Jassa marmorata* en cada una de las situaciones procedentes del cruce entre Tratamiento y Profundidad.

Tabla 43. Valores medios e intervalos de confianza al 95%(entre paréntesis) de la especie *Jassa marmorata* para las combinaciones derivadas de los factores Tratamiento y Profundidad para el periodo anual.

FACTORES		
PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	Valor medio
15 m	0 (No)	179,9 (159,7 – 201,2)
15 m	1(Sí)	48,1 (38,0 – 59,4)
3 m	0 (No)	200,4 (179,0 – 222,9)
3 m	1(Sí)	30,7 (22,7 – 39,9)

4.2.3.4 ANOVA para la especie *Ceramium ciliatum* en el periodo anual.

Se estudia a continuación el alga *Ceramium ciliatum*, y tal y como se aprecia en la Tabla 44, ocurre una situación nueva para esta alga; si bien en las dos estaciones anteriores los tres efectos simples tenían significación estadística, en esta estación sólo la Profundidad la tiene. Pero si bien los otros dos efectos simples no tienen significación estadística, sí lo tienen en forma de interacción entre factores.

Tabla 44. Tabla de ANOVA para la especie *Ceramium ciliatum* en el periodo anual.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p- Valor
EFECTOS					
A:Zona	0,0127229	3	0,00424097	2,42	0,0827
B:Profundidad	0,0221021	1	0,0221021	12,60	0,0011
C:Tratamiento	0,00001875	1	0,00001875	0,01	0,9182
INTERACCIONES					
AB	0,00735625	3	0,00245208	1,40	0,2597
AC	0,0310396	3	0,0103465	5,90	0,0023
BC	0,00226875	1	0,00226875	1,29	0,2631
RESIDUAL	0,0613896	35	0,00175399		
TOTAL	0,136898	47			

En la Tabla 45 que se adjunta a continuación, se presentan los valores medios del epibionte, en porcentaje de recubrimiento, con sus intervalos de confianza al 95% para el factor significativo en el periodo anual: Profundidad

Tabla 45. Valores medios de recubrimiento e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Ceramium ciliatum* para los niveles de factor Profundidad en el ANOVA del periodo anual.

PROFUNDIDAD	VALOR MEDIO (IC 95%)
15	7,87 % (6,13-9,61)
3	12,16 % (10,4-13,90)

Con respecto a la interacción con significado que se ha encontrado, Zona x Tratamiento, ésta queda de la siguiente manera tal y como vemos en la Figura 53 y la Tabla 46

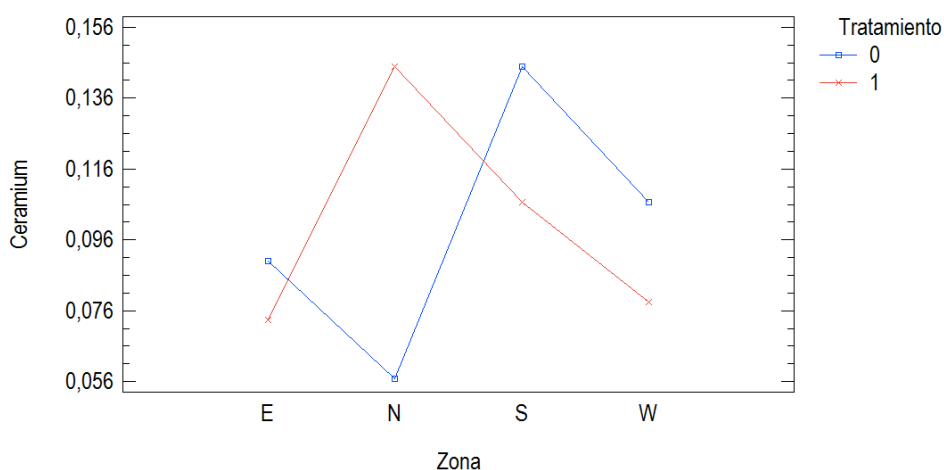


Figura 53. Gráfica de interacción de Zona x Tratamiento para la especie *Ceramium ciliatum* en el periodo anual.

En la Figura 53 se observa el sentido que toma la interacción Zona x Tratamiento; esa interacción manifiesta el comportamiento singular del Tratamiento en la zona Norte, frente a las otras zonas. Así, en la zona Norte es en la única en la que puede hablarse de una falta de efecto del Tratamiento.

En la Tabla 46 se presentan los valores medios en porcentaje de recubrimiento, junto con sus intervalos de confianza al 95% ,para *Ceramium ciliatum* en cada una de las situaciones procedentes del cruce entre Tratamiento y Zona.

Tabla 46. Valores medios e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de la especie *Ceramium ciliatum* para las combinaciones derivadas de los factores Tratamiento y Zona para el periodo anual.

FACTORES		
ZONA	TRATAMIENTO	Valor medio (IC 95%)
E	0(No)	9 (5,52-12,4)
E	1(Sí)	7,3 (3,86-10,80)
N	0(No)	5,66 (2,19-9,13)
N	1(Sí)	14,5 (11,02-17,97)
S	0(No)	14,5 (11,02-17,97)
S	1(Sí)	10,66 (7,19-14,13)
W	0(No)	10,66 (7,19-14,13)
W	1(Sí)	7,83 (4,36-11,30)

Tal y como se aprecia en la Figura 52 y Tabla 47, *Ceramium ciliatum* en el Norte crece más paradójicamente con la pintura, indicándonos que esta especie es muy resistente a la pintura con las condiciones de Norte, también, y atendiendo a lo poco común del suceso, podría deberse a un fallo de la pintura antifouling en ese punto. En las otras tres zonas el comportamiento siempre es de mayor crecimiento medio donde no se ha aplicado la pintura antifouling, aunque ese mayor crecimiento no resulta significativo

4.2.3.5 ANOVA para la especie *Bryopsis duplex* en el periodo anual.

Se estudia ahora el epibionte *Bryopsis duplex*, concretamente el efecto que sobre esta alga ejercen los efectos asociados a la muestra recogida en otoño: Tratamiento, Profundidad y Zona en el periodo anual.

Tabla 47. Tabla de ANOVA para la especie *Bryopsis duplex* en el periodo anual.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p- Valor
EFFECTOS					
A:Zona	0,0430396	3	0,0143465	2,99	0,0443
B:Profundidad	0,00935208	1	0,00935208	1,95	0,1718
C:Tratamiento	4,78172	1	4,78172	994,97	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,0390896	3	0,0130299	2,71	0,0598
AC	0,0153229	3	0,00510764	1,06	0,3773
BC	0,0892687	1	0,0892687	18,57	0,0001
RESIDUAL	0,168206	35	0,00480589		
TOTAL	5,146	47			

Como se observa en la Tabla 47, no se detecta una interacción entre la Profundidad y la Zona, ni entre el Tratamiento y la Zona pero sí una interacción muy significativa entre la Profundidad y el Tratamiento, interacción ésta que también fue significativa en las dos anteriores estaciones. En cuanto a los efectos simples, el Tratamiento y la Zona aparecen como significativos, igual que ocurría con esta especie en verano y otoño; también se observa que no hay significación estadística para el efecto simple del factor Profundidad en el epibionte *Bryopsis duplex* en el periodo anual, de igual manera que pasaba en la estación de verano y en la de otoño, aunque sí la hay en esta estación interaccionando con el factor Tratamiento.

En la Tabla 48 que se adjunta a continuación se presentan los valores medios del epibionte en porcentaje de recubrimiento y con sus intervalos de confianza al 95%, para los dos efectos significativos (Tratamiento y Zona), desarrollándose la parte que hace referencia al efecto de Zona en la Figura 54

Tabla 48. Valores medios de recubrimiento en porcentaje e intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) de *Bryopsis duplex* para los niveles de los factores con significación estadística en el ANOVA en el periodo anual.

FACTORES	
TRATAMIENTO	ZONA
0(No) 84,70% (81,83-87,58)	E: 53,66% (49,60-57,72)
1(Si): 21,58% (18,71-24,45)	N: 57,5% (53,43-61,56)
	S: 52,25% (48,18-56,31)
	W: 49,16% (45,10-53,22)

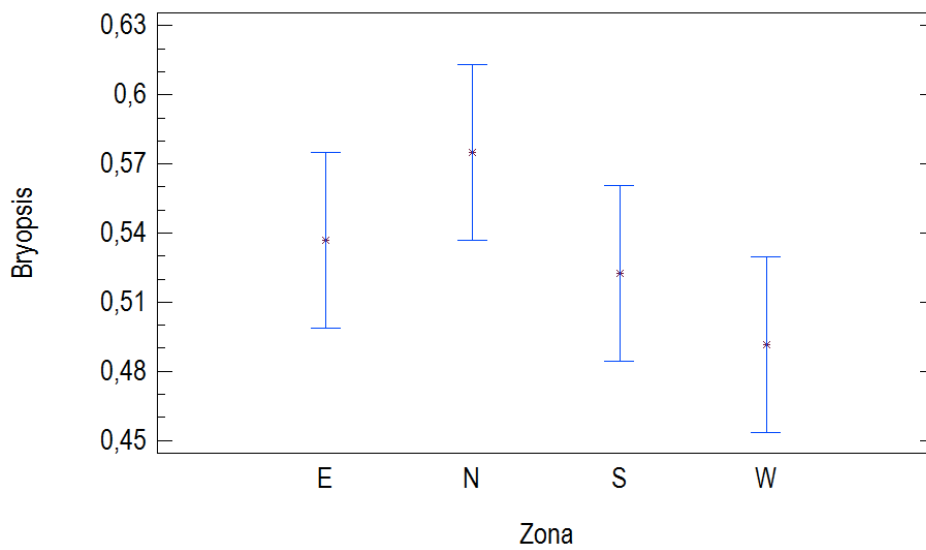


Figura 54. Gráfica de medias de recubrimiento en porcentaje, con sus correspondientes intervalos de Tukey al 95% para la especie *Bryopsis duplex* según la zona considerada para el periodo anual.

Atendiendo a la figura anterior, vemos cómo la zona Norte es la de mayor cobertura del epibionte, y la zona Oeste la de menor colonización por parte de este epibionte, existiendo diferencias significativas entre estas dos zonas extremas, como marcan los correspondientes intervalos de Tukey. También, y como se puede comprobar en la Tabla 48, el Tratamiento con antifouling es útil para controlar la especie *Bryopsis duplex* pues ha rebajado la presencia, en promedio, a una cuarta parte.

Se pasa ahora a desarrollar las interacciones encontradas en otoño para la especie *Bryopsis duplex*.

En la Figura 55 que se adjunta a continuación puede verse el porqué de la significación estadística en la interacción Profundidad x Tratamiento.

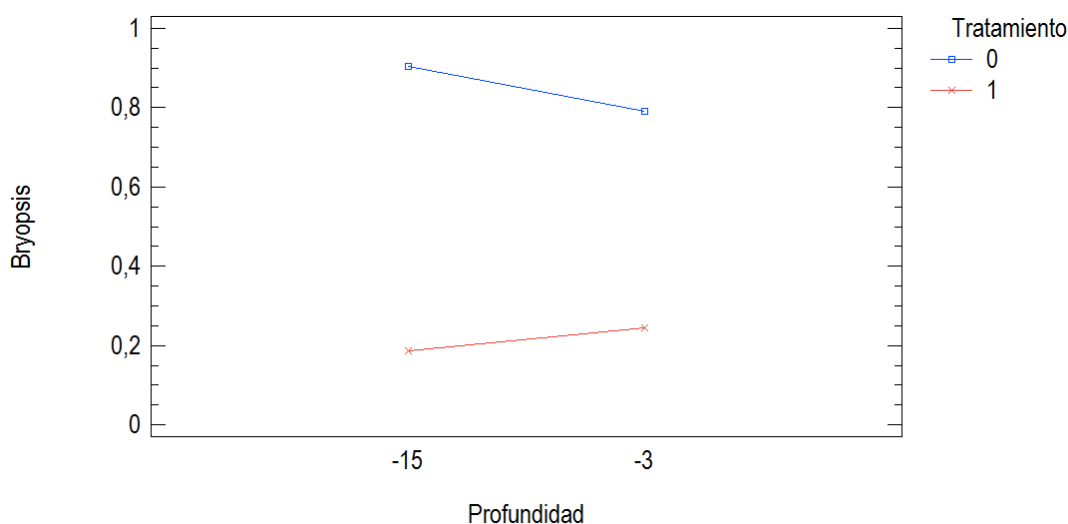


Figura 55. Gráfica de interacción de Profundidad x Tratamiento para la especie *Bryopsis duplex* en el periodo anual.

Como observamos en la Figura 54, las muestras con tratamiento antifouling siempre salen menos recubiertas de *Bryopsis duplex* que las no tratadas. En las muestras tratadas a la profundidad de 15 metros hay menos epibiontes que en las tratadas a 3 metros, aunque la diferencia no es estadísticamente significativa. En las muestras no tratadas es al contrario, habiendo más epibiontes *Bryopsis duplex* a mayor profundidad, con significación estadística en este caso. En la estación anterior, Otoño, ocurría lo contrario. Podría tener esto un significado acerca de la

actividad del antifouling a diversas profundidades con respecto a esta especie en cuestión, siendo éste un comportamiento muy poco común por lo que se ha estudiado hasta ahora.

Se expresa numéricamente la anterior figura en la tabla siguiente:

Tabla 49. Valores medios en porcentaje de cobertura e intervalos de confianza al 95%(entre paréntesis) de la especie *Bryopsis duplex* para las combinaciones derivadas de los factores Profundidad y Tratamiento para el periodo anual.

FACTORES		
PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO
15	0 (No)	90,41% (86,35-94,47)
15	1(Sí)	18,66% (14,60-22,72)
3	0(No)	79% (74,93-83,06)
3	1(Sí)	24,5% (20,43-28,56)

4.2.3.6 ANOVA para la especie *Jania rubens* en el periodo anual.

En el análisis del epibionte *Jania rubens* (Tabla 50) se han retirado los datos concernientes a profundidad, ya que no se ha encontrado a esta alga a una profundidad de 15 metros, lo que distorsionaría por tanto los resultados generados por el ANOVA. Así, y al contrario de lo que pasaba con esta alga en la anterior estación, donde había significación estadística en todos los efectos simples estudiados y su interacción, no se encuentra significación estadística en sus efectos simples ni en la interacción entre ellas.

Tabla 50. Tabla de ANOVA para la especie *Jania rubens* en el periodo anual.

FUENTE	Suma cuadrados	GL	Cuadrado medio	Estadis F	p- Valor
EFFECTOS					
A: Tratamiento	0,00120417	1	0,00120417	0,61	0,4463
B: Zona	0,0019125	3	0,0006375	0,32	0,8088
INTERACCIONES					
AB	0,0144458	3	0,00481528	2,44	0,1022
RESIDUAL	0,0316	16	0,001975		
TOTAL	0,0491625	23			

4.2.3.7 ANOVA para la especie *Mytilus galloprovincialis* en el periodo anual

En el caso del epibionte *Mytilus galloprovincialis*, es en esta estación cuando aparece por primera vez. El tratamiento ha sido altamente efectivo, hasta el punto de que no haya crecido ningún molusco de esta especie en las muestras con tratamiento antifouling. Debido a que no se encuentran epibiontes de esta especie en el periodo anual en las muestras que han sido tratadas con pintura antifouling, se han retirado del ANOVA los datos de *Mytilus galloprovincialis* de muestras con Tratamiento; se ha realizado el ANOVA sólo con la Profundidad y la Zona. Así, esta especie no muestra ninguna significación estadística en sus efectos simples estudiados, ni en sus interacciones, para un riesgo de primera especie del 5%, tal y como se muestra a continuación en la Tabla 51.

Tabla 51.Tabla de ANOVA para la especie *Mytilus galloprovincialis* en el periodo anual.

<i>FUENTE</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>GL</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Estadis F</i>	<i>p- Valor</i>
EFFECTOS					
A:Zona	31,4583	3	10,4861	2,62	0,0864
B:Profundidad	2,04167	1	2,04167	0,51	0,4853
INTERACCIONES					
AB	12,4583	3	4,15278	1,04	0,4024
RESIDUAL	64,0	16	4,0		
TOTAL (CORRECTED)	109,958	23			

4.2.3.8 Resumen de los análisis realizados sobre la presencia de epibiontes en el periodo anual.

Una vez estudiados los epibiontes individualmente en el periodo anual, se realizan unos comentarios globales sobre todas las especies analizadas. Es importante resaltar, que los resultados en el periodo anual serían los más interesantes porque son los que recogen más información al ser los que más tiempo han pasado sumergidos.

Así, En la Tabla 52 se muestran los p-valores asociados a los efectos estudiados en el ANOVA para todas las especies consideradas en la muestra anual. Los p-valores asociados a efectos significativos han sido resaltados en color rojo en la tabla. Hay que indicar también que ya aparece la especie *Mytilus galloprovincialis*.

Tabla 52. P-valores de los efectos analizados en los ANOVA de las distintas especies, en el periodo anual. (Se representan en color rojo los p-valores asociados a efectos significativos).

	<i>Elasmo</i>	<i>Jassa</i>	<i>Caprella</i>	<i>Ceramium</i>	<i>Bryopsis</i>	<i>Jania</i>	<i>Mytilus</i>
EFFECTOS							
A:PROFUN	0,749	0,399	0,314	0,001	0,172		0,485
B:TRATAM	0,000	0,000	0,000	0,918	0,000	0,446	
C:ZONA	0,008	0,007	0,026	0,082	0,044	0,808	0,806
INTERAC							
AB	0,250	0,008	0,032	0,2631	0,000		
AC	0,710	0,258	0,387	0,2597	0,059		0,402
BC	0,090	0,168	0,038	0,0023	0,377	0,102	

Nótese que en *Mytilus galloprovincialis* no aparece el Tratamiento en la Tabla 52, aunque es obvio, tal y como se ha indicado en el anterior apartado, que es efectivo y con ello, ninguna interacción con Tratamiento. Así mismo, en *Jania rubens* tampoco aparecen los datos concernientes a la Profundidad, aunque también en este caso es obvio su efecto.

En cuanto a las interacciones entre los tres factores estudiados en el periodo anual (Tratamiento, Profundidad y Zona) se observa que no hay una interacción significativa constante para las especies recogidas, es decir, una interacción repetida y que afecte siempre a todos y cada uno de los epibiontes. Tampoco hay un factor simple que sea constante a todos los epibiontes.

De la Tabla 52 se puede extraer también cómo el factor Profundidad tiene influencia (efecto simple o interacción) en todas las especies a excepción de *Mytilus galloprovincialis* y *Elasmopus pociillimanus*. El factor Tratamiento es también muy influyente en todas las especies encontradas en anual a excepción de *Jania rubens*, lo cual nos puede estar hablando de su fortaleza contra el antifouling. El factor Zona es muy influyente en todas las especies a excepción de *Jania rubens*, *Mytilus galloprovincialis* y *Ceramium ciliatum*. Los comportamientos de los epibiontes en el

periodo anual, comparados con las estaciones anteriores no son nada parecidos, desarrollando unas respuestas muy diferentes a las estaciones previas.

De manera constante los epibiontes han crecido notablemente más a una profundidad de 15 metros que a una profundidad de 3 metros, respuesta completamente diferente a como lo había hecho hasta ahora. Sólo *Ceramium ciliatum* y *Jania rubens* crecen mejor a 3 metros.

Atendiendo a la pintura antifouling, su uso siempre hace que aparezcan menos epibiontes, en todas las orientaciones y en todas las profundidades muestreadas, con la salvedad de *Ceramium ciliatum* en la zona Norte que, como se ha explicado anteriormente, podría deberse a un fallo en el proceso de pintura del antifouling.

En cuanto a la presencia por zona en el periodo anual, se comprueba que es en el Norte donde tenemos los mayores porcentajes de recubrimiento, a excepción de *Ceramium ciliatum* y *Jania rubens* que lo hacen más en el Sur

La insolación, debido a la orientación de la granja, es más importante en las muestras de Sur y Norte y es en la zona Norte, donde más corriente y horas de luz se recibe, donde más crecimientos de algas ha habido debido a todo ello (Guerra-García, 2001), lo que hará que al tener un mayor sustrato de algas, las larvas se puedan desarrollar más que en las zonas con menos cobertura de algas. Se podría desprender también, que estas algas no son inhibidoras del crecimiento de los epibiontes animales, sino al contrario, la base de su desarrollo.

5.CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones y contribuciones

1. En la etapa final, se encuentran más epibiontes a una profundidad de 15 metros que a 3 metros, en contra de lo que cabría esperar, salvo en el caso de la especie *Ceramium ciliatum* y *Jania rubens*.
2. Los epibiontes *Jania rubens* y *Mytilus galloprovincialis* no se encuentran en las etapas iniciales de la colonización, apareciendo *Mytilus galloprovincialis* sólo en las etapas finales (periodo anual).
3. El tratamiento antifouling afecta a todos los epibiontes, disminuyendo su crecimiento de manera notoria, siendo el género *Mytilus* en el que más se constata su eficacia al impedir por completo su desarrollo.
4. Los epibiontes han colonizado de manera más significativa la zona Norte, siendo la zona Este en la que menos desarrollo han tenido, posiblemente debido a las corrientes predominantes de componente NE y su aporte larvario.

6.BIBLIOGRAFÍA

6. 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.

Abelson, A., Denny, M. (1997). Settlement of marine organism in flow. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28: 317–339.

Apromar, (2005). La acuicultura marina de Peces en España 2004. Cádiz, España, pp3-9.

Apromar, (2013). La acuicultura en España 2013. Cádiz, España, pp 97.

Apromar, (2014). La acuicultura en España 2014. Cádiz, España, pp 90.

Apromar, (2015). La acuicultura en España 2015. Cádiz, España, pp14–36.

Apromar, (2016). La acuicultura en España 2016. Cádiz, España, 88 pp.

Baine, M. (2001). Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, 44: 241–259.

Baynes, T.W. (1999). Factors structuring a subtidal encrusting community in the southern gulf of California. *Bulletin of Marine Science*, 64: 419–450.

Beech, I.B, Mauricio, P., Coutinho, C., Zinkevich, V. (2002). Abstracts of the 11th Congress on Marine Corrosion and Fouling, San Diego, CA, July 21–26.

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.

Black, K.D. (2001). Sustainability of aquaculture. *Environmental effects of aquaculture*, 199–212.

Blanco, M., Sotelo, C.G., Chapela, R.I., Pérez-Martín, M. (2007). Towards sustainable and efficient use of fishery resources: present and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 18: 29–36.

Boudouresque, C.F. (1971). Méthodes d'étude qualitative et quantitative du benthos. *Tethys*, 3: 79–104.

Braithwaite, R.A., McEvoy, L.A. (2005). Marine Biofouling on Fish Farms and its Remediation. *Advances in Marine Biology*, 47: 215–252.

Braithwaite, R.A., CaDavid-Carrascosa, M.C., Lesley, A., McEvoy, L.A. (2007). Biofouling of salmon cage netting and the efficacy of a typical copper-based antifoulant. *Aquaculture*, 262 (2-4): 219–226.

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.

Chapela, A., González, A. F., Dawe, E.G., Rocha, F.J. Guerra, A. (2006). Growth of common octopus (*Octopus vulgaris*) in cages suspended from rafts. *Scientia Marina*, 70: 34–38.

Characklis, W.G. (1984). Biofilm development: a process analysis. *Microbial Adhesion and Aggregation*, 137–157.

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.

Coppejans, E. (1983). A preliminary study of the tropical marine fouling organisms on floating net cages. *Malayan Natural Journal*, 33: 39–48.

De la Gandara, F. (2006). ¿Por que no se ha desarrollado el cultivo de *Seriola dumerili* en el Mediterráneo? Actav IV Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura CIVA 326–340.

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 reared Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 221: 13–22.

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.

FAO (2003). Acuicultura: principales conceptos y definiciones En: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado el 18 de febrero de 2005. Obtenida el 5 de mayo de 2012, de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>

FAO (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma, Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. 231 pp.

FAO (2015). FishStatJ - software for fishery statistical time series. Roma, Italia. Disponible en <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>.

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

Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., de Nys, R. (2012). The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *The Journal of Biohesion and Biofilm Research*, 28(7): 649–669.

Fux, C.A., Costerton, J.W., Stewart, P.S., Stoodley, P. (2005). Survival strategies of infectious

biofilms. *Trends in Microbiology*, 13(1): 34–40.

Gaines S.D. (1985). Larval settlement rate: a leading determinant of structure in ecological community of the marine intertidal zone. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 82(11): 3707–3711.

Glasby, T.M., Connell, S.D. (2001). Orientation and position of substrata have large effects on epibiotic assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 214: 127–135.

Guerra-García, J.M. (2001). Habitat use of the Caprellidea (Crustacea: Amphipoda) from Ceuta, North Africa. *Ophelia*, 55: 27-38.

Hadfield, M.G. (1986). Settlement and recruitment in marine invertebrates: A perspective and some proposals. *Bulletin of Marine Science*, 39(2): 418–425.

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.

Iglesias, J., Otero, J.J., Moxica, C., Fuentes, L., Sánchez, F.J. (2004). The Completed Life Cycle of the Octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier) under Culture Conditions: Paralarval Rearing using *Artemia* and Zoeae, and First Data on Juvenile Growth up to 8 Months of Age. *Aquaculture Internacional*, 12(4): 481–487.

Jobson, J.D. (1992). Applied multivariate data analysis. Volume II: Categorical and multivariate methods. New York, *Springer-Verlag*.

Jonsson, P.R., Berntson, K., Larsson, A.I. (2004). Linking larval supply to recruitment: flow mediated control of initial adhesion of barnacle larvae. *Ecology*, 85: 2850–2859.

Kalaman, V.V. (2001). Fouling communities of mussel aquaculture installations in the white sea. *Russian Journal of Marine Biology*, 27: 227–237.

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.

Kavouras, J., Maki, J. (2003). The Effects of Natural Biofilms on the Reattachment of Young Adult Zebra Mussels to Artificial Substrata. *Biofouling*, 19(4) 247–256.

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.

Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Neter, J., Li, W. (2005). Applied linear statistical Models. New York, Mc Graw-Hill.

Legendre, P., Gallagher, E.D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129: 271–280.

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.

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.

Mannino, A.M., Gianluca, S. (2008). Effects of fish-farm biodeposition on periphyton assemblages on artificial substrates in the southern Tyrrhenian Sea (Gulf of Castellammare, Sicily). *Aquatic Ecology*, 42: 575–581.

Mayer-Pinto, M., Junqueira, A.O.R. (2003). Effects of organic pollution on the initial development of fouling communities in a tropical bay, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 1495–1503.

Menge B.A. (2000). Recruitment versus postrecruitment processes as determinant of barnacle population abundance. *Ecological Monographs*, 70: 565–288.

Mercasa, (2014). Alimentación en España. Estudio nacional de consumo de pescado.

Montgomery, D.C. (1991). Diseño y análisis de Experimentos. México, Grupo editorial Iberoamericana.

Muraccidi, P., Gándara, F., García-Gómez, A. (2000). Intensive farming potential of *Seriola dumerilli* (Risso 1810) in Corsica. *Recent advances in Mediterranean aquaculture finfish species diversification*. 267–273.

Naylor, R., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the united states of America*, 106(36): 68–122.

Ortega, A., Seoska, M., Belmonte, A., Prieto, J.R., Vinguri, J., De la Gándara, F. (2011). Cultivo larvario de atún rojo (*Thunnus thynnus*) en el Centro Oceanográfico de Murcia (IEO). Comunicación enviada al XIII Congreso Nacional de Acuicultura. Castelldefels (Barcelona), pp 4–19.

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.

Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes. Madrid, Mc Graw-Hill.

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.

Pineda, J. (1991). Predictable Upwelling and the Shoreward Transport of Planktonic Larvae by Internal Tidal Bores. *Science*, 253: 546–551.

Phillippi, A.L., O' conner, N.J., Lewis, A.F., Kim, Y.K. (2001). Surface flocking as a possible anti-biofoulant. *Aquaculture*, 195: 225–238.

Quian P.Y. (2000). Macrofouling in unidirectional flow: miniature pipes as experimental models for studying the interaction of flow and surface characteristics on the attachment of barnacle, bryozoan and polychaete larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 207:109–121.

Qiu, J.W., Thiyagarajan, V., Leung, A.W.Y., Qian, P.Y. (2003). Development of a marine subtidal epibiotic community in Hong Kong: implications for deployment of artificial reefs. *Biofouling*, 19: 37–46.

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. Repport* 428: pp 108–113

Relini, M., Montanari, M. (2000). An offshore buoy as small artificial island and fish-aggregating device in the Mediterranean. *Hydrobiologia*, 440, 65–80.

Roughgarden, J. (1988). Recruitment dynamics in complex life cycles. *Science*, 241: 1460–1466.

Sarà, G., Scilipoti, D., Milazzo, M., Modica, A. (2006). The fouling community as an indicator of fish farming impact in Mediterranean. *Aquaculture Research*, 38: 66–75.

Solberg, C.B., Saethre, L., Julshamn, K. (2002). The effect of coppertreated net pens on farmed salmon (*Salmo salar*) and other marine organisms and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 45: 126–132.

Subasinghe, R.P. (2004). *Aquaculture in the Global Food Supply*. FAO, Rome.

Voulvoulis, N., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N. (1999). Alternative antifouling biocides. *Applied Organometallic Chemistry*, 13: 135–143.

Varo, J., Ramirez, J. (1979). Aspectos de la distribución algal en el litoral granadino. *Acta Botánica Malacitana*, 5: 39-50.

Wahl, M. (1989). Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: Some basic aspects. *Marine ecology progress series*, 58(1-2): 175–189.

Whelan, A., Regan, F. (2006). Antifouling strategies for marine and riverine sensors. *Journal of Environmental Monitoring*, 8: 880–886.

Whomensley, P., Picken, G.B. (2003). Long-term dynamics of fouling communities found on offshore installations in the North Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(5): 897–901.

Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) (1952). “Marine fouling and its prevention”. US Naval Institute, Annapolis, Iselin, COD

Yan, T., Yan, W., Dong, Y., Wang, H., Yan, Y., Liang, G. (2006). Marine fouling of offshore installations in the northern Beibu Gulf of China. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 58: 99–105.

Tao, Y., Shanshan, L., Wenhao, C. (2008). Marine Biofouling on Aquaculture Facilities in the Coastal Waters of China and Prevention Methods. *Marine Science Bulletin*.

7.ANEJO: Datos experimentales

Tabla a. Identificación de cada una de las placas (placas de la 1 a la 48) correspondientes a la zona Sur

nºmuestra	placa	control	control	ZONA	PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	RECOLECCIÓN
1	1	0	0	S	-3	0	anual
2	0	a	0	S	-3	0	anual
3	0	0	b	S	-3	0	anual
4	1	0	0	S	-3	0	primav
5	0	a	0	S	-3	0	primav
6	0	0	b	S	-3	0	primav
7	1	0	0	S	-3	0	verano
8	0	a	0	S	-3	0	verano
9	0	0	b	S	-3	0	verano
10	1	0	0	S	-3	0	otoño
11	0	a	0	S	-3	0	otoño
12	0	0	b	S	-3	0	otoño
13	1	0	0	S	-3	1	anual
14	0	a	0	S	-3	1	anual
15	0	0	b	S	-3	1	anual
16	1	0	0	S	-3	1	primav
17	0	a	0	S	-3	1	primav
18	0	0	b	S	-3	1	primav
19	1	0	0	S	-3	1	verano
20	0	a	0	S	-3	1	verano
21	0	0	b	S	-3	1	verano
22	1	0	0	S	-3	1	otoño
23	0	a	0	S	-3	1	otoño
24	0	0	b	S	-3	1	otoño
25	1	0	0	S	-15	0	anual
26	0	a	0	S	-15	0	anual
27	0	0	b	S	-15	0	anual
28	1	0	0	S	-15	0	primav
29	0	a	0	S	-15	0	primav
30	0	0	b	S	-15	0	primav
31	1	0	0	S	-15	0	verano
32	0	a	0	S	-15	0	verano
33	0	0	b	S	-15	0	verano
34	1	0	0	S	-15	0	otoño
35	0	a	0	S	-15	0	otoño
36	0	0	b	S	-15	0	otoño
37	1	0	0	S	-15	1	anual
38	0	a	0	S	-15	1	anual
39	0	0	b	S	-15	1	anual
40	1	0	0	S	-15	1	primav
41	0	a	0	S	-15	1	primav
42	0	0	b	S	-15	1	primav
43	1	0	0	S	-15	1	verano
44	0	a	0	S	-15	1	verano
45	0	0	b	S	-15	1	verano
46	1	0	0	S	-15	1	otoño
47	0	a	0	S	-15	1	otoño
48	0	0	b	S	-15	1	otoño

Tabla b. Identificación de cada una de las placas (placas de la 49 a la 96) correspondientes a la zona Oeste

nºmuestra	placa	control	control	ZONA	PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	RECOLECCIÓN
49	1	0	0	W	-3	0	anual
50	0	a	0	W	-3	0	anual
51	0	0	b	W	-3	0	anual
52	1	0	0	W	-3	0	primav
53	0	a	0	W	-3	0	primav
54	0	0	b	W	-3	0	primav
55	1	0	0	W	-3	0	verano
56	0	a	0	W	-3	0	verano
57	0	0	b	W	-3	0	verano
58	1	0	0	W	-3	0	otoño
59	0	a	0	W	-3	0	otoño
60	0	0	b	W	-3	0	otoño
61	1	0	0	W	-3	1	anual
62	0	a	0	W	-3	1	anual
63	0	0	b	W	-3	1	anual
64	1	0	0	W	-3	1	primav
65	0	a	0	W	-3	1	primav
66	0	0	b	W	-3	1	primav
67	1	0	0	W	-3	1	verano
68	0	a	0	W	-3	1	verano
69	0	0	b	W	-3	1	verano
70	1	0	0	W	-3	1	otoño
71	0	a	0	W	-3	1	otoño
72	0	0	b	W	-3	1	otoño
73	1	0	0	W	-15	0	anual
74	0	a	0	W	-15	0	anual
75	0	0	b	W	-15	0	anual
76	1	0	0	W	-15	0	primav
77	0	a	0	W	-15	0	primav
78	0	0	b	W	-15	0	primav
79	1	0	0	W	-15	0	verano
80	0	a	0	W	-15	0	verano
81	0	0	b	W	-15	0	verano
82	1	0	0	W	-15	0	otoño
83	0	a	0	W	-15	0	otoño
84	0	0	b	W	-15	0	otoño
85	1	0	0	W	-15	1	anual
86	0	a	0	W	-15	1	anual
87	0	0	b	W	-15	1	anual
88	1	0	0	W	-15	1	primav
89	0	a	0	W	-15	1	primav
90	0	0	b	W	-15	1	primav
91	1	0	0	W	-15	1	verano
92	0	a	0	W	-15	1	verano
93	0	0	b	W	-15	1	verano
94	1	0	0	W	-15	1	otoño
95	0	a	0	W	-15	1	otoño
96	0	0	b	W	-15	1	otoño

Tabla c. Identificación de cada una de las placas (placas de la 97 a la 144) correspondientes a la zona Norte.

nºmuestra	placa	control	control	ZONA	PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	RECOLECCIÓN
97	1	0	0	N	-3	0	anual
98	0	a	0	N	-3	0	anual
99	0	0	b	N	-3	0	anual
100	1	0	0	N	-3	0	primav
101	0	a	0	N	-3	0	primav
102	0	0	b	N	-3	0	primav
103	1	0	0	N	-3	0	verano
104	0	a	0	N	-3	0	verano
105	0	0	b	N	-3	0	verano
106	1	0	0	N	-3	0	otoño
107	0	a	0	N	-3	0	otoño
108	0	0	b	N	-3	0	otoño
109	1	0	0	N	-3	1	anual
110	0	a	0	N	-3	1	anual
111	0	0	b	N	-3	1	anual
112	1	0	0	N	-3	1	primav
113	0	a	0	N	-3	1	primav
114	0	0	b	N	-3	1	primav
115	1	0	0	N	-3	1	verano
116	0	a	0	N	-3	1	verano
117	0	0	b	N	-3	1	verano
118	1	0	0	N	-3	1	otoño
119	0	a	0	N	-3	1	otoño
120	0	0	b	N	-3	1	otoño
121	1	0	0	N	-15	0	anual
122	0	a	0	N	-15	0	anual
123	0	0	b	N	-15	0	anual
124	1	0	0	N	-15	0	primav
125	0	a	0	N	-15	0	primav
126	0	0	b	N	-15	0	primav
127	1	0	0	N	-15	0	verano
128	0	a	0	N	-15	0	verano
129	0	0	b	N	-15	0	verano
130	1	0	0	N	-15	0	otoño
131	0	a	0	N	-15	0	otoño
132	0	0	b	N	-15	0	otoño
133	1	0	0	N	-15	1	anual
134	0	a	0	N	-15	1	anual
135	0	0	b	N	-15	1	anual
136	1	0	0	N	-15	1	primav
137	0	a	0	N	-15	1	primav
138	0	0	b	N	-15	1	primav
139	1	0	0	N	-15	1	verano
140	0	a	0	N	-15	1	verano
141	0	0	b	N	-15	1	verano
142	1	0	0	N	-15	1	otoño
143	0	a	0	N	-15	1	otoño
144	0	0	b	N	-15	1	otoño

Tabla d. Identificación de cada una de las placas (placas de la 97 a la 144) correspondientes a la zona Este.

	placa	control	control	ZONA	PROFUNDIDAD	TRATAMIENTO	RECOLECCIÓN
145	1	0	0	E	-3	0	anual
146	0	a	0	E	-3	0	anual
147	0	0	b	E	-3	0	anual
148	1	0	0	E	-3	0	primav
149	0	a	0	E	-3	0	primav
150	0	0	b	E	-3	0	primav
151	1	0	0	E	-3	0	verano
152	0	a	0	E	-3	0	verano
153	0	0	b	E	-3	0	verano
154	1	0	0	E	-3	0	otoño
155	0	a	0	E	-3	0	otoño
156	0	0	b	E	-3	0	otoño
157	1	0	0	E	-3	1	anual
158	0	a	0	E	-3	1	anual
159	0	0	b	E	-3	1	anual
160	1	0	0	E	-3	1	primav
161	0	a	0	E	-3	1	primav
162	0	0	b	E	-3	1	primav
163	1	0	0	E	-3	1	verano
164	0	a	0	E	-3	1	verano
165	0	0	b	E	-3	1	verano
166	1	0	0	E	-3	1	otoño
167	0	a	0	E	-3	1	otoño
168	0	0	b	E	-3	1	otoño
169	1	0	0	E	-15	0	anual
170	0	a	0	E	-15	0	anual
171	0	0	b	E	-15	0	anual
172	1	0	0	E	-15	0	primav
173	0	a	0	E	-15	0	primav
174	0	0	b	E	-15	0	primav
175	1	0	0	E	-15	0	verano
176	0	a	0	E	-15	0	verano
177	0	0	b	E	-15	0	verano
178	1	0	0	E	-15	0	otoño
179	0	a	0	E	-15	0	otoño
180	0	0	b	E	-15	0	otoño
181	1	0	0	E	-15	1	anual
182	0	a	0	E	-15	1	anual
183	0	0	b	E	-15	1	anual
184	1	0	0	E	-15	1	primav
185	0	a	0	E	-15	1	primav
186	0	0	b	E	-15	1	primav
187	1	0	0	E	-15	1	verano
188	0	a	0	E	-15	1	verano
189	0	0	b	E	-15	1	verano
190	1	0	0	E	-15	1	otoño
191	0	a	0	E	-15	1	otoño
192	0	0	b	E	-15	1	otoño



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

