

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Eval. Amb. Ecosist. Marinos y Costeros

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“SISTEMAS DE FILTRADORES  
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE  
LAS AGUAS COSTERAS EN  
ÁREAS CON VERTIDOS Y  
ENTRADAS DIFUSAS DE  
NUTRIENTES”**

**TRABAJO FINAL DE MASTER**

Autor/a:

**Mateo Barreiro Simón**

Tutor/a:

**Miguel Rodilla Alama**

**Silvia Laura Falco Giaccaglia**

**GANDIA, 2020**

## **Agradecimientos**

Me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que han dado apoyo y ayuda para desarrollar este trabajo.

En primer lugar, dar las gracias a todos los profesores del Máster por los conocimientos que me han transmitido y que he aprendido a lo largo del curso académico. Además, a la UPV por el esfuerzo que ha puesto para que todos los alumnos pudiésemos terminar nuestros estudios en el difícil escenario que estamos viviendo. En segundo lugar, a mis tutores del TFM, Miguel Rodilla Alama y Silvia Laura Falco Giaccaglia, por todo su esfuerzo y ayuda que me han dado en todo momento para poder realizar este trabajo. En tercer lugar, quisiera agradecer también la ayuda que me han proporcionado Blanca y Alberto, en la colocación de los fondeos del cultivo. Finalmente, quisiera dar las gracias a mi familia, por su apoyo incondicional, sin ellos, no estaría donde estoy.

## Resumen

Los eventos de eutrofización son un problema cada vez más grave que afecta a las costas del mar Mediterráneo. Ante este escenario los países de la Unión Europea han desarrollado normativas como la DMA con el objetivo de mejorar la calidad del agua de las zonas costeras. Esta normativa hace necesario proponer soluciones y medidas que permitan cumplir con este objetivo. Las medidas de reducción de vertidos de nutrientes, que se han estado implementando hasta ahora, no han demostrado ser eficaces y ello, implica que es necesario diseñar nuevas soluciones para solventar los problemas de eutrofia. El uso del cultivo de mejillones es una herramienta con un gran potencial de desarrollo como medida de mitigación de los nutrientes, sobre todo, para eliminar las cargas de nutrientes de origen difuso. En este estudio se propone el uso de estos organismos para eliminar los inputs de nutrientes que llegan a la zona costera de la Safor. Los resultados del estudio demuestran que el cultivo experimental que se ha desarrollado es capaz de retirar nutrientes del agua. Además, la biomasa necesaria para conseguir este objetivo no es excesiva y el área que necesita ocupar en la zona de estudio es compatible con las actividades que se desarrollan.

## Palabras Clave

Cultivo de *Mytilus* sp, nutrientes, calidad del agua, vertidos, mar Mediterráneo.

## Abstract

Eutrophication events are a growing problem affecting the coasts of the Mediterranean Sea. Faced with this scenario, the countries of the European Union have developed regulations such as the WFD with the aim of improving water quality in coastal areas. These regulations make it necessary to propose solutions and measures to meet this objective. The measures to reduce nutrient discharges, which have been implemented so far, have not proved to be effective and this shows that it is necessary to design new solutions to solve the problems of eutrophication. The use of mussel cultivation is a tool with great potential for development as a nutrient mitigation measure, especially to eliminate nutrient loads of diffuse origin. This study proposes the use of these organisms to eliminate the nutrient inputs that reach the coastal area of La Safor. The results of the study show that the experimental crop that has been developed can remove nutrients from the water. Moreover, the biomass required to achieve this objective is not excessive and the area it needs to occupy in the study area is compatible with the activities being carried out.

## Key Words

Marineculture of *Mytilus* sp, nutrients, water quality, discharges, Mediterranean Sea

# Índice general

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. La necesidad de mejorar la calidad del agua de las zonas costeras .....	1
1.2. Estado ambiental del mar Mediterráneo.....	1
1.3. Cultivos de <i>Mytilus</i> sp para mejorar la calidad del agua en zonas costeras ....	4
1.3.1. Potencial para mejorar la calidad del agua .....	4
1.3.2. Beneficios en aguas costeras .....	7
1.4. Beneficios en los ecosistemas marinos .....	8
1.5. Aprovechamiento de la biomasa de los cultivos de <i>Mytilus</i> sp .....	9
1.6. Vulnerabilidad del cultivo de <i>Mytilus</i> sp: Cambio climático y toxicidad .....	10
<b>2. Objetivos del trabajo</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Materiales y métodos</b> .....	<b>12</b>
3.1. Descripción de la zona de estudio .....	12
3.2. Estructura para el cultivo: <i>Long-line</i> .....	15
3.3. Recolección de la semilla y preparación del cultivo.....	17
3.4. Análisis del sistema del cultivo para depuración de aguas.....	19
3.4.1. Crecimiento de <i>Mytilus</i> sp.....	19
3.4.2. Concentración de nutrientes (P total y N orgánico) en <i>Mytilus</i> sp .....	19
3.4.2.1. Recogida y procesado de las muestras .....	20
3.4.2.2. Determinación de fósforo total .....	20
3.4.2.3. Determinación de N orgánico .....	21
<b>4. Resultados</b> .....	<b>22</b>
4.1. Crecimiento de los mejillones del cultivo.....	22
4.2. Concentración de clorofila-a y temperatura en la zona de estudio .....	24
4.3. Acumulación y retirada de nutrientes .....	25
4.3.1. Concentración de nutrientes de referencia.....	25
4.3.2. Modelo de acumulación de nutrientes.....	26
4.3.3. Rendimiento del cultivo.....	27
4.3.4. Viabilidad de funcionamiento: Escenarios de vertidos .....	28
4.3.5. Viabilidad del cultivo: Espacio necesario .....	30
<b>5. Discusión</b> .....	<b>32</b>
<b>6. Conclusiones y líneas futuras</b> .....	<b>36</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>37</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Vertidos directos de aguas residuales urbanas en el Mar Mediterráneo desde ciudades de más de 10.000 habitantes (círculos morados) en el año 2003 y distribución espacial de la producción primaria media (en verde). Alb = Mar de Alborán; NW Med = Mediterráneo noroccidental; SW Med = Mediterráneo sudoccidental; Tyr = Mar Tirreno; Cen = Mediterráneo central; Ion = Mar Jónico; Adr = Mar Adriático; Aeg = Mar Egeo; N Lev = Levante del Norte; S Lev = Levante del Sur. (Powley et al., 2016). .....	3
Figura 2. Esquema de un sistema de cultivo típico en Long-Line (Lindahl & Kolberg., 2008) .....	5
Figura 3. Morfología interna de <i>Mytilus</i> sp (OESA-Fundación biodiversidad., 2017) ...	5
Figura 4. Principio del reciclaje de nutrientes a través del cultivo de mejillones (Lindahl & Kolberg., 2008) .....	6
Figura 5. Predicción de la reducción de pH en el océano en el período 2000-2100 (IPCC., 2014) .....	11
Figura 6. Pronóstico de la temperatura superficial en el océano en el periodo 2000-2100 (IPCC., 2014). .....	11
Figura 7. Acequias que vierten en el puerto. De arriba abajo: l'ahuir-nova, rei y el molí. (Sebastiá et al., 2012) .....	13
Figura 8. Roturas en el emisario submarino de Gandía-La Safor (Safor Guía., 2020). 14	
Figura 9. Localización del punto de fondeo del cultivo (elaboración propia). .....	15
Figura 10. Esquema general de un cultivo long-line (Karayücel et al., 2002) .....	16
Figura 11. Imagen a detalle de las bolsas de red atadas al fondeo. Imagen b estructura del cultivo .....	16
Figura 12. Imagen a pantalanes del puerto donde se recolectaron mejillones. Imagen b jaula flotante para la captación y recolecta de mejillones. ....	17
Figura 13. Medidas tomadas a cada individuo: 1 Longitud (L), 2 anchura (A) y 3 espesor (E) .....	18
Figura 14. Imagen a bolsa de red donde se introducen los mejillones para la colocación en las long-line. Imagen b ejemplar de <i>Mytilus</i> sp abierto. ....	18
Figura 15. Imagen a espectrofotómetro utilizado para medir la absorbancia. Imagen b autoclave utilizado para la digestión .....	21
Figura 16. Imagen a Digestor kjeldahl con los tubos de 250 ml. Imagen b destilador utilizado .....	22
Figura 17. Tamaño del área de estudio estimada, Fuente: elaboración propia con Google earth .....	31

## Índice de tablas

Tabla 1. N° de ejemplares (N) recolectados en las diferentes zonas.....	17
Tabla 2. Rango de tallas establecido para la clasificación por tamaños. ....	18
Tabla 3. Sistema de identificación y códigos para individualizar cada una de las redes colocadas en el cultivo.....	19
Tabla 4. Tiempo de crecimiento de cada uno de los fondeos del cultivo .....	19
Tabla 5. Peso fresco sin valva (PF), seco (PS) y % de humedad de los pools preparados para los análisis de fósforo total y nitrógeno orgánico.....	20
Tabla 6. Resumen de los parámetros biométricos iniciales por individuo.....	23
Tabla 7. Resumen de los parámetros biométricos finales por individuo .....	23
Tabla 8. Resultados del crecimiento por individuo para cada una las redes .....	24
Tabla 9. Tasas de crecimiento por individuo obtenidas para cada clase y la media global .....	24
Tabla 10. Tiempo de crecimiento, tasas de crecimiento en biomasa y longitud por individuo calculadas a partir de datos bibliográficos de otros trabajos.....	24
Tabla 11. Concentración de clorofila-a en la zona de estudio medidas por otros autores. ....	25
Tabla 12. Proporción de nutrientes en el tejido de mejillón de las muestras en peso seco por individuo. ....	25
Tabla 13. Datos bibliográficos del % de nutrientes en el tejido de mejillón en peso seco. *Datos obtenidos como la media del % N en peso seco observados por otros autores calculada por el autor de la cita.....	25
Tabla 14. Concentración obtenida de nutrientes por kg de mejillón en peso fresco completo. ....	26
Tabla 15. Estimación de nutrientes retenidos por individuo durante el cambio de una clase a otra en g/ind.....	26
Tabla 16. Cantidad de nutrientes acumulados por individuo en cada población.....	27
Tabla 17. Total, de nutrientes acumulados por individuo por clase inicial sembrada. ..	28
Tabla 18. Datos bibliográficos de inputs de nutrientes en la zona de estudio: Puerto a través de las acequias y aguas urbanas a través del emisario de la depuradora. ....	28
Tabla 19 Estimación de los nutrientes retenidos por individuo y clase de talla, cuando alcanza la talla G. ....	29
Tabla 20. Estimación de los nutrientes retenidos por individuo diaria y anualmente para la clase P y clase M respectivamente. ....	29
Tabla 21. Biomasa de clase P necesaria para compensar el input de nutrientes, en el escenario medio. ....	29
Tabla 22. Biomasa final de mejillones de clase M necesaria en el escenario medio. ..	30
Tabla 23. Biomasa final de mejillones de clase P necesaria en el escenario máximo. 30	
Tabla 24. Biomasa final de mejillones de clase M necesaria en el escenario máximo. 30	
Tabla 25. Productividades observadas de un sistema de cultivo long-line de mejillones en 1 hectárea.....	30
Tabla 26. Estimación del espacio, longitud de cuerda y número de long-line necesarios para cultivar la biomasa estimada para eliminar el 100% de los flujos de entrada en cada escenario planteado por clase de talla. ....	31
Tabla 27. Porcentaje de espacio ocupado respecto al área de estudio.....	31

## **1. Introducción**

### **1.1. La necesidad de mejorar la calidad del agua de las zonas costeras**

La protección y conservación de las zonas costeras se ha convertido en uno de los principales objetivos a conseguir para los países de la Unión Europea. Este planteamiento de conseguir un mejor estado ambiental de las aguas marinas costeras, se ha plasmado en la Directiva Marco del Agua (DMA), una normativa creada por el parlamento y el consejo europeo que plantea como objetivo a cumplir por los estados miembros, proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua superficial, incluidas las aguas costeras, para alcanzar un buen estado ecológico de las aguas superficiales a más tardar en quince años después de la entrada en vigor de la normativa (que ya ha sido prorrogada). En dicha directiva, las aguas costeras se definen como: “aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición”. Asimismo, establece un marco de actuación en política de aguas y exige a los países de la Unión Europea tomar medidas para conseguir el objetivo que se plantea en la normativa. En el caso del medio marino, se plantea proteger las aguas territoriales y marinas, y lograr los objetivos de los acuerdos internacionales, incluidos aquellos cuya finalidad es prevenir y erradicar la contaminación del medioambiente marino mediante medidas comunitarias, tales como: reducir gradualmente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias, con el objetivo final de conseguir concentraciones en el medio marino cercanas a valores normales de sustancias de origen natural (como los nutrientes) y próximas a cero de sustancias sintéticas artificiales (European Commission., 2000).

El planteamiento que se hace en la DMA justifica la necesidad de mejorar la calidad del agua en las zonas costeras a través del desarrollo de medidas o proyectos para lograr estos objetivos. Una solución que sé que se plantea en este trabajo de fin de máster, es el uso de organismos filtradores para reducir la concentración de nutrientes en el agua, permitiendo alcanzar los objetivos planteados en la Directiva. Además, no solo implican mejorar la calidad de las aguas marinas costeras, sino también, proteger los ecosistemas marinos.

### **1.2. Estado ambiental del mar Mediterráneo**

El Mediterráneo es un mar semicerrado y oligotrófico que se encuentra conectado con el océano atlántico a través del estrecho de Gibraltar, funcionando este, como un estuario de circulación negativa o antiestuarina. En este tipo de circulación el agua mediterránea más salada y densa sale de la cuenca por las capas inferiores, mientras que el agua del atlántico menos salada y densa entra en la cuenca por las capas superiores. Esta circulación que ocurre en el estrecho explica que sea oligotrófico, ya que, hay una exportación constante de N fuera del Mediterráneo. Además, este mar es deficitario en P. Este funcionamiento particular provoca que sea más vulnerable a los vertidos de origen antropogénicos (Moon et al., 2016).

El Mediterráneo se encuentra sometido a vertidos de materia orgánica, nutrientes (N y P) y contaminantes desde el origen de la humanidad, que se ha incrementado con la revolución industrial en el siglo XIX, y con los cambios de uso que ha sufrido la zona costera con la urbanización y el desarrollo del turismo a partir de mediados del siglo XX. Todo ello, ha provocado alteraciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos, y en la dinámica de los nutrientes, causando fenómenos de eutrofización. A todo ello se le suman los problemas de contaminación que padece. Sin embargo, como se trata de un mar oligotrófico, los procesos de eutrofia y contaminación

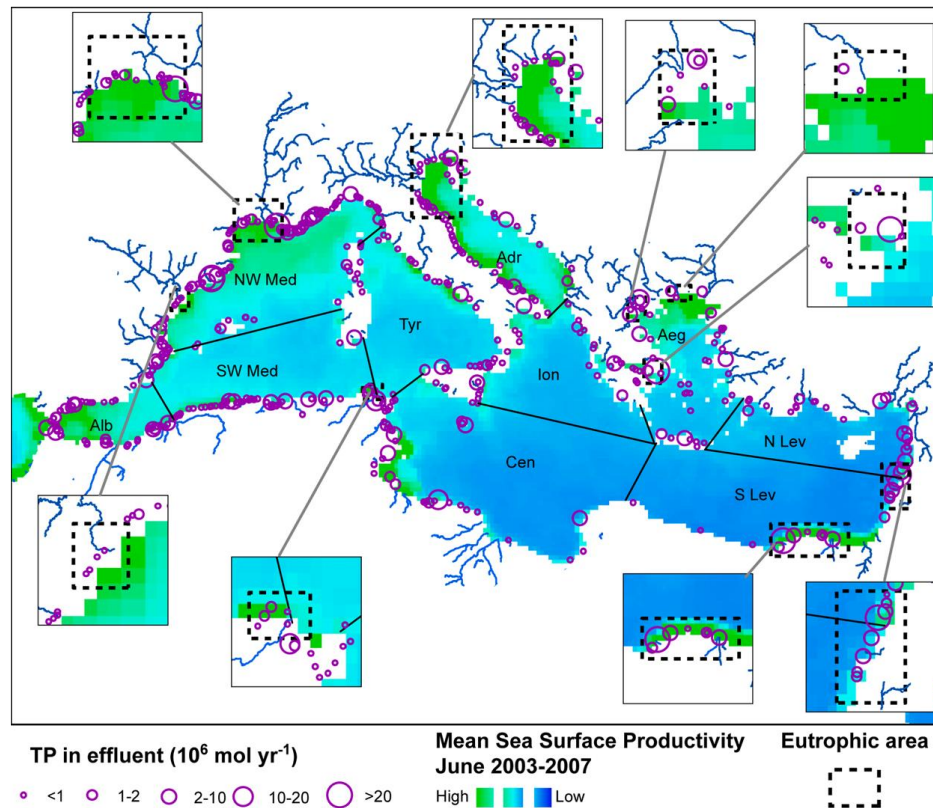
se encuentran concentrados principalmente en las zonas costeras, que son las que mayor degradación están sufriendo. Dichos problemas se van a agravar aún más debido al aumento de la población en la costa, la urbanización, el aumento de los cultivos agrícolas y de la llegada de turistas, que se estima en unos 312 millones en 2025 (Powley et al., 2016). Este aumento de usos y ocupación de la costa se prevé que cause un incremento de las entradas de N en un 51% y del P total reactivo en un 16% en el período 1950-2030. Estos inputs serían aún mayores si no hubiera una exportación constante de N a través del estrecho de Gibraltar al atlántico norte (Powley et al., 2018).

Las principales entradas de materia orgánica, nutrientes y contaminantes en el mar Mediterráneo son: los vertidos de aguas residuales (principalmente efluentes urbanos), la actividad agrícola, ríos y aguas subterráneas. Además, puede haber vertidos puntuales provocados por avenidas o eventos climáticos extremos como las DANAS. Estos impactos arrastran nutrientes y contaminantes a la zona costera, causando eutrofización y un empeoramiento en la calidad del agua (Moon et al., 2016). Todos estos vertidos de nutrientes cambian, además, las proporciones en la ratio N:P en el mar y como consecuencia, se altera la estructura de las especies en la comunidad fitoplanctónica. Estas modificaciones estructurales generan cambios en la producción primaria, y con frecuencia, estas alteraciones en la productividad suelen implicar cambios a mayor escala, y a largo plazo en el funcionamiento de los ecosistemas, incluyendo, alteraciones en la dinámica natural de los nutrientes, en las redes tróficas, e incluso en las pesquerías (Sebastiá et al., 2012).

Las aguas residuales urbanas de las ciudades costeras (figura 1), tanto tratadas como no tratadas, constituyen una de las principales fuentes de nutrientes y contaminantes. Estas aguas, se vierten directamente en el mar Mediterráneo en superficie o a través de emisarios submarinos desde depuradoras, y son el principal factor que causa eutrofización y contaminación por aguas fecales en las zonas costeras. Como ya se ha mencionado anteriormente, se pronostica que la población costera y la llegada masiva de turistas en la cuenca del Mediterráneo aumente. Por lo tanto, este tipo de vertidos urbanos es un problema cada vez más grave. Por otra parte, los ríos son poco caudalosos, debido a la propia climatología y al intenso aprovechamiento humano. El aporte fluvial es relativamente pequeño, pero puede aportar cargas de nutrientes elevadas en función de los usos predominantes en las cuencas. Finalmente, las aguas subterráneas cobran una mayor importancia como fuente principal de contaminación por los lixiviados que llegan a los acuíferos y acaban finalmente en el mar (Powley et al., 2016). Como puede observarse en la figura 1, la costa mediterránea española, la italiana, la francesa, la zona de Argelia, Túnez, la desembocadura del Nilo y la costa mediterránea oriental tiene numerosas de ciudades costeras, con una población muy importante. Por ello, son una fuente de entrada constante de aguas residuales urbanas cargadas de nutrientes y contaminantes que acaban llegando al mar. Por otro lado, existen los efluentes industriales que son más fáciles de regular y gestionar al existir una legislación específica, que obliga a tratar todas las aguas de origen industrial, para que se reduzcan los vertidos de P y N. No obstante, de forma puntual se pueden producir vertidos de nutrientes u otro tipo de contaminantes más difíciles de eliminar, como los POPs (Contaminantes orgánicos persistentes) o metales pesados (Sebastiá et al., 2012).



Figura 1. Vertidos directos de aguas residuales urbanas en el Mar Mediterráneo desde ciudades de más de 10.000 habitantes (círculos morados) en el año 2003 y distribución espacial de la producción primaria media (en verde). Alb = Mar de Alborán; NW Med = Mediterráneo noroccidental; SW Med = Mediterráneo sudoccidental; Tyr = Mar Tirreno; Cen = Mediterráneo central; Ion = Mar Jónico; Adr = Mar Adriático; Aeg = Mar Egeo; N Lev = Levante del Norte; S Lev = Levante del Sur. (Powley et al., 2016).



La actividad agrícola constituye la principal fuente de N en muchas regiones costeras del Mediterráneo. Debido al uso de fertilizantes y restos orgánicos de origen animal en la producción. Una parte de estos compuestos es incorporada a los cultivos (menos de la mitad) mientras que el resto, por escorrentía superficial e infiltración acaba en acuíferos, ríos, canales de riego o acequias, humedales costeros y finalmente en el mar. En la cuenca occidental del Mediterráneo español, la actividad agrícola es especialmente intensa, sobre todo por el cultivo de cítricos y arrozales. Además, en la costa mediterránea existen muchos humedales costeros como las marjales que han sido modificadas antropogénicamente para adaptarlas a los cultivos. Esto, supone cambios en los ciclos biogeoquímicos naturales de los nutrientes, agravando aún más el problema. La llegada de estos nutrientes a la zona costera, no solo de N si no también del P y del Si, causa graves impactos en los ecosistemas marinos como la eutrofización entre otros. Controlar este tipo de vertidos es sumamente difícil, ya que, muchas veces las fuentes de los vertidos son de origen muy difuso, y pueden venir de diferentes lugares y tener orígenes muy diversos. Todo ello, complica la búsqueda del origen del vertido y el desarrollo de una adecuada gestión (Sebastiá et al., 2012).

Todos estos problemas de exceso de nutrientes suponen un reto que es necesario abordar, para evitar que continúe empeorando el estado ambiental del Mediterráneo. Por ello, para intentar reducir la contaminación, tanto por nutrientes, como por contaminantes de origen antropogénico, los sistemas cultivo de organismos filtradores como los mejillones, podrían llegar a ser una solución para depurar las aguas y mejorar la calidad ambiental.

### 1.3. Cultivos de *Mytilus* sp para mejorar la calidad del agua en zonas costeras

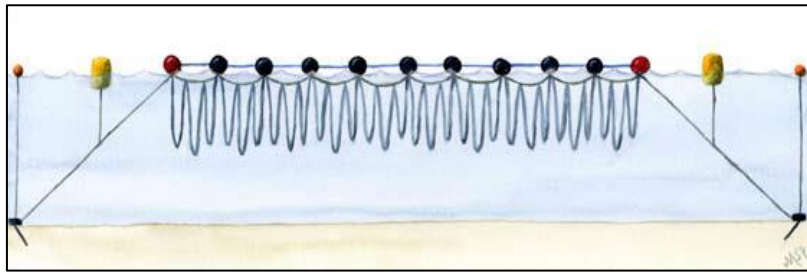
#### 1.3.1. Potencial para mejorar la calidad del agua

Los mejillones (*Mytilus* sp) son un género de moluscos bivalvos, exclusivamente acuáticos, muy comunes en los mares templados de todo el mundo, y su producción en sistemas de cultivo está ampliamente extendida. Hay cinco especies que se producen en el hemisferio norte (*M. edulis*, *M. galloprovincialis*, *M. trossulus*, *M. californianus* y *M. coruscus*) y dos en el hemisferio sur (*M. galloprovincialis* y *M. platensis*). Estos organismos se cultivan tanto para alimentación, como para la vigilancia ambiental de la contaminación antropogénica en aguas costeras, utilizándolos como organismos centinelas. Dicho uso proviene de las características biológicas y ecológicas de este género, que lo hace ideal para realizar dicha función. Su distribución en el océano depende de las condiciones ambientales, en concreto, de su tolerancia a la salinidad, temperatura y exposición al oleaje. Los taxones de *Mytilus* sp originalmente se distribuían así: *M. edulis* (región del Atlántico Norte), *M. galloprovincialis* (Mediterráneo), *M. trossulus* (Pacífico septentrional y el Mar Báltico), *M. californianus* (costa del Océano Pacífico nororiental) y *M. coruscus*, (costas del Océano Pacífico occidental subtropical) y *M. platensis* (América del Sur) (Beyer et al., 2017).

*Mytilus* sp es un organismo sésil, de tamaño medio-grande que se encuentra en aguas poco profundas formando grandes parches sobre cualquier sustrato duro. Tiene un tipo de alimentación suspensiva, es decir, se alimenta filtrando grandes volúmenes de agua para captar el fitoplancton que hay en ella. Esta alimentación le hace eficiente como acumulador de sustancias químicas, contaminantes, diferentes metales pesados como el Zn, Pb, Ni y Cr, biotoxinas, materia orgánica disuelta y nutrientes del agua de mar (Beyer, et al., 2017; Brzozowska et al., 2012). El género *Mytilus* sp llega a eliminar el 47% de la materia orgánica y algunas especies como el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) se ha observado que pueden llegar a eliminar hasta el 90% (Brzozowska et al., 2012). Por otro lado, *Mytilus* sp realiza servicios ecosistémicos muy importantes, ya que, proporciona alimento y hábitat para otras especies, y como consumidor primario, actúa de vehículo para la transferencia de la producción primaria a niveles tróficos superiores en el mar. (Beyer et al., 2017).

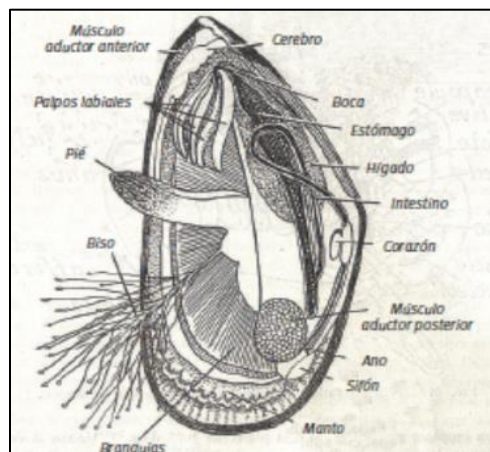
El cultivo de *Mytilus* sp está muy asentado en Europa, donde se produce el 50 % de la producción mundial. Entre los principales productores está España por el cultivo en el atlántico y menor medida el Mediterráneo (Smaal., 2002). Los métodos de cultivo que se utilizan para cultivar *Mytilus* sp son principalmente dos: por un lado, existen las bateas que son estructuras flotantes, hechas con una base de armazón de troncos, que se apoyan sobre de 1-6 flotadores de madera o acero y recubiertos de plástico, fijadas al fondo con cadenas o un ancla de cemento. De la infraestructura cuelgan las cuerdas donde se asientan las larvas o semillas de mejillones para su crecimiento (Figueras., 2007). Por otro lado, está el sistema de Long-line (Línea larga, figura 2) que son sistemas de palangre, que se basan en una larga cuerda principal, de hasta 200 metros de largo, que se fija a un sistema de anclaje en cada extremo. La cuerda principal se une a unos flotadores, cada cierta distancia, para que se mantenga a flote cerca de la superficie. De la cuerda principal se cuelgan cuerdas blandas de polietileno, que pueden ser de hasta 6 metros de largo, donde se asientan las larvas de mejillones (Lindahl & Kohlberg., 2008).

Figura 2. Esquema de un sistema de cultivo típico en Long-Line (Lindahl & Kolberg., 2008)



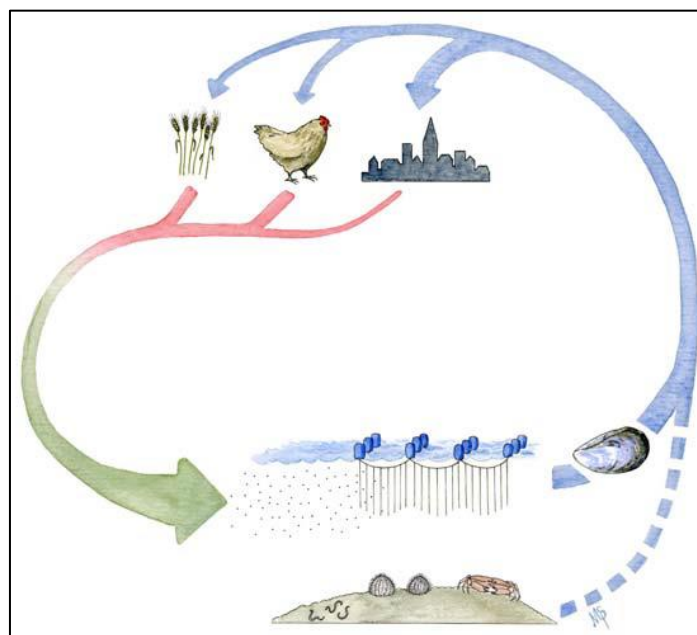
En estos sistemas de cultivo (bateas y long-line), para obtener la semilla e iniciar el cultivo existen dos metodologías principales: por un lado, se puede obtener de las poblaciones naturales de mejillones, que existen en sustratos duros, y llevarlas al cultivo colocándolas dentro de una red de algodón cerca de las cuerdas, para que desarrollen el biso, se adhieran a ellas y se sujeten de esta forma por sí mismos. Por otro lado, se puede captar directamente la semilla en el agua con las cuerdas. Estos métodos son viables, ya que, *Mytilus* sp en su ciclo de vital incluye varios estadios larvarios que nadan libremente (trocófora, veliger y pediveliger) durante un par de meses. Pasado ese tiempo, las larvas nadadoras sufren una metamorfosis y se acaban convirtiéndose en la semilla o mexilla. Esta, se fija a un sustrato (que pueden ser las cuerdas, captadores, o un sustrato duro) utilizando el biso, unas hebras que les permiten fijarse al sustrato y que son segregadas por un órgano llamado glándula del biso (figura 3). El reclutamiento de semilla del mejillón ocurre a lo largo de todo el año. Sin embargo, los principales picos de abundancia de las larvas son en primavera y otoño, siendo la primera estación, la más importante ya que la fijación es mucho mayor. Por ello, los captadores se colocan entre marzo-abril hasta septiembre-octubre (Beyer et al., 2017; Departamento de pesca y agricultura., 2004; OESA-Fundación biodiversidad.,2017).

Figura 3. Morfología interna de *Mytilus* sp (OESA-Fundación biodiversidad., 2017)



El principal uso de estos cultivos es para consumo humano. Sin embargo, también son una potencial herramienta para la depuración de las aguas costeras en zonas, donde existan vertidos de nutrientes, procedentes de descargas de aguas residuales urbanas u otras actividades humanas, como la agricultura. El uso de estos organismos con este fin permite recuperar los nutrientes que se descargan en el agua para el crecimiento de los mejillones y estos, se pueden utilizar para otros usos, como, por ejemplo, para fertilizantes en el campo. De esta forma, se puede generar un sistema de reciclaje de nutrientes (figura 4) a la vez que se consigue retirar el exceso que llega al mar, evitando de esta manera los fenómenos de eutrofización, disminuir su concentración en las zonas costeras y mejorar la calidad de agua, cumpliendo así con los reglamentos europeos en calidad de aguas. (Lindahl & Kolberg., 2008; European Commission., 2000).

Figura 4. Principio del reciclaje de nutrientes a través del cultivo de mejillones (Lindahl & Kolberg., 2008)



La utilidad de los cultivos de mejillones como biofiltros o filtros verdes para mejorar la calidad de agua, ya ha sido probada en algunos estudios previos, en diferentes zonas del mundo. En el estudio de Beyer et al (2017) se hace una de revisión del uso de los mejillones como organismos centinela para el monitoreo de la contaminación marina, y de los programas que se están desarrollando alrededor del mundo para la vigilancia ambiental utilizando estos organismos. El estudio concluye, que *Mytilus* sp es un organismo idóneo para realizar dicha función, ya que, son capaces de acumular una gran cantidad de contaminantes y nutrientes sin verse afectados seriamente. Además, son abundantes y de tamaños buenos para análisis químicos y bioquímicos. En otro trabajo de Brzowska et al (2012) se realizó un experimento, en condiciones de laboratorio, para comprobar el potencial de purificación del agua de mar a través de *Mytilus* sp y comprobar su capacidad de eliminar sustancias químicas, tales como, metales pesados y otras sustancias orgánicas. El estudio concluye que la biorremediación con organismos filtradores, como los bivalvos, es un método eficiente para mejorar la calidad del agua de mar, y matiza, que los mejillones son capaces de eliminar compuestos químicos como los metales pesados y la materia orgánica. Además, dependiendo de la especie, unas son más eficientes en la depuración del agua que otras. Finalmente, en un estudio de Lindahl et al (2005) se ha experimentado el potencial uso de los cultivos de mejillones en long-line para actuar tanto para la producción sostenible de alimentos, como para constituir un método rentable para mejorar la calidad de las aguas costeras. Este proyecto se desarrolló en *Skagerrak*, una región costera de Suecia con problemas de eutrofia. En el estudio se llega a la conclusión de que los cultivos de mejillones son idóneos para este fin, ya que, según estos autores cada cuerda del cultivo constituye un biofiltro en sí mismo, y son capaces de eliminar nutrientes del agua. Gracias a ellos se puede crear así un sistema de reciclado de nutrientes, mejorando, la calidad del agua, reduciendo la eutrofización, al mismo tiempo que se producen alimentos y se aprovechan los restos de biomasa para fertilizantes, logrando así reducir el uso de abonos de origen químico.

Estos estudios ponen de manifiesto el potencial de uso que tienen este tipo de cultivos de mejillones como una potente herramienta de gestión costera y depuración de aguas, en zonas con problemas de eutrofia. Gracias a su capacidad de retirar y acumular nutrientes y contaminantes que hay en el agua, consiguiendo de esta manera, un agua de mejor calidad ambiental.

### 1.3.2. Beneficios en aguas costeras

La ecología y biología de los organismos filtradores como *Mytilus* sp tiene un enorme potencial para una conservación y gestión adecuada de las aguas costeras. *Mytilus* sp es un organismo ideal para la biorremediación y para la protección de los ecosistemas marinos. Sus servicios ecosistémicos son vitales para el bienestar humano (Broszeit et al., 2016). La biorremediación se define como “la eliminación de los residuos del medio ambiente a través del almacenamiento, entierro y reciclaje” (Beaumont et al., 2007). Aplicando la biorremediación, se pueden conseguir aguas limpias, menos turbias, para poder obtener productos saludables del mar y unos ecosistemas en mejores condiciones. Los cultivos de *Mytilus* sp son idóneos para este fin. Su uso para la biorremediación trae consigo muchos beneficios para conseguir un mejor estado de salud en la zona costera. Al tratarse de poblaciones que viven en densidades altas, tienen la capacidad de influir en procesos pelágicos y bénticos, en el acoplamiento bentónico-pelágico y en los movimientos de nutrientes entre el sedimento y la columna de agua. Además, pueden transformar el material que filtran del agua (fitoplancton y materia orgánica) en material somático y reproductivo, y de esta manera, ayudar a la deposición de partículas en el bentos a través de la producción de heces y psuedoheces. Estos beneficios e influencias que tienen las poblaciones de *Mytilus* sp se realizan a través de tres mecanismos: primero, a través de la desintoxicación, que básicamente son procesos metabólicos que transforman los desechos en compuestos inofensivos o menos tóxicos, reduciendo los efectos en otras especies y en los propios mejillones. Otro mecanismo es la capacidad de secuestro y almacenamiento de residuos, para que no estén disponibles biológicamente en la columna de agua. El problema en este proceso radica en que la toxicidad se produce cuando se consumen *Mytilus* sp a través de la cadena trófica. Finalmente, está la exportación de materia orgánica y otros compuestos al ciclo bentónico-pelágico a través de las heces y psuedoheces y el entierro de estos materiales en el bentos (Broszeit et al., 2016).

Todos estos procesos llevan a que los cultivos y poblaciones naturales de *Mytilus* sp pueden ayudar a mitigar los procesos de eutrofización, uno de los más graves que afectan al medio marino. Este se produce cuando hay un exceso de nutrientes en el agua que causa un mayor crecimiento del fitoplancton y al envejecimiento del agua. *Mytilus* sp reduce la biomasa de fitoplancton y la materia orgánica presente en el agua y por extensión, disminuye la concentración de nutrientes y se reduce el crecimiento del fitoplancton, evitando la eutrofización (Lindahl et al., 2005; Broszeit et al., 2016; Srisunont & Babel., 2016). Esta capacidad permite que los cultivos de *Mytilus* sp puedan utilizarse para una gran variedad de usos como: el tratamiento de aguas residuales urbanas, depuración de aguas generadas en acuicultura intensiva y en la agricultura (Gao et al., 2008). De esta forma, se consigue mejorar la calidad del agua, utilizándolos como biofiltros en zonas costeras y estuarios de ríos. Todo ello gracias a que los cultivos de mejillones reducen el nitrógeno orgánico disuelto y la demanda biológica de oxígeno (DBO) (Lindahl & Kolberg., 2008; Srisunont & Babel., 2016). Se debe tener en cuenta, que la capacidad de depuración del agua de los mejillones depende de muchos factores, como el tamaño de los individuos, la tasa de asimilación, de excreción, de la tasa de crecimiento, y, además, de la especie (Gao et al., 2008; Srisunont & Babel., 2016; Beyer et al., 2017).

La capacidad que tienen los mejillones en influir en los ciclos biogeoquímicos del N y P, a través de la captación de nutrientes del agua y la exportación de materia orgánica al bentos, convierte a los cultivos de mejillones en una potente herramienta para controlar los blooms algales, gestionar la costa y regular la materia orgánica que llega al sedimento. De esta forma a través de ellos, se puede gestionar el estado de las aguas costeras y de los ecosistemas marinos de las mismas, además de influir y modificar los hábitats e incluso restaurarlos, al mejorar la calidad del agua.

#### 1.4. Beneficios en los ecosistemas marinos

Existen especies capaces de modificar los hábitats en los que viven, tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. Estas especies pueden tener efectos positivos o negativos en los mismos, facilitando la presencia de algunas especies e inhibiendo otras. Estas son las llamadas *especies ingenieras de ecosistemas*. Ejemplos de ello, son las praderas marinas, los arrecifes de coral, los grandes bosques de macroalgas y las poblaciones de *Mytilus* sp. Las poblaciones de mejillones tienen la capacidad de influir y modificar el hábitat y las comunidades marinas de formas diferentes: o bien a través de la estructura física que genera (los llamados arrecifes o parches de mejillones) o bien a través de su actividad biológica, afectando e influyendo en cada uno de los mecanismos del ecosistema que le rodea (Crooks & Khim., 1999; Norling & Kautsky., 2007). Por un lado, *Mytilus* sp tiene el potencial de cubrir todo el sustrato disponible e inhibir la presencia de otras especies y/o desplazar a la fauna bentónica. Por otro lado, a través de su actividad filtradora exportan la materia orgánica captada a la columna de agua y al bentos, provocando cambios en el medio (Norling & Kautsky., 2007; Srisunont & Babel., 2016). El efecto que tienen las poblaciones de *Mytilus* sp modificando el hábitat, ya ha sido estudiado previamente por otros autores. En el trabajo de Norling & Kautsky (2007) se comprobó que las propiedades estructurales físicas son las que afectan a la riqueza de especies, abundancia y composición. La estructura que forman sirve de superficie para la fijación de fauna y flora, y constituye un refugio para algunas especies, aumentando la complejidad del hábitat. En el estudio se vio que tanto las macroalgas como la macrofauna aumentan en riqueza en este tipo de hábitats. De las macroalgas que crecen en los parches de mejillones, dominan las macroalgas verdes como *Ulva* sp tal y como se comprueba en el estudio de Maurin et al (2019). Sin embargo, no son las únicas presentes, ya que, como la existencia de las conchas de mejillones constituye un sustrato duro epifitable, también aparecen otros géneros de macroalgas marrones como *Fucus* sp y macroalgas rojas. En cuanto a la macrofauna asociada presente, destacan organismos suspensívoros que tienen una relación comensal con los mejillones, como los balánidos entre otros, que se benefician de las corrientes que generan los mejillones y mantienen alejados a los competidores. Ya en el sedimento, hay presencia de crustáceos, gasterópodos, poliquetos y organismos detritívoros, que se benefician de los biodepósitos generados por las heces y pseudoheces que alteran el contenido de materia orgánica en el sedimento, mediante la exportación (Norling & Kautsky., 2007).

Otro efecto que tienen las poblaciones de mejillones es en la cadena trófica, debido a que *Mytilus* sp controla la producción primaria con la alimentación. Este organismo capta el fitoplancton y materia orgánica del agua, haciendo de esta forma una regulación de la biomasa de los productores primarios de abajo-arriba (bottom-top). Como exportador de los nutrientes al sedimento, contribuyen al reciclado de estos con los biodepósitos. Estos procesos que realizan influyen mucho en la estructura y estabilidad de la cadena trófica, en el estudio de Maurin et al (2019) se comprueba el efecto de un cultivo de *Mytilus* sp en la red trófica. Las observaciones de este trabajo concluyen que las poblaciones de mejillones influyen en la abundancia y biodiversidad de la fauna y flora asociada, siendo mayor en las zonas de los cultivos que en otras donde no los hay. No obstante, se debe tener en cuenta que los cultivos y poblaciones de mejillones pueden tener un efecto negativo en el ecosistema. Si hay un exceso de biodepósitos se puede incrementar demasiado la materia orgánica y convertir el sedimento en anóxico o incluso causar eutrofización. Por ello, se debe estudiar en detalle la región donde se colocan los cultivos, el régimen de corrientes el tipo de sustrato y la capacidad de carga del cultivo de mejillones que se define como “el número máximo de mejillones en una zona de cultivo que no afectará a la calidad del agua de mar” (Srisunont & Babel., 2016). De esta forma, los efectos serán positivos y se evitan los efectos negativos en el ecosistema.



La biología y ecología de *Mytilus* sp, su potencial como *especie ingeniera del ecosistema*, su capacidad de modificar el hábitat, unido al potencial que tienen las infraestructuras antropogénicas en el mar como nuevos hábitats susceptibles a ser colonizados por organismos sésiles (Airoldi & Bulleri., 2011), contribuyen a la regeneración del medio marino. Todo esto convierte a cualquier cultivo de mejillones (long-line, bateas...) en una herramienta para incrementar la biodiversidad y riqueza de especies de una región a nivel local. Al mismo tiempo, se pueden producir alimentos para consumo humano o se puede aprovechar la biomasa para otros usos y se mejora la calidad del agua.

### **1.5. Aprovechamiento de la biomasa de los cultivos de *Mytilus* sp**

El principal uso de los cultivos de mejillones es generar alimentos para consumo humano, cuya producción en Europa, está muy extendida (Smaal., 2002). Sin embargo, en aguas de baja calidad en las que hay presencia de contaminantes o biotoxinas, este uso no es posible. No obstante, existen otras utilidades y aplicaciones que pueden ser beneficiosas ambiental, social y económicamente. En algunos trabajos ya se han estudiado estos posibles usos para el aprovechamiento de la biomasa de mejillones y su concha. Entre estos usos se encuentra, la eliminación de P en aguas residuales, la generación de fertilizantes, crear piensos para animales, material de construcción o incluso la generación de biogás.

La eliminación de P de aguas residuales ya ha sido estudiada por algunos autores. Un ejemplo de ello es el trabajo de Paradelo et al (2016). En este estudio se investigó el potencial uso de la concha de mejillón, para eliminar P en el tratamiento de aguas residuales. Para ello, se realizó un experimento en condiciones de laboratorio, utilizando conchas calcinadas y conchas molidas. Los resultados del estudio demostraron que esta capacidad de retirar fósforo se basa en dos mecanismos químicos: la adsorción y precipitación que contribuyen a eliminar P simultáneamente. Los autores sugieren que la mayor la retirada de P ocurre en las cochas calcinadas, todo ello, gracias al aragonito y carbonato cálcico que contienen las conchas de mejillón. Otra posible aplicación de *Mytilus* sp es la que se investigó en el estudio de Lindahl & Kolberg (2008). En este trabajo se proponen dos cosas: primero, aprovechar la biomasa de mejillón para la fabricación de harinas, ya que, se ha comprobado que la carne de mejillón seca puede ser utilizada como una fuente de alto contenido proteico y rica en aminoácidos esenciales. Dichas harinas se probaron para la fabricación de piensos para aves de corral y se ha corroborado que es efectivo para la alimentación y que tiene un mercado potencial donde establecerse. Lo segundo que se investigó en este trabajo es el uso de las conchas de mejillones como fertilizante para cultivos, ya que, la proporción que contienen de N, P y K lo hace idóneo para esta función. En el estudio se comprueba que los mejillones son un fertilizante que se descompone fácilmente y con él, se puede fabricar compost como paja o corteza. Ya otros trabajos, se ha valorado la utilidad de los restos de mejillones cultivados como material de construcción. Esto ha sido estudiado por Martínez-García (2016) y Rodríguez-Álvaro (2014). En estos trabajos se propone el uso de las conchas de mejillón procedentes de la industria conservera o de los cultivos en bateas, con el objetivo de utilizarlas como material de construcción en forma de áridos. Esto se consigue triturando las cochas para generar arenas de diferente grosor y aprovecharlas para hacer hormigones, morteros de cal y barro, ladrillos y bloques entre otros. De esta forma se obtiene un material que reduce emisiones de CO<sub>2</sub> en su fabricación y reutiliza elementos biológicos, dentro de lo que se conoce como bioconstrucción. Finalmente, en el trabajo de Wollak et al (2018) se estudió el potencial uso de la biomasa de mejillones procedentes de los cultivos para generar energía renovable. Esto se consigue a partir del biogás que se produce con los mejillones, al mismo tiempo que se utilizan para depurar el agua absorbiendo nutrientes y contrarrestar la eutrofización. El estudio propone un sistema de digestión anaerobia en

dos etapas, y lo que se ha podido observar es que los mejillones tienen un gran potencial para generar biogás. Esto es debido a que se obtiene una fracción de volumen de metano relativamente alta, entre un 60-70%, que depende del contenido en grasa y proteínas. Por lo tanto, existe la posibilidad de utilizar los mejillones como fuente de energía renovable, a la vez que son una herramienta para depurar el agua.

Como en este trabajo se propone utilizar cultivos de mejillones para depurar aguas de baja calidad ambiental, las aplicaciones mencionadas son potencialmente útiles para rentabilizar el uso de los cultivos, en el caso de que no pueden ser utilizados para consumo humano. De esta forma, el aprovechamiento de la biomasa de los cultivos se rentabilizaría, y su uso podría traer beneficios sociales y económicos en la zona, a la vez que se mejora la calidad ambiental.

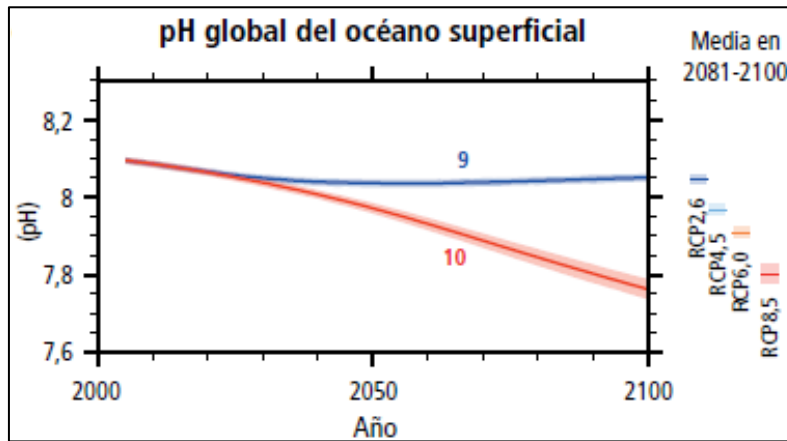
### **1.6. Vulnerabilidad del cultivo de *Mytilus* sp: Cambio climático y toxicidad**

Los ecosistemas marinos son vulnerables a los impactos antropogénicos directos en el medio marino y al cambio climático. Los cultivos de mejillones no son una excepción y también son vulnerables a dichos impactos. En el escenario actual estos impactos se están incrementando, y están provocando que cada vez haya más alteraciones en el funcionamiento de los océanos y de los ecosistemas marinos. Todo esto, causa que los ecosistemas se vuelvan más vulnerables y menos resilientes. Actualmente, los problemas más graves, y que más preocupan por el enorme impacto que causa en el medio marino son: la acidificación de los océanos, el aumento de la temperatura del mar y la toxicidad causada por la contaminación (Broszeit et al., 2016; Des et al., 2020; Beyer et al., 2017).

La acidificación de los océanos tiene su origen en el aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. Las actividades humanas que queman combustibles fósiles son las responsables directas de que haya un aumento constante año tras año del  $\text{CO}_2$  atmosférico. Para reducir su concentración en la atmósfera, este  $\text{CO}_2$  de forma natural se disuelve en el océano superficial y como consecuencia, disminuye el pH debido al aumento de ácido carbónico en el agua. La consecuencia de que se reduzca el pH implica cambios en la química del carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), reduciendo su concentración y por extensión la capa de saturación y biodisponibilidad de  $\text{CaCO}_3$  en el agua. Este compuesto esencial para todos los organismos calcificadores marinos. Entre ellos, se encuentran los mejillones (Broszeit et al., 2016). Esta disminución del pH (figura 5) se predice que continuará hasta finales del siglo XXI y probablemente más adelante (IPCC., 2014). Todos estos cambios en la química de carbonato y la disminución del pH tienen efectos en los organismos marinos. En el caso de este trabajo, interesa saber qué efectos tiene la acidificación del océano y la disminución del carbonato en *Mytilus* sp, debido a su importancia como cultivos para alimentación humana y para la depuración de aguas. Estos efectos ya han sido estudiados por otros autores. Las observaciones que se han realizado sugieren que los bivalvos se verán afectados principalmente en las tasas de supervivencia, en el crecimiento y en la calcificación (Broszeit et al., 2016). En el trabajo de Kroeker et al (2013), se estudió que efectos tiene la acidificación en varios filos animales sobre el crecimiento, supervivencia, calcificación, desarrollo y abundancia. En el caso de los moluscos (incluidos los mejillones), los autores del estudio observaron una reducción en el crecimiento del 17%, de la calcificación en un 40% y de la supervivencia en un 34%. La reducción de estos parámetros implica que potencialmente, se reducirá también la capacidad de depuración de aguas de los mejillones, acumulando y retirando contaminantes y nutrientes. Todo ello es debido a que un menor tamaño, implica una menor filtración, además, si hay una menor disponibilidad de carbonato cálcico, habrá también una menor abundancia de estos organismos en el medio.

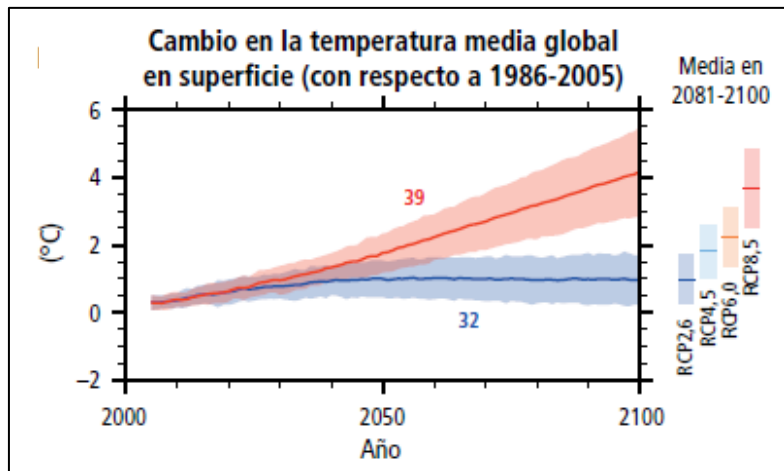


Figura 5. Predicción de la reducción de pH en el océano en el período 2000-2100 (IPCC., 2014)



Otro factor muy importante que afecta a los organismos marinos es el aumento de la temperatura en el océano (figura 6). Este incremento potencialmente implicará cambios en el funcionamiento de los océanos, como el aumento del nivel del mar y cambios en la circulación. Además, este aumento también afectará a los mejillones y por extensión a los cultivos de estos. Un incremento de la temperatura afecta a los procesos biológicos y químicos, y es un factor crítico en el crecimiento de los mejillones. *Mytilus* sp tienen un rango óptimo de temperatura para el crecimiento y cuando aumenta, el crecimiento se reduce. Además, la temperatura afecta a la productividad del agua y a la estratificación lo que implica menor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento (Des., 2020).

Figura 6. Pronóstico de la temperatura superficial en el océano en el periodo 2000-2100 (IPCC., 2014).



Finalmente, la toxicidad provocada por la contaminación es un problema muy grave e importante y se debe tener en cuenta en los cultivos de mejillones. *Mytilus* sp como organismo filtrador, acumula todo tipo de sustancias en su cuerpo, tanto nutrientes, como contaminantes de diverso origen. Estos organismos son capaces de biontransformar de forma limitada algunos de ellos y hacerlos menos tóxicos, además, pueden bioconcentrar y bioacumular contaminantes en su cuerpo (Beyer et al., 2017). Estos dos últimos procesos son un problema, ya que, significa que pueden volver tóxicos a los mejillones y que no sean aptos para el consumo humano. Por otro lado, pueden introducir los contaminantes en la cadena trófica, a través de su consumo y producirse el efecto de bioamplificación y biomagnificación con algunos de ellos como metales pesados tales como el mercurio. Un contaminante emergente que preocupa mucho actualmente, son los microplásticos. Estas partículas son pequeños fragmentos

plásticos que son ingeridos por los organismos marinos y que se van transfiriendo en la cadena trófica a través de la alimentación. Además, estos fragmentos son capaces de adsorber y concentrar en su superficie contaminantes orgánicos persistentes (POP's), metales pesados y/u otros contaminantes disueltos en el agua, al mismo tiempo que actúan como vectores de dichos contaminantes. La presencia de microplásticos en mejillones supone, además, un riesgo para la salud humana y ya ha sido observado en varios autores como Cauwenberghe & Janssen (2014). En este trabajo se estudió la presencia de microplásticos en las especies comerciales de bivalvos *Mytilus edulis* y *Crassostrea gigas* y se ha observado que en ambas especies había presencia de microplásticos, e incluso, tras es el proceso de depuración seguían apareciendo. Por lo tanto, esto sugiere que pueden llegar a humanos y animales a través de la cadena trófica.

Todos estos factores comentados que afectan a los cultivos se deben tener en cuenta, ya que, afectan a la capacidad de depuración de *Mytilus* sp y la posibilidad de su aprovechamiento para consumo humano. Sin embargo, a pesar de ello siguen siendo una buena herramienta para mitigar los efectos de la contaminación y de los vertidos al medio marino y conseguir de esta forma reducir los impactos antropogénicos en el sistema.

## **2. Objetivos del trabajo**

Este trabajo de fin de máster tiene como objetivo principal evaluar el potencial uso que tendrían los cultivos de mejillones en Long-line para controlar el exceso de nutrientes en zonas costeras receptoras. Para ello se ha estudiado el contenido de fósforo y nitrógeno de mejillones de diferentes tamaños, y se ha evaluado el crecimiento de *Mytilus* sp en aguas del sector sur del Golfo de Valencia que reciben aportaciones de nutrientes desde un emisario submarino, un área portuaria que a la vez recibe drenajes desde un humedal costero de uso agrícola y desde la desembocadura de un río. Finalmente, se determina el tamaño del sistema necesario para contrarrestar los aportes de nutrientes que recibe la zona costera del entorno del Puerto de Gandía.

## **3. Materiales y métodos**

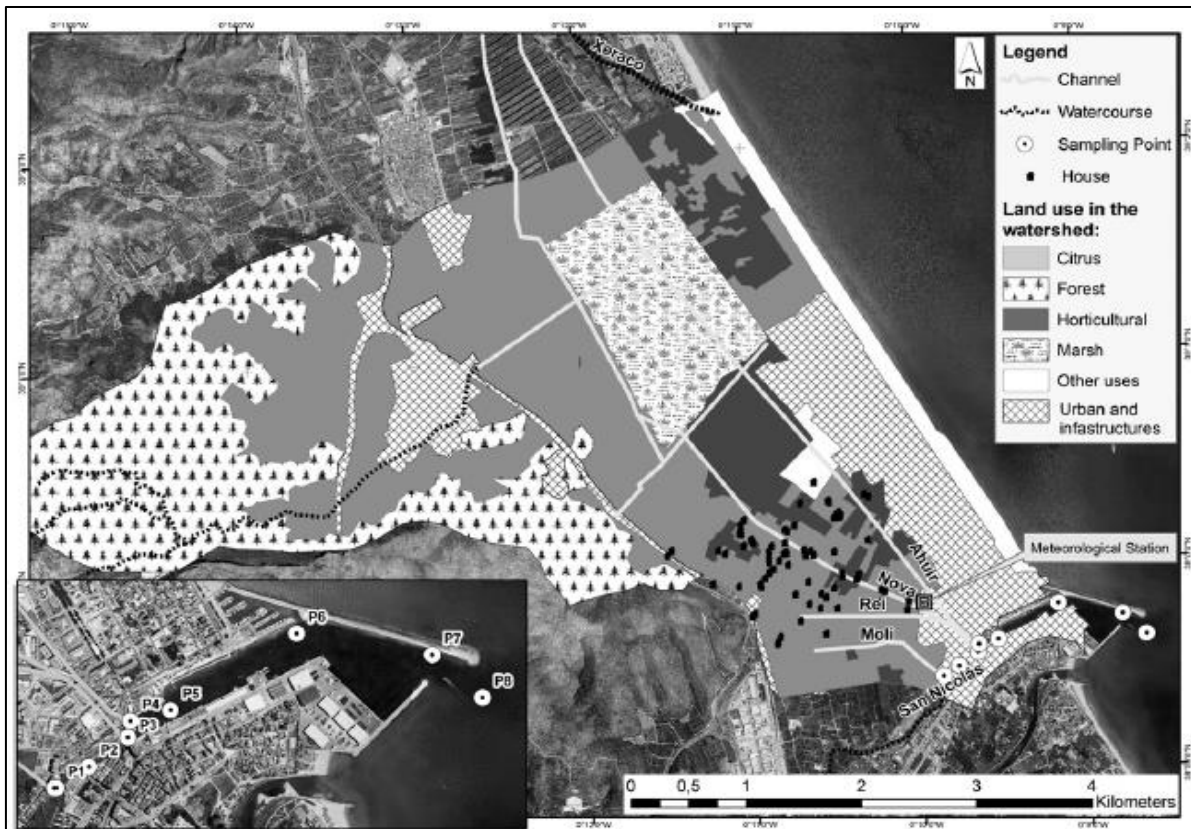
### **3.1. Descripción de la zona de estudio**

La zona de estudio de este trabajo se localiza en la costa del municipio de Daimús que pertenece a la comarca de la Safor (València). Esta región se caracteriza por poseer un clima mediterráneo de llanura litoral lluviosa, clasificado así según (Pérez Cueva., 1994). Las temperaturas se sitúan en una media anual en torno a 16-18°C mientras que las precipitaciones son en torno a 650 l/m<sup>2</sup>, siendo las estaciones de otoño y primavera las más lluviosas y en menor medida el invierno, mientras, que la estación estival es la más seca. Además, son habituales en esta región y en toda la costa del levante los eventos climáticos de "gota fría" o DANAS en otoño, invierno y primavera. El tipo de clima dominante determina que se desarrollen dos actividades principalmente en la zona: la agricultura y el turismo.

Por un lado, en los municipios de la región una gran parte del suelo está dedicado al cultivo de cítricos mayoritariamente. De ellos, una parte importante de las zonas de cultivo se sitúan en terrenos del marjal de Gandía, que forma parte de una unidad ambiental más grande, que es la marjal de la Safor. La marjal de Gandía está dentro del *Catálogo de zonas húmedas de la Comunitat Valenciana* y ocupa unas 450 ha. Además, los municipios que conforman la marjal de la Safor (Tavernes de la Valldigna, Xeraco, Xeresa y Gandía) han sido declarados por la Generalitat Valenciana como una *zona*

vulnerable a los nitratos (D 133/2000 de 25 de enero). Las marjales de la Safor y de Gandía se forman debido a surgimientos de aguas subterráneas de los acuíferos que hay en la zona, generando pequeños lagos de agua dulce llamados Ullals. Estos lagos en la marjal de Gandía se han drenado la mayor parte de ellos para el cultivo de cítricos, desviando el agua a través del bombeo con motores hacia las acequias o canales de riego. Tres de ellas acaban desembocando en el puerto de Gandía convirtiéndolo en una zona que exporta nutrientes a la costa. Dichas acequias son: la del molí, la del rei y la de l'ahuir-nova (figura 7). Estas acequias, junto con los lixiviados que hay hacia los acuíferos presentes en la zona, pueden llevar consigo restos de N de los fertilizantes que se utilizan para el cultivo de cítricos (Sebastiá et al., 2012). Esto, implica una llegada a la costa de nutrientes (N y P principalmente) a través de ambas vías (acuíferos y acequias), empeorando de esta forma la calidad del agua. Para la utilización correcta de los fertilizantes nitrogenados, existen una serie de normativas que regulan su uso en la agricultura como el *Código de las buenas prácticas agrarias* (D 10/2018 de 27 de febrero). Esta normativa establece la dosis de N recomendada para los cultivos de cítricos. Sin embargo, a pesar de esta legislación existente, la comarca de la Safor es una zona con una intensa actividad de agrícola y los límites recomendados han sido superados con la consecuente contaminación (Sebastiá et al., 2012). Otras fuentes de contaminación potenciales son el río Serpis y el de Sant Nicolau, que desembocan en la playa de Venècia y en el puerto de Gandía (figura 7) respectivamente. Normalmente, los aportes de agua a través de estas vías son efímeros a lo largo de casi todo el año, siendo sus caudales nulos. No obstante, cuando ocurren eventos climáticos extremos como las DANAS, pueden producirse puntualmente vertidos de nutrientes y contaminantes, que se arrastran con las avenidas hacia al puerto y a la zona costera. Por otro lado, las actividades que se desarrollan en el puerto de Gandía, como la pesca, el uso de embarcaciones de recreo, los buques de pasaje y mercantes son una posible fuente de contaminación por vertidos de aceites, combustibles y aguas de sentina.

Figura 7. Acequias que vierten en el puerto. De arriba abajo: l'ahuir-nova, rei y el molí. (Sebastiá et al., 2012)



Otra actividad económica muy importante es el turismo. La comarca de la Safor es uno de los principales destinos turísticos de la Comunitat Valenciana, siendo el municipio de Gandía el receptor más importante de visitantes dentro de la misma. Además, solo en la provincia de Valencia, donde se localiza la comarca, hubo 3.489.430 viajeros en el año 2019 (Área de Competitividad Turística (Turisme Comunitat Valenciana)., 2020). El tipo de turismo desarrollado en esta región es de carácter estacionalizado, concentrándose el grueso de los viajeros en los meses estivales (principalmente julio y agosto). Esta llegada masiva de turistas, que puede llegar a triplicar la población, implica un aumento en la demanda de los recursos y en la generación de residuos, entre ellos, las aguas residuales urbanas. Para la depuración de aguas existe en el municipio de Gandía, la EDAR Gandía-La Safor, que da servicio a 16 municipios de la comarca de la Safor (entre los que se encuentra Daimús) siendo capaz de depurar 39.249 m<sup>3</sup>/día estimado para una población equivalente de 98.746 habitantes. Sin embargo, esta estimación no tiene en cuenta el aumento estacional de la población que hay en toda la comarca durante los meses estivales, ya que, las infraestructuras no están dimensionadas para ello. La depuradora dispone de un pretratamiento, de un tratamiento primario fisicoquímico con decantación, uno secundario donde se elimina principalmente N, pero no P, y una desinfección con una cloración del agua para eliminar virus y bacterias. El efluente de las aguas tratadas se vierte al mar Mediterráneo a través de un emisario submarino situado a 1900 metros de la costa de Gandía (Generalitat Valenciana., 2020). Actualmente, este emisario submarino de la EDAR tiene graves deficiencias en su funcionamiento debido a dos roturas progresivas: una en abril de 2019 y otra más reciente en enero de 2020 debido a la fuerte DANA "Gloria" (figura 8). Estas averías han causado una fuga de aguas a 50 metros de la costa, y una desconexión total del emisario a 500 metros de la costa y 7,8 metros de profundidad. Todo ello, ha provocado que se tengan que realizar obras de reparación y sustitución de los tramos dañados del emisario (Safor Guía., 2020). Unido a estas deficiencias en el emisario, se debe tener en cuenta que, aunque las aguas se traten, sigue habiendo nutrientes en ellas y, por lo tanto, son de por sí un input de nutrientes que llega al mar. Unido esto, el aumento de la población que hay la comarca en los meses estivales por el turismo, causa un aumento de vertidos de aguas residuales en dichos meses, que pueden no ser tratadas debidamente.

Figura 8. Roturas en el emisario submarino de Gandía-La Safor (Safor Guía., 2020).

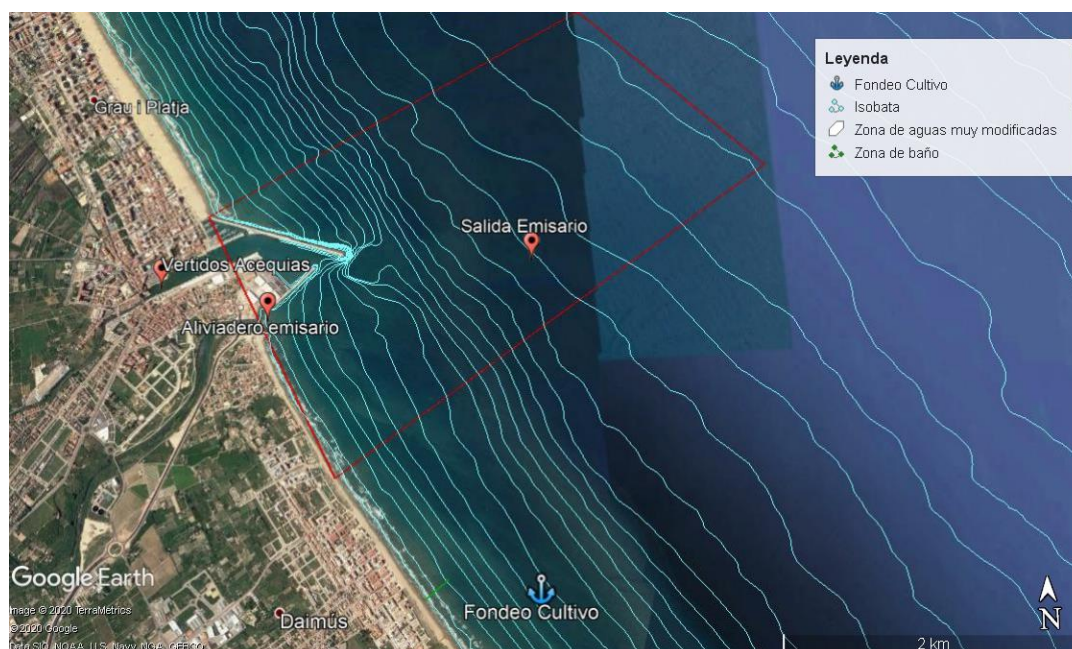




Estos problemas de funcionamiento del emisario y de la EDAR, junto con todos los comentados anteriormente que hay en la comarca de la Safor, provocan que llegue a la zona costera una gran cantidad de aguas residuales cargadas de nutrientes y contaminantes. Estos, causan problemas de eutrofización, mortalidad de especies marinas y contaminación en el municipio de Gandía y en los adyacentes situados al sur, como Daimús y Guardamar de la Safor. Este fenómeno es debido al régimen de corrientes dominante en la costa que fluyen en dirección suroeste (Vargas et al., 2008), arrastrando los vertidos a otras zonas de la costa situadas más al sur de la fuente de contaminación. En algunas ocasiones llegó a ser necesario el cierre de las playas de Venècia y Marenys de Rafalcaid (Gandía) por contaminación con aguas fecales (López., 2019). Además, puede afectar a las playas de Daimús y Guardamar (Pérez., 2019). Estos vertidos provocan un deterioro sustancial en ecosistemas marinos de gran importancia ecológica como el coralígeno y un empeoramiento en la calidad de agua en la zona. A nivel legislativo, una porción de la costa, que incluye el puerto de Gandía y una parte de las aguas marinas adyacentes situadas al sur, norte y este, del mismo, son designadas como aguas muy modificadas (RD 595/2014, de 11 de julio; European comission., 2000).

Todos estos problemas han llevado a que se elija esta zona para estudiar la viabilidad del crecimiento de cultivos de *Mytilus* sp. El desarrollo del experimento se situó en la franja costera del municipio de Daimús (38°58,34'N; 0°7,715'O), frente a la playa del mismo nombre. El fondeo se situó en un principio, a una profundidad 7,8 m y las long-line flotando a una profundidad de 1,2 m del fondo. Más tarde, se movió y se colocaron finalmente las long-line a 4 m del fondo y a 3 m de la superficie. La zona elegida se encuentra al sur todas las fuentes de vertidos (figura 9) ya comentadas anteriormente, y por efecto del régimen corrientes, dichos vertidos llegan a la zona. Además, de las fuentes que se encuentra en las cercanías del fondeo. Por lo tanto, todo ello hace que sea una ubicación interesante para estudiar la viabilidad del cultivo.

Figura 9. Localización del punto de fondeo del cultivo (elaboración propia).

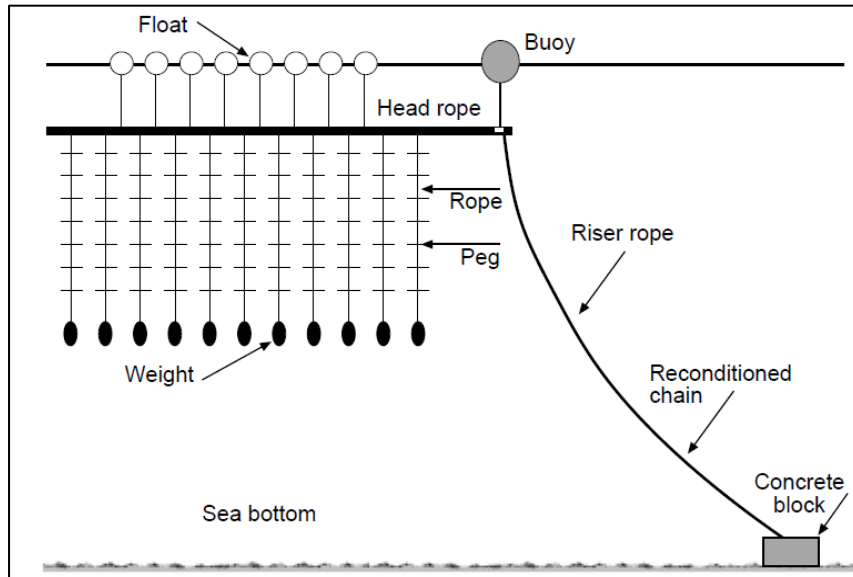


### 3.2. Estructura para el cultivo: *Long-line*

La estructura utilizada para realizar el experimento es una adaptación a pequeña escala de un sistema de producción comercial de mejillones en long-Line o, "línea larga". La estructura de este sistema de cultivo de forma general (figura 10), se compone de las

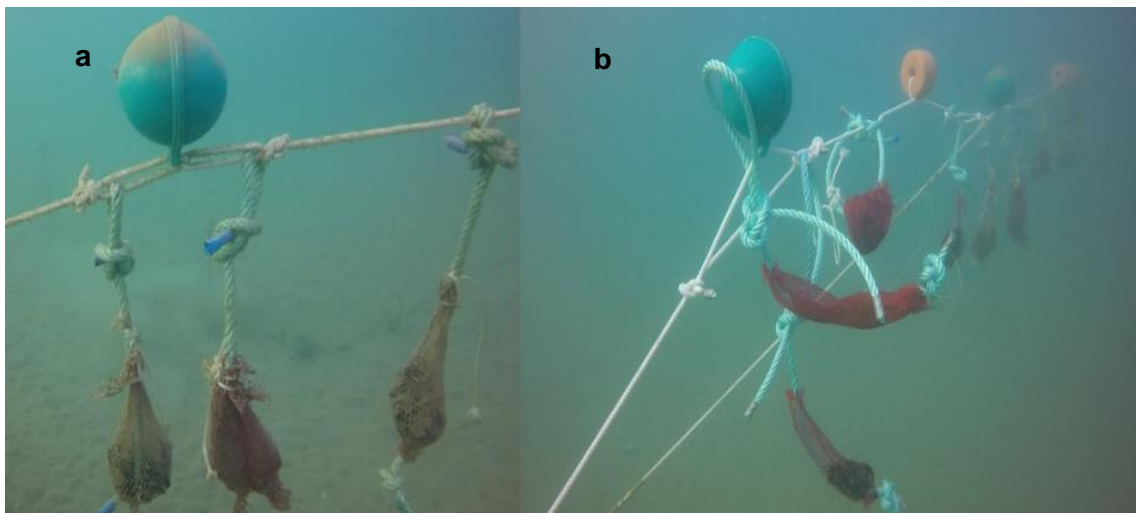
siguientes partes: una serie de cuerdas verticales, sujetas a una hilera de boyas, para que se mantengan en flotación a una cierta profundidad. Para anclarlas al fondo, se atan en los extremos, un muerto para mantener la posición fija en la columna de agua (Karayücel et al., 2002). En estas cuerdas verticales es donde crecen los mejillones. Estos organismos se fijan a ellas través de la captación natural de las larvas, suspendidas en el agua, durante la época del año en la que hay un pico de abundancia. Otra forma de obtenerlos es la colocación manual de la “semilla”, que se puede obtener de las poblaciones naturales de mejillones que crecen sobre cualquier sustrato duro: roquedos, diques, espigones o incluso los pantalanes de un puerto.

Figura 10. Esquema general de un cultivo long-line (Karayücel et al., 2002)



Para este experimento el sistema de cultivo que se ha instalado se compone de las siguientes partes: tres boyas de profundidad, dos en los extremos del cultivo y una en el medio que lo mantiene en flotación. En las boyas de los extremos, se atan con una cuerda a un muerto para mantener una posición fija en el fondo. Sujetando a las boyas se coloca una cuerda principal o “línea madre” en horizontal con pequeños flotadores circulares (figura 11b) y de ella, se colgaron 10 cuerdas más robustas (las long-line) donde se colocaron los mejillones para el crecimiento, dentro de una bolsa de red (figura 11a y b).

Figura 11. Imagen a detalle de las bolsas de red atadas al fondeo. Imagen b estructura del cultivo.



### 3.3. Recolección de la semilla y preparación del cultivo

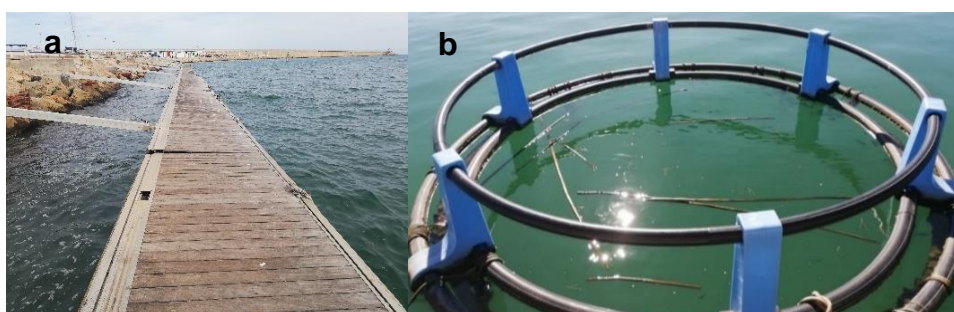
Para llevar a cabo el proceso de recolección de las semillas y poner en funcionamiento los cultivos, se han utilizado los dos métodos de captación existentes en cultivos comerciales: obtención de juveniles de poblaciones naturales que crecen en sustratos duros de la zona, y uso de cuerdas que funcionan como captadores de las larvas que hay en el agua. Una de las zonas en la que se recogieron mejillones fue una jaula flotante de plástico (figura 12b) situada en el interior de puerto de Gandía. En ella se colgaron cuerdas para la captación de larvas, además, de la propia estructura flotante que constituye un sustrato duro para su crecimiento. Este sistema de captación debería haberse colocado en los meses de marzo o abril, que es cuando normalmente hay un pico de abundancia de larvas de mejillones en el agua (OESA-Fundación biodiversidad., 2017; Departamento de pesca y agricultura., 2004). Además, las tormentas que hubo como la DANA “Gloria” en la costa mediterránea en el mes de enero de 2020, podrían haber causado un bloom de fitoplancton y favorecer una reproducción anticipada. No obstante, debido a la crisis sanitaria de la COVID-19 no pudo llevarse a cabo la colocación de los captadores hasta el mes de junio, y, por lo tanto, la abundancia de mejillones captados ha podido ser menor de la esperada. Por otro lado, también se han recogido mejillones de los pantalanes y estructuras flotantes (figura 12a) situadas en el mismo puerto, que constituyen sustratos duros sobre los que se asientan estos organismos. En total, se han recogido en estos espacios 694 ejemplares de mejillones entre, los captados en jaula flotante, y los que se recogieron en los diferentes pantalanes y estructuras del puerto deportivo (tabla 1).

Tabla 1. Nº de ejemplares (N) recolectados en las diferentes zonas.

Recogida	Fondeo	Ubicación	N
21/09/2020	23/09/2020	Puerto de Gandía: Jaula flotante	152
30/09/2020	01/10/2020	Puerto de Gandía: Pantalanes_1	289 <sup>1</sup>
06/10/2020	08/10/2020	Puerto de Gandía: Pantalanes_2	253

<sup>1</sup>De los 289 ejemplares recolectados en esta zona, 115 fueron fondeados el día 08/10/2020 juntos con los del día 06/10/2020.

Figura 12. Imagen a pantalanes del puerto donde se recolectaron mejillones. Imagen b jaula flotante para la captación y recolecta de mejillones.



Tras la recolecta de las semillas, se procedió a realizar la toma medidas biométricas de todos los ejemplares recolectados. Dichas medidas son: longitud total (L), anchura (A), espesor (E) en milímetros y peso fresco completo (PFC) en gramos, de cada uno de los organismos (figura 13). Los mejillones recolectados se clasificaron en tres clases de talla: pequeños (P), medianos (M) y grandes (G), en base a un rango de tallas previamente establecido (tabla 2). Por otro lado, se cogieron muestras de biomasa de 45 ejemplares de mejillones para análisis de nitrógeno orgánico y fósforo total. En estas muestras se tomaron los mismos datos de antes y, además, se extrajo la biomasa de la valva, para tomar el peso de la valva y de la biomasa en fresco por separado (figura 14b). Estas muestras se conservaron congeladas hasta el momento de los análisis.

Finalmente, se prepararon unas pequeñas bolsas de red (figura 14a) donde se introdujeron los mejillones, separados por clases de talla. Después se sujetaron a las long-line. El uso de estas bolsas de red permite mantener los mejillones cerca de la cuerda del cultivo y de esta forma, cuando los ejemplares desarrollan el biso se quedan sujetos a la cuerda. Esta técnica de colocación de la semilla es un procedimiento habitual, que se utiliza en la explotación comercial de estos organismos tanto, en cultivos en batea, como en long-line. Desde la toma de medidas y la preparación de las bolsas hasta, el momento que se fondearon las long-line, los mejillones se mantuvieron en agua de mar dentro de un refrigerador a bajas temperaturas, en torno a 4-5 °C. De esta forma se conservan en vivo y se ralentiza su metabolismo. Una vez preparadas las bolsas de red, se montó el cultivo y se llevó en barca hasta el punto de fondeo. Ya en la zona con la ayuda de un equipo de buceo autónomo, se fueron colocando progresivamente las long-line en varios fondeos, en fechas diferentes (tabla 1) hasta, tener el cultivo listo para el crecimiento de los mejillones.

Figura 13. Medidas tomadas a cada individuo: 1 Longitud (L), 2 anchura (A) y 3 espesor (E).

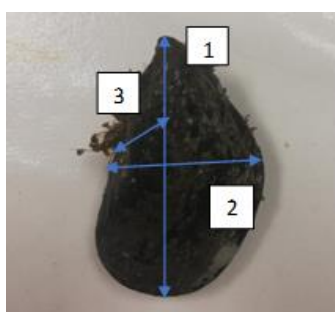
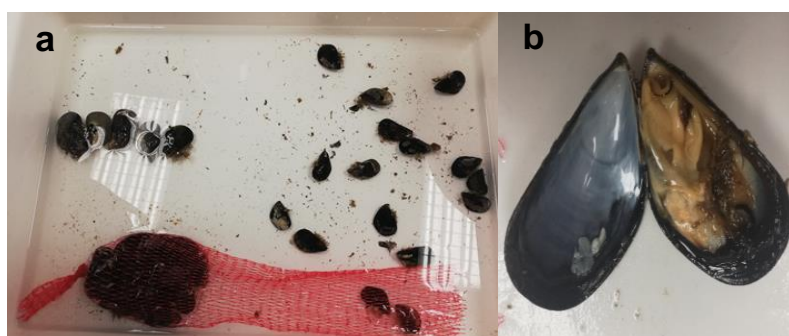


Tabla 2. Rango de tallas establecido para la clasificación por tamaños.

Clase	Longitud (mm)
Pequeños (P)	<25
Medianos (M)	25≥l<35
Grandes (G)	≥35

Figura 14. Imagen a bolsa de red donde se introducen los mejillones para la colocación en las long-line. Imagen b ejemplar de *Mytilus* sp abierto.



Para poder trabajar con las bolsas de red por separado, se estableció un código para su identificación en base a: lugar de recogida, número de bolsas colocadas por fondeo, clase de talla y medidas biométricas de los ejemplares. De esta forma, se tomaron todos los datos por grupos de mejillones. Además, se utilizó un sistema de cabos de tal manera que: los individuos del primer fondeo iban sin cabos, los del segundo con cabos de color blanco y el tercero con un sistema de cuerdas y nudos (tabla 3). Todo esto permite que se puedan estudiar los cambios de crecimiento considerando, cada bolsa de red por separado, como una población.



Tabla 3. Sistema de identificación y códigos para individualizar cada una de las redes colocadas en el cultivo.

Recogida	Ubicación	Red	Código	Identificador
21/09/2020	Puerto: Jaula	1	F21R1M1	Sin cabo/cuerda
21/09/2020	Puerto: Jaula	2	F21R2M2	Sin cabo/cuerda
21/09/2020	Puerto: Jaula	3	F21R3P	Sin cabo/cuerda
30/09/2020	Puerto: Pantalanes_1	1	F30R1GM	Cabo blanco
30/09/2020	Puerto: Pantalanes_1	2	F30R2M	Cabo blanco
30/09/2020	Puerto: Pantalanes_1	3	F30R3P1	Cabo Blanco
30/09/2020	Puerto: Pantalanes_1	4	F30R4P2	1 cuerda/1 nudo
06/10/2020	Puerto: Pantalanes_2	1	F06R1GM	1 cuerda/3 nudos
06/10/2020	Puerto: Pantalanes_2	2	F06R2P1	2 cuerdas/1 nudo
06/10/2020	Puerto Pantalanes_2	3	F06R3P2	3 cuerdas/1 nudo

### 3.4. Análisis del sistema del cultivo para depuración de aguas

#### 3.4.1. Crecimiento de *Mytilus sp*

El experimento de cultivo se llevó a cabo entre los meses de septiembre y noviembre de 2020. El período de crecimiento fue desde el momento de la colocación de cada uno de los fondeos hasta la fecha de recogida el 19/11/2020. En este intervalo de tiempo, el período de crecimiento ha sido de: 58 días para el primer fondeo, 51 para el segundo fondeo, y 43 para tercer fondeo (tabla 4). Para poder analizar el crecimiento se han recogido los mismos datos, tomados en el momento de la siembra de las long-line, es decir, las medidas biométricas de cada ejemplar: longitud, anchura, espesor y peso fresco completo. Con estos datos del momento de la cosecha y con los tomados en el momento de la siembra, se ha podido cuantificar cuanto han crecido durante dichos períodos. Estudiando los cambios en los parámetros biométricos de cada red del fondeo. Además, se ha podido conocer la tasa de crecimiento de los ejemplares y, el incremento de biomasa del cultivo y de cada red (o población). Esta información permite valorar la eficacia de los mejillones retirando nutrientes, su viabilidad, rendimiento y la productividad del cultivo.

Tabla 4. Tiempo de crecimiento de cada uno de los fondeos del cultivo

Fecha Fondeo	Fecha Recogida	$\Delta t$ (días)
23/09/2020	19/11/2020	58
01/10/2020	19/11/2020	51
08/10/2020	19/11/2020	43

#### 3.4.2. Concentración de nutrientes (P total y N orgánico) en *Mytilus sp*

La capacidad de los mejillones retirando nutrientes del agua, se analizó a partir de las cantidades obtenidas en dos análisis químicos. Por un lado, se realizó una determinación de fósforo total (TP) y por otro una determinación de N orgánico ( $N_{org}$ ), en la biomasa de los mejillones. Estos análisis permitieron cuantificar la proporción y la concentración de estos dos nutrientes en cada una de las clases de talla que se han establecido.

### 3.4.2.1. Recogida y procesado de las muestras

Se recolectaron un total de 45 mejillones de las tres clases de talla establecidas, de las mismas zonas de donde se recogieron los mejillones para el cultivo. De esta forma, estos mejillones recogidos constituyen un nivel de referencia o de base, para la concentración de  $N_{org}$  y TP, por biomasa de mejillón, de cada una de las clases.

Una vez obtenidas las muestreas, el proceso continuó con la realización previa de pools de organismos. Es decir, agrupar todos los organismos recogidos en 3 grupos: uno de la clase de los grandes, otro de la clase de los medianos y otro de la clase de los pequeños. Estos pools, se pesaron en fresco y después, se dejaron secar en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Pasado este tiempo se pesaron en seco, y se dejaron otra hora más hasta, obtener un peso seco constante. Con estos datos se calculó el porcentaje de humedad (tabla 5). Tras este proceso, se pulverizaron y homogeneizaron las muestras secas, y se guardaron en tubos de plástico hasta el momento de los análisis.

Tabla 5. Peso fresco sin valva (PF), seco (PS) y % de humedad de los pools preparados para los análisis de fósforo total y nitrógeno orgánico

Ubicación	Clase	N	PF (g)	PS (g)	% Humedad
Puerto	G	20	42,9	10,2	76
Puerto	M	15	7,4	1,7	78
Puerto	P	20	4,0	0,9	78

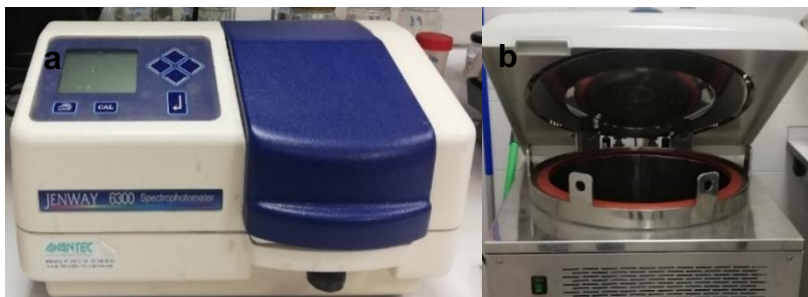
### 3.4.2.2. Determinación de fósforo total

La determinación de TP se llevó a cabo en dos etapas. En primer lugar, se realizó una digestión previa de las muestras adaptando el método desarrollado por (Valderrama., 1981) para aguas y que ha sido consultado en la descripción hecha por (Arocena & Conde., 1999). En segundo lugar, se ha determinado el fósforo total siguiendo el método de (Murphy & Riley., 1962). Este método consiste en provocar la formación de complejo fosfomolibdico de color azul, mediante la adición de molibdato de amonio en medio ácido.

El análisis comienza con la limpieza de los botes de cristal que van a utilizar. Para ello, se hace una digestión en blanco (sin muestra) añadiendo, 8 ml de la solución o reactivo oxidante (compuesto por tres soluciones: 50 g/l persulfato potásico, 30 g/l de ácido bórico y 40 g/l de NaOH), 1 g de persulfato potásico y 40 ml de agua milliQ. A continuación, se lleva a la autoclave (figura 15b) ajustando la temperatura del aparato a 115 °C durante 1 hora. Limpiados los botes, se añade una alícuota de la muestra de mejillones de 0,1 g y una réplica de 0,05 g de los pools (G, M, P). Además, se hace la misma mezcla de reactivos que para la limpieza de los botes, y se preparan 3 blancos de digestión. Todo esto se vuelve a llevar a la autoclave a la misma temperatura y tiempo. Acabada la digestión, se deja enfriar y se diluyen las muestras de tal manera que el factor de dilución aplicado fue: 0,4/100 para las muestras de 0,1 g; 0,5/100 para los replicados de 0,05 g y 0,25/50 para los blancos de digestión. Una vez hecho esto, se añade en un tubo de ensayo: 2 ml de una mezcla de reactivos (solución de molibdato amónico, solución de ácido sulfúrico 5 N, solución de ácido ascórbico y solución de tartrato de antimonio) y 20 ml de cada una de las muestras. Lo mismo se hace para los replicados y los 3 blancos de digestión. Luego, reactivo y muestra se mezclan, agitando en un vórtex y se dejan reposar 5-15 min. Finalmente, se hace la lectura en el espectrofotómetro (figura 15a) a una absorbancia de 855 nm. Esta lectura se hace

también a los 6 patrones de calibrado de fosfato, de concentración conocida en un rango de  $[0,5-4] \mu\text{M}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ , preparados a partir de una solución patrón de trabajo (ST) de  $10 \mu\text{M}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ . Estas soluciones patrón son necesarias para calcular la concentración de fosfato.

Figura 15. Imagen a espectrofotómetro utilizado para medir la absorbancia. Imagen b autoclave utilizado para la digestión



### 3.4.2.3. Determinación de N orgánico

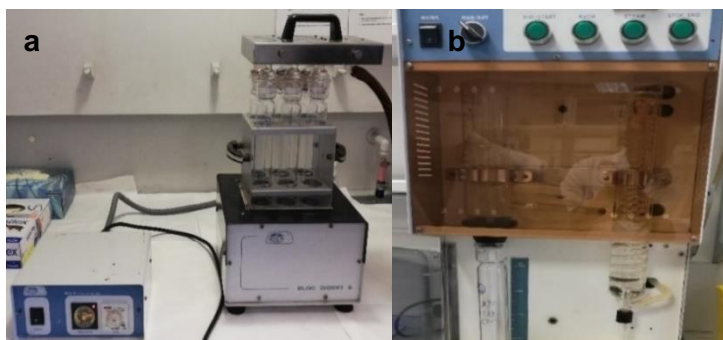
El análisis de N orgánico en la biomasa se llevó a cabo siguiendo dos métodos: En primer lugar, se ha realizado una adaptación del método Semi-micro kjeldahl 4500-N<sub>org</sub>C para aguas explicado en (APHA et al., 2012). Para conseguir transformar el N orgánico en  $\text{NH}_4^+$ , a través de una digestión en medio ácido, seguido de una destilación para finalmente obtener una solución con  $\text{NH}_4^+$  (aq). En segundo lugar, se ha realizado una adaptación del método de azul de indofenol para aguas de (Baumgarten et al., 2010), para determinar la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en los destilados y con ello calcular la proporción de N.

El proceso comienza con la preparación de las muestras para la digestión kjedahl. Para ello, se lleva a un tubo kjedahl de 250 ml: 0,025 g del pool de la muestra de mejillones, 25 ml de agua milliQ, 5-6 cuentas de vidrio, 0,25 g de Selenio, que actúa de catalizador en la digestión y finalmente 10 ml de reactivo digestor (33,5 g de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 2,85 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  y 33,5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado diluyendo todo a 250 ml). Este mismo proceso se realiza para 3 blancos y una réplica de la muestra. A continuación, se llevan blancos, muestra y réplica al digestor kjedahl (figura 16a), y se hierve todo a  $370 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta que comienzan a salir humos blancos, a partir de ese momento se deja digerir 30-40 min más. Una vez digerida la muestra se deja enfriar y se añaden 10 ml de reactivo NaOH-tiosulfato de sodio (125 g de NaOH y 6,25 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ , diluidos en 250 ml) y se lleva al destilador (figura 16b). Destilando 3 min y obteniendo un volumen de 30-40 ml que se recogen en 10 ml de una solución recetora de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0,04 N (2,8 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado al 98%, diluidos en 250 ml) contenida en un vaso de precipitados. Finalmente, el destilado se lleva a un matraz aforado de 50 ml. Todo el proceso se realizó para los pools de mejillones de las 3 clases de talla (G, M, P) en tres tandas.

Obtenidos los destilados se comienza la determinación de  $\text{NH}_4^+$ . En primer lugar, se realiza una dilución previa de los destilados (muestras, réplicas y blancos) de 0,5/100. Seguidamente, se prepara una solución patrón de trabajo de  $50 \mu\text{M}$  de  $\text{NH}_4^+$  a partir de una solución stock de amonio de  $10.000 \mu\text{M}$ . A partir de ella se preparan los patrones de calibrado en un rango de concentraciones  $[5-50] \mu\text{M}$  de  $\text{NH}_4^+$ . A continuación, en un tubo de ensayo se añaden 25 ml de la muestra diluida, 1ml de solución fenol, 0,5 ml de solución tampón de citrato y 1ml de solución de hipoclorito (DTT), agitando, tras cada adición de reactivo, en un vórtex. Después se deja reposar 6-30 horas en ausencia de luz. Finalmente, se lee la absorbancia a una longitud de onda de 630 nm en un espectrofotómetro utilizando una cubeta de cristal de 1 cm. Este mismo proceso se

aplica a los patrones de calibrado, necesarios para calcular la concentración de amonio en las muestras. Además, se hicieron réplica de todos los destilados (muestras, réplicas y blancos).

Figura 16. Imagen a Digestor kjeldahl con los tubos de 250 ml. Imagen b destilador utilizado



## 4. Resultados

### 4.1. Crecimiento de los mejillones del cultivo

El análisis del crecimiento del cultivo ha consistido en cuantificar los cambios en los parámetros biométricos medidos de los ejemplares, en el momento inicial y al final del crecimiento. Con esta información, se ha obtenido la tasa de crecimiento y el incremento de biomasa durante el periodo de crecimiento del cultivo. Los datos obtenidos se organizan de la siguiente forma: el cultivo se divide en tres grupos poblacionales que se corresponden con los tres fondeos que se han colocado: 23/09/2020, 01/10/2020 y 08/10/2020. Dentro de cada fondeo, cada una de las redes colocadas constituyen una población de una sola clase de talla (P o M). Inicialmente, se han colocado 694 individuos repartidos en un total de 10 redes (a partir de ahora poblaciones), 5 de clase P y 5 de clase M. De cada una de las poblaciones se obtuvieron sus respectivas medidas: biomasa total en g de Peso Fresco Completo (PFC), media de Longitud ( $L_m$ ), Achura ( $A_m$ ), Espesor ( $E_m$ ) en mm; clase y N° de individuos (N). En el momento inicial de la siembra, el conjunto de poblaciones de la clase P tenían una longitud media por individuo de  $17,1 \pm 3,8$  mm y de  $28,5 \pm 4,4$  mm para la clase M (tabla 6). Tras un período de crecimiento medio para los tres fondeos de 50 días, la longitud media de los ejemplares se incrementó en las poblaciones clase P hasta  $24,1 \pm 5,3$  mm y en las de la clase M hasta  $36,2 \pm 3,5$  mm (tabla 7). Además, los resultados indican que, en 6 de las 4 poblaciones sembradas, los ejemplares pasaron de una clase a la siguiente según el rango de tallas establecido. Sin embargo, en cuatro de las poblaciones (F06R3P2, F30R4P2, F06R1GM y F30R2M destacadas en negrita en la tabla 7) los mejillones no pasaron a la siguiente clase, pero, sí que tuvieron un crecimiento considerable, como el resto de las poblaciones del cultivo. Se debe tener en cuenta, que las longitudes iniciales en estas poblaciones eran más bajas que en el resto de las poblaciones de clase P y M. Asimismo, el tiempo de crecimiento no es el mismo entre los tres fondeos, y, por lo tanto, estas diferencias pueden haber tenido cierta influencia en el tamaño que se alcanzaron. En cuanto la biomasa total, inicialmente se sembraron 1,1 kg de mejillones, que en el momento de la cosecha casi se duplicaron llegando a 2,1 kg (tablas 6 y 7). Todas las demás medidas biométricas ( $A_m$  y  $E_m$ ) también se incrementaron sus valores sustancialmente al igual que la longitud y la biomasa. Finalmente, en cuanto al número de individuos total, tras la cosecha se contaron 679 por lo que hubo una pequeña mortalidad de un 2,2% durante el tiempo de crecimiento. Esta mortalidad puede haberse debido a la depredación de otros organismos que haya en el lugar del fondeo o en las cercanías, o también puede haber sucedido de forma natural por otras causas.

Tabla 6. Resumen de los parámetros biométricos iniciales por individuo

Red	L <sub>m</sub> (mm)	A <sub>m</sub> (mm)	E <sub>m</sub> (mm)	B total (g)	N	Clase
F06R1GM	28,8	17,5	11,1	177,6	54	M
F06R2P1	21,2	12,6	8,2	92,6	65	P
F06R3P2	12,8	7,6	5,1	50,5	134	P
F21R1M1	30,1	19,6	13,2	94,0	22	M
F21R2M2	27,0	17,2	11,2	88,7	29	M
F21R3P	18,3	11,9	7,7	114,8	101	P
F30R1GM	30,9	18,8	11,9	149,1	37	M
F30R2M	26,8	15,9	10,2	151,7	59	M
F30R3P1	21,4	12,8	8,2	110,3	78	P
F30R4P2	16,0	9,4	6,2	74,0	115	P
<b>Total</b>	<b>20,4</b>	<b>12,4</b>	<b>8,1</b>	<b>1103,3</b>	<b>694</b>	

Tabla 7. Resumen de los parámetros biométricos finales por individuo

Red	L <sub>m</sub> (mm)	A <sub>m</sub> (mm)	E <sub>m</sub> (mm)	B total (g)	N	Clase
<b>F06R1GM</b>	<b>34,8</b>	<b>20,6</b>	<b>13,8</b>	<b>289,3</b>	<b>54</b>	<b>M</b>
F06R2P1	28,3	16,9	11,1	193,1	65	M
<b>F06R3P2</b>	<b>17,8</b>	<b>10,2</b>	<b>6,7</b>	<b>102,4</b>	<b>132</b>	<b>P</b>
F21R1M1	37,1	23,0	15,7	158,1	22	G
F21R2M2	36,5	22,0	15,5	191,2	28	G
F21R3P	26,3	15,8	11,2	255,8	93	M
F30R1GM	38,2	23,3	15,1	268,3	37	G
<b>F30R2M</b>	<b>34,5</b>	<b>20,6</b>	<b>15,2</b>	<b>298,7</b>	<b>58</b>	<b>M</b>
F30R3P1	27,5	16,0	10,9	202,3	76	M
<b>F30R4P2</b>	<b>20,9</b>	<b>12,4</b>	<b>8,1</b>	<b>147,3</b>	<b>114</b>	<b>P</b>
<b>Total</b>	<b>26,8</b>	<b>16,0</b>	<b>10,8</b>	<b>2106,6</b>	<b>679</b>	

La información obtenida con estos datos biométricos finales e iniciales se ha utilizado para cuantificar los incrementos en la talla ( $\Delta L_m$ ) y el peso ( $\Delta B_m$ ) por individuo de cada una de las poblaciones del cultivo (tabla 8). Con estas medidas y conociendo el tiempo de crecimiento del cultivo ( $\Delta t$ ), se ha calculado la tasa de crecimiento individual para cada clase de talla y la media global de ambas. Como puede observarse en la tabla 9. Los incrementos más altos en promedio se han dado en los individuos de las poblaciones de clase M de mayor longitud. Esto, podría sugerir que existe una cierta influencia del tamaño en el crecimiento. No obstante, en algunas de las poblaciones de mejillones de clase P se han cuantificado incrementos en la longitud individual también considerables. En cuanto a las tasas de crecimiento medio que se han obtenido (tabla 9), los resultados han sido de  $3,9 \pm 0,7$  mm/mes y  $0,6 \pm 0,3$  g/mes para individuos de la clase P, y  $4,3 \pm 0,5$  mm/mes y  $1,6 \pm 0,2$  g/mes para individuos de la clase M. La media global por individuo ha sido de  $4,1 \pm 0,6$  mm/mes y  $1,1 \pm 0,6$  g/mes. Estos resultados son más altos que los observados por otros autores (tabla 10) para la tasa de crecimiento en longitud, tanto para cada clase de talla, como en la media global. Sin embargo, en la tasa de crecimiento en biomasa, los resultados si son similares a los de la bibliografía.

Tabla 8. Resultados del crecimiento por individuo para cada una las redes

Red	$\Delta B_m$ (g)	$\Delta L_m$ (mm)	$\Delta t$ (días)	$C_i$	$C_f$	TC (mm/mes)	TC (g/mes)
<b>F06R1GM</b>	2,1	6,0	43	M	M	4,2	1,4
F06R2P1	1,5	7,1	43	P	M	5,0	1,1
<b>F06R3P2</b>	0,4	5,0	43	P	P	3,5	0,3
F21R1M1	2,9	7,0	58	M	G	3,6	1,5
F21R2M2	3,4	9,4	58	M	G	4,9	1,8
F21R3P	1,3	8,0	58	P	M	4,2	0,7
F30R1GM	3,2	7,2	51	M	G	4,2	1,9
<b>F30R2M</b>	2,4	7,7	51	M	M	4,5	1,4
F30R3P1	1,1	6,1	51	P	M	3,6	0,7
<b>F30R4P2</b>	0,6	4,9	43	P	P	3,4	0,4

Tabla 9. Tasas de crecimiento por individuo obtenidas para cada clase y la media global

TC	Clase P	Clase M	Global
mm/mes	3,9	4,3	4,1
g/mes	0,6	1,6	1,1

Tabla 10. Tiempo de crecimiento, tasas de crecimiento en biomasa y longitud por individuo calculadas a partir de datos bibliográficos de otros trabajos.

Referencia	Dato	Valor	$\Delta t$ (meses)
<b>(Karayücel et al., 2002)</b>	Tasa crecimiento (mm/mes)	3,3	10
<b>(Karayücel et al., 2002)</b>	Tasa crecimiento (g/mes)	0,7	10
<b>(Jansen et al., 2012)</b>	Tasa crecimiento (mm/mes)	1,4	12
<b>(Jansen et al., 2012)</b>	Tasa crecimiento (g/mes)	1,1	12

#### 4.2. Concentración de clorofila-a y temperatura en la zona de estudio

Con objeto de conocer las condiciones ambientales y tener una idea del estado trófico y la disponibilidad de alimento en la zona de estudio, se ha obtenido la siguiente información. Por un lado, a partir de la bibliografía, se han recopilado datos de concentración de clorofila-a en distintos sitios de la zona (tabla 11). Los valores de chol-a según las mediciones tomadas por Sebastiá & Rodilla (2013) en julio de 2009 fueron en la zona del emisario de  $5 \cdot 10^{-4}$  mg/l, siendo esta más baja que la detectada en la playa de l'ahuir de  $1 \cdot 10^{-3}$  mg/l. El valor más alto se midió en la playa de Venècia de  $1,8 \cdot 10^{-3}$  mg/l. En el caso del estudio de Gadea-Pérez (2016), en invierno de 2010 se midió en la zona costera de Gandía (desde la playa Nord hasta Venècia) una concentración de chol-a de  $2,55 \cdot 10^{-3}$  mg/l, siendo esta medida más alta que la obtenida en este misma zona en verano, que fue de  $3 \cdot 10^{-5}$  mg/l. Finalmente, en el estudio de Sebastiá et al (2013) detectaron en la zona costera, frente a la playa de Venècia, valores medios de chol-a de  $1,42 \cdot 10^{-3}$  mg/l y en la zona marina, más alejada de la costa,  $4,7 \cdot 10^{-4}$  mg/l. Estos valores indican que las concentraciones más elevadas de chol-a están en las zonas más cercanas a la costa y cerca de puntos de vertidos, como la zona de Venècia. Las

concentraciones más bajas de han dado en las zonas más alejadas de la costa (emisario y zona marina), que son lugares donde hay mayor hidrodinamismo y, por lo tanto, más renovación de agua. En cuanto a la temperatura, se tomaron datos del agua en la zona superficial del punto donde se colocó el fondeo, al principio y al final del crecimiento. Las temperaturas iniciales del experimento correspondieron al mes de septiembre siendo estas de 21°C. Al final del periodo de crecimiento, en el mes de noviembre, las temperaturas detectadas en la superficie del agua eran y más bajas, situándose en torno a los 18-19°C.

Tabla 11. Concentración de clorofila-a en la zona de estudio medidas por otros autores.

Referencia	Concentración de clorofila-a (mg/l)
(Sebastiá & Rodilla., 2013)	$5 \cdot 10^{-4}$ ; $1 \cdot 10^{-3}$ y $1,8 \cdot 10^{-3}$
(Gadea Pérez., 2016)	$2,55 \cdot 10^{-3}$ y $3 \cdot 10^{-5}$
(Sebastiá et al., 2013)	$1,43 \cdot 10^{-3}$ y $4,7 \cdot 10^{-4}$

### 4.3. Acumulación y retirada de nutrientes

#### 4.3.1. Concentración de nutrientes de referencia

La determinación de  $N_{org}$  y PT ha dado como resultado una % P de 0,9 para las clases G y M y de 0,8 para la clase P. En el caso de la % N ha sido de 11,8 para la clase G, 13,9 para la clase M y 14,8 para la clase P (tabla 12). Ambas proporciones obtenidas en las determinaciones son similares a las observadas por otros autores (tabla 14). A partir de estas proporciones se ha obtenido la concentración de nutrientes (N y P) que contienen los mejillones por kg de PFC de mejillón, para cada una de las clases de tallas consideradas, y con su longitud media ( $L_m$ ), Peso Fresco Completo medio ( $PFC_m$ ) y el Nº de individuos analizados (N). Estas concentraciones obtenidas son las que se han utilizado como referencia para realizar el análisis del rendimiento que ha tenido el cultivo y todas las estimaciones de acumulación de nutrientes. Se debe tener en cuenta que según otros autores como Jansen et al (2012), en las valvas también se puede acumular P y N, sin embargo, las cantidades son mucho menores, y, por tanto, no se consideran relevantes en este trabajo.

Tabla 12. Proporción de nutrientes en el tejido de mejillón de las muestras en peso seco por individuo.

Clase	% P muestra	%N muestra
G	0,9	11,8
M	0,9	13,9
P	0,8	14,8

Tabla 13. Datos bibliográficos del % de nutrientes en el tejido de mejillón en peso seco. \*Datos obtenidos como la media del % N en peso seco observados por otros autores calculada por el autor de la cita

Referencia	%N	%P
(Jansen et al., 2012)	12,7-16,7	0,7-1,4
(Visch et al., 2020)	*8,4	

Tabla 14. Concentración obtenida de nutrientes por kg de mejillón en peso fresco completo.

Nutrientes por kg PFC de mejillón en las muestras						
Clase	g PT /kg PFC	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /kg PFC	L <sub>m</sub> (mm)	SD (mm)	PFC <sub>m</sub>	N
G	0,33	4,32	45,8	8,0	13,9	20
M	0,32	4,95	27,7	1,8	3,1	15
P	0,26	4,86	20,7	2,3	1,3	20

Como puede apreciarse en la tabla 14, las concentraciones obtenidas en de los mejillones indican que: la concentración de PT más alta se da en los mejillones de talla G, con una longitud media de 45,8±8 mm, y en los mejillones de talla de M, con una longitud de 27,8±1,8, siendo ambas concentraciones muy similares (0,33 y 0,32 g PT/kg mejillón respectivamente). Sin embargo, en el caso del N, la concentración más elevada se dio en los mejillones de las clases M y P, siendo estas de 4,95 y 4,86 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/kg PFC respectivamente. La concentración más baja de N se dio en los mejillones en la talla G siendo esta de 4,32 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

#### 4.3.2. Modelo de acumulación de nutrientes

La capacidad de retención de nutrientes por parte de los mejillones se ha calculado a partir de un modelo de acumulación que se basa en lo siguiente: se propone que los mejillones de clase P con L<sub>m</sub>= 20,7±2,3 mm y peso de 1,3 g se transforman proporcionalmente en mejillones de clase G con L<sub>m</sub>= 45,8±8 mm y peso de 13,9 g o, en mejillones de talla M con L<sub>m</sub>= 27,7±1,8 mm y peso de 3,1 g. Esta misma asunción se ha hecho para los mejillones de talla M, asumiendo que se transforman proporcionalmente en mejillones de talla G. De la misma forma, las concentraciones de N y P se asumen que también cambian proporcionalmente. Durante este cambio de talla, el incremento de biomasa que se produce implica una acumulación neta de nutrientes, que el organismo utiliza para el crecimiento corporal. Asimismo, sabiendo la cantidad inicial de nutrientes que tenían los mejillones se puede saber cuánto han acumulado en ese incremento, sin ser necesario tener en cuenta el tiempo, tal y como se refleja en la ecuación 1.

$$\text{Cantidad nutrientes acumulados} = \bar{B}_{final} \cdot [Nut]_{final} - \bar{B}_{inicial} \cdot [Nut]_{inicial} \quad (1)$$

Tabla 15. Estimación de nutrientes retenidos por individuo durante el cambio de una clase a otra en g/ind.

C <sub>i</sub>	C <sub>f</sub>	$\bar{B}_i$ (g)	$\bar{B}_f$ (g)	g PT/ind	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /ind
P	M	1,3	3,1	0,7	9,0
P	G	1,3	13,9	4,2	53,7
M	G	3,1	13,9	3,6	44,7

En este modelo la concentración final por individuo ([Nut]<sub>final</sub>) es la de la talla a la que llega y la inicial es la talla de la que parte ([Nut]<sub>inicial</sub>).  $\bar{B}_f$  y  $\bar{B}_i$  son la biomasa media final e inicial por individuo. Además, para esta estimación se ha utilizado de referencia las concentraciones del análisis (tabla 14). Los resultados de este modelo para las muestras (tabla 15) indican, que la cantidad acumulada por individuo es mayor, cuanto mayor es el cambio en la biomasa. Por ello, las cantidades máximas acumuladas son en el cambio



de P a G dando como resultado 9 g PT/ind y de 53,7 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ind. Estos resultados que aquí se exponen no son los del cultivo, sino que se han obtenido a partir de los mejillones analizados y se plantean de forma teórica para explicar el modelo. Si este modelo se aplica al cultivo, se puede determinar el rendimiento que han tenido los mejillones sembrados durante el tiempo de crecimiento, y con ello, conocer la cantidad de nutrientes que han retirado en la zona de estudio. Asimismo, al utilizar el modelo en condiciones reales se puede validar su aplicación.

### 4.3.3. Rendimiento del cultivo

El análisis del rendimiento que ha tenido el cultivo ha consistido en aplicar el modelo anterior para conocer, la cantidad de nutrientes que acumularon los mejillones sembrados, durante el crecimiento. Esto se ha realizado, partiendo de los datos de crecimiento, conociendo la clase de talla final a la que han llegado los mejillones, y utilizando las concentraciones de referencia (tabla 14).

Tabla 16. Cantidad de nutrientes acumulados por individuo en cada población.

Red	$\bar{B}_i$ (g)	$\bar{B}_f$ (g)	$C_i$	$C_f$	g PT/ind	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /ind
<b>F06R1GM</b>	<b>3,3</b>	<b>5,4</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>0,7</b>	<b>10,2</b>
F06R2P1	1,4	3,0	P	M	0,6	7,8
<b>F06R3P2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>0,1</b>	<b>1,9</b>
F21R1M1	4,3	7,2	M	G	1,0	9,9
<b>F21R2M2</b>	<b>3,1</b>	<b>6,8</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>1,3</b>	<b>14,3</b>
F21R3P	1,1	2,8	P	M	0,6	8,1
<b>F30R1GM</b>	<b>4,0</b>	<b>7,3</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>1,1</b>	<b>11,4</b>
<b>F30R2M</b>	<b>2,6</b>	<b>5,1</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>0,9</b>	<b>12,8</b>
F30R3P1	1,4	2,7	P	M	0,5	6,3
<b>F30R4P2</b>	<b>0,6</b>	<b>1,3</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>0,2</b>	<b>3,2</b>

Los resultados de los nutrientes retirados por el cultivo (tabla 16) muestran, que en un período de crecimiento medio de 50 días para el conjunto el cultivo, las acumulaciones más altas se han dado en algunas de las poblaciones en las que los individuos han cambiado de clase M a G (F21R2M2), seguidas de los que han cambiado de clase P a M. Por otro lado, en los ejemplares de las cuatro poblaciones, que no han experimentado un cambio en la clase de talla (destacas en negrita en la tabla 16), han tenido acumulaciones más o menos similares al resto de las poblaciones de igual clase de talla, incluso en algunas como en las F30R2M y F06R1GM, las cantidades acumuladas son más altas que otras poblaciones que si cambiaron de clase. En el caso del análisis de las cantidades medias del conjunto de las poblaciones por clase de talla inicial, las mayores acumulaciones de han dado en los individuos de poblaciones de clase M (tabla 17). Esto sugiere que existe una cierta influencia del tamaño en la capacidad de acumulación, sin embargo, hay que tener en cuenta que existen diferencias en el tiempo de crecimiento que, aunque no se han tenido en cuenta, si pudieron tener cierta influencia. Finalmente, el conjunto de todos los individuos del cultivo por clase retiró 201 g de PT y 2351,7 g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para la clase M mientras que la clase P retiró 197,2 g de PT y 2711 g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Estos resultados indican que el rendimiento del cultivo ha sido exitoso retirando nutrientes del agua.

Tabla 17. Total, de nutrientes acumulados por individuo por clase inicial sembrada.

Clase	g PT/ ind	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /ind
M	1,0	11,7
P	0,4	5,5

#### 4.3.4. Viabilidad de funcionamiento: Escenarios de vertidos

La viabilidad del cultivo de mejillones como biofiltros, se ha analizado ante un exceso de vertidos de nutrientes en la costa. Para ello, se ha estimado la cantidad de biomasa final que sería necesaria tener en el área de estudio, para conseguir eliminar los flujos de nutrientes entrantes. Los inputs de nutrientes que se ha tenido en cuenta son los siguientes: los que se emiten en el puerto de Gandía a través de las acequias, y la carga emitida en el emisario suponiendo una concentración de P y N en el efluente a niveles permitidos (2 mg/l de PT y 10 mg/l de NT). Para conocer el funcionamiento del cultivo en diferentes regímenes de flujos de nutrientes, se ha determinado la cantidad de biomasa necesaria en dos escenarios, uno medio para el flujo emitido por ambas fuentes a lo largo de un año, y otro máximo, para vertidos en el puerto, en la situación más desfavorable. Toda esta información se obtuvo de fuentes bibliográficas de otros autores tal y como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Datos bibliográficos de inputs de nutrientes en la zona de estudio: Puerto a través de las acequias y aguas urbanas a través del emisario de la depuradora.

Referencia	Fuente	Nutriente	Flujo medio (kg/año)	Flujo máximo (kg/día)
(Gadea Pérez., 2016)	Acequias	DIN	4672	430,5
(Gadea Pérez., 2016)	Acequias	TP	401,5	7,4
(Sebastiá et al., 2013; Comisión Europea., 1991)	Emisario	TP	*3,4·10 <sup>4</sup>	No datos
(Sebastiá et al., 2013; Comisión Europea., 1991)	Emisario	NT	*2,55·10 <sup>5</sup>	No datos

\*Estos flujos han sido estimados usando el caudal que emite el emisario al año, consultado en (Sebastiá et al., 2013), y tomando como concentración máxima, la permitida (2 mg/l de PT y 10 mg/l de NT) que pueden emitir las EDAR según lo establecido por la (Comisión Europea., 1991) para zonas sensibles a eutrofización.

La estimación de la biomasa necesaria se ha calculado de la siguiente forma: en primer lugar, se calculó la cantidad de nutrientes que retienen las clases P y M del cultivo, suponiendo que los mejillones llegan a una talla media final de 45,8±8 mm y a un peso de 13,9 g. Se asume que parten de la talla y peso medios que tenían el momento que fueron sembrados. Esta talla y peso medio se calculó como la longitud y peso medio inicial entre todos los individuos de igual clase de talla inicial del cultivo. Toda esta información se llevó al modelo (1) y los resultados se muestran en la tabla 19. En segundo lugar, para determinar el tiempo que tardan en llegar a esa talla, se ha utilizado la tasa de crecimiento del cultivo global para las dos clases (TC=4,1 mm/mes, asumiendo que es constante) siguiendo la ecuación 2, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 20. En tercer lugar, se ha calculado la acumulación anual y diaria tal y como se muestra en la tabla 20. Finalmente, se ha estimado la cantidad de biomasa

final que sería necesaria para compensar el flujo (3) en el escenario medio y máximo. En caso del escenario máximo se asume como si esa carga es la que llegase todos los días del año. Los resultados de la estimación del modelo (tabla 19), muestran que la clase que más acumularía en este caso sería la P (4,3 g PT/ind y 55,7 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ind), algo que tiene sentido porque es la que mayor incremento de la biomasa experimenta. En el caso de la estimación anual (tabla 20) las mayores retenciones son en la clase M (124,3 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y 10,0 g PT/ind), ya que es la que llega en menos tiempo a la talla final. La acumulación diaria más alta se ha dado en la clase M también (0,03 g PT/ind y 0,34 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ind).

$$t \text{ crecimiento} = \frac{L_f - L_i}{\text{Tasa crecimiento}} \quad (2)$$

Tabla 19 Estimación de los nutrientes retenidos por individuo y clase de talla, cuando alcanza la talla G.

Ci	Cf	$\bar{B}_i$ (g)	$\bar{B}_f$ (g)	g PT/ind	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /ind
P	G	0,9	13,9	4,3	55,7
M	G	3,3	13,9	3,5	43,7

Tabla 20. Estimación de los nutrientes retenidos por individuo diaria y anualmente para la clase P y clase M respectivamente.

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	$\Delta t$ (meses)	$\Delta t$ (años)	g PT/ind-año	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /ind-año	g PT/ind-día	g N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /ind-día
17,1	45,8	7	0,6	7,4	95,4	0,02	0,26
28,5	45,8	4	0,4	10,0	124,3	0,03	0,34

$$B \text{ necesaria} = \frac{\text{input anual} \cdot \bar{B}_{\text{final}}}{\text{retención anual}} \quad (3)$$

Los resultados de las estimaciones muestran que en el escenario medio la biomasa necesaria para eliminar la totalidad de los nutrientes que llegan anualmente al puerto sería de 1,4 T para la clase P (tabla 21), y 1,1 T para la clase M (tabla 22). En el caso del flujo que llega del emisario, la biomasa final necesaria para compensar el 100% del input es mucho más elevada, siendo 100,6 T para la clase P y 75,7 T para la clase M. Para eliminar conjuntamente el 100% de los inputs de las 2 fuentes sería necesario tener 102,1 T para la clase P y 76,8 T para la clase M. En el caso del escenario máximo, la biomasa necesaria para eliminar la totalidad de los nutrientes en vertidos puntuales medidos por Gadea-Pérez (2016) en los meses de invierno-primavera en el puerto (tabla 18), serían de 27,9 T para la clase P (tabla 23) y 21,3 T para la clase M (tabla 24).

Tabla 21. Biomasa de clase P necesaria para compensar el input de nutrientes, en el escenario medio.

Input	Nutriente	B necesaria (T)
Puerto	DIN	0,7
Puerto	TP	0,7
Emisario	NT	37,1
Emisario	TP	63,49
<b>B total necesaria</b>		<b>102,1</b>

Tabla 22. Biomasa final de mejillones de clase M necesaria en el escenario medio.

Input	Nutriente	B necesaria(T)
Puerto	DIN	0,5
Puerto	TP	0,6
Emisario	NT	28,5
Emisario	TP	47,2
<b>B total necesaria</b>		<b>76,8</b>

Tabla 23. Biomasa final de mejillones de clase P necesaria en el escenario máximo.

Input	Nutriente	B necesaria(T)
Puerto	DIN	22,9
Puerto	TP	5,04
<b>B total necesaria</b>		<b>27,9</b>

Tabla 24. Biomasa final de mejillones de clase M necesaria en el escenario máximo.

Input	Nutriente	B necesaria (T)
Puerto	DIN	17,6
Puerto	TP	3,75
<b>B total necesaria</b>		<b>21,3</b>

#### 4.3.5. Viabilidad del cultivo: Espacio necesario

Los datos obtenidos de biomasa necesaria, por sí solos no suficientes para determinar lo viable que es cultivar dicha biomasa en el área de estudio. Por ello, se calculado el espacio que sería preciso ocupar, tomando como referencia la productividad media de un cultivo long-line observada por otros autores, en 1 hectárea (tabla 25). El valor utilizado ha sido de 40 T en 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>) que necesitan 100 m de cuerda que contiene 10 long-line tal y como se menciona en (Bertolotti et al., 2014). Además, se ha estimado un tamaño de área estudio de 2,6 km<sup>2</sup> (figura 17), utilizando la herramienta Google earth para estimarla.

Tabla 25. Productividades observadas de un sistema de cultivo long-line de mejillones en 1 hectárea.

Referencia	Productividad (T)
(Visch et al., 2020)	39
(Bertolotti et al., 2014)	40
(Stadmark & Conley., 2011)	40-90

Los resultados muestran que para eliminar el 100% de la carga del escenario medio, sería necesario ocupar un espacio de 25525 m<sup>2</sup> sembrando mejillones de clase P (Escenario M-Clase P) y supondría un porcentaje ocupado del 1%. En el caso de que se sembrasen mejillones de clase M (Escenario M-Clase M) el espacio necesario sería de 19200 m<sup>2</sup> y un ocuparía un porcentaje de 0,7 % respecto al total disponible. Para el escenario máximo, el espacio necesario sería de 6975 m<sup>2</sup> para la clase P (Escenario

Mx-clase P) y un porcentaje de ocupación de 0,3% y para la clase M (Escenario Mx-Clase M) de 2325 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 0,2 % (tablas 26 y 27). Estos resultados indican que los porcentajes de ocupación en todos los escenarios suponen una porción mínima necesaria, en comparación con el tamaño disponible. Se debe tener en cuenta, que el lugar de colocación de estos cultivos debe ser compatible con las actividades que se desarrollan en la zona como, por ejemplo, estar fuera de los 200 m de la zona de baño (línea verde en la figura 17), zonas de pesca y fuera de las rutas o canales de navegación.

Tabla 26. Estimación del espacio, longitud de cuerda y número de long-line necesarios para cultivar la biomasa estimada para eliminar el 100% de los flujos de entrada en cada escenario planteado por clase de talla.

Cultivo	Área (m <sup>2</sup> )	L cuerda (m)	Nº long-line	Biomasa (T)
<b>Referencia</b>	<b>10000</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
Escenario M-Clase P	25525	255,25	26	102,1
Escenario M-Clase M	19200	192	19	76,8
Escenario Mx-Clase P	6975	69,75	7	27,9
Escenario Mx-Clase M	5325	53,25	5	21,3

Tabla 27. Porcentaje de espacio ocupado respecto al área de estudio

Escenario	% ocupado
Escenario M-Clase P	1,0
Escenario M-Clase M	0,7
Escenario Mx-Clase P	0,3
Escenario Mx-Clase M	0,2
<b>Área de estudio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>2600000</b>

Figura 17. Tamaño del área de estudio estimada, Fuente: elaboración propia con Google earth



## 5. Discusión

El objetivo del presente trabajo fue intentar establecer un sistema de cultivo de *Mytilus* sp en long-line en la zona costera de la Safor, con el propósito de mejorar la calidad del agua, de acuerdo con lo propuesto en la (European Commission., 2000). Para lograr este objetivo, por un lado, se ha realizado un cultivo piloto para testar su capacidad de acumulación en la zona de estudio durante un período corto de crecimiento (50 días de media). Por otro lado, se han valorado la viabilidad del cultivo en la región, a través de la estimación de su capacidad de compensar los inputs de nutrientes que hay, la biomasa que sería necesario cultivar, y su compatibilidad en la zona en dos escenarios: un escenario medio anual y otro escenario máximo con vertidos puntuales, en la situación más desfavorable, en la zona del puerto. Se ha tenido en cuenta en ambos escenarios el espacio que ocupan, para que sea compatible con las actividades que se desarrollan en la zona. Además, se ha estudiado cualitativamente los beneficios ambientales en el ecosistema, y los socioeconómicos que aportarían los posibles aprovechamientos que se le puede dar a la biomasa de los mejillones cultivados.

Los resultados obtenidos del crecimiento, tanto los cambios en los parámetros biométricos, como las tasas de crecimiento del cultivo en longitud y biomasa, sugieren que la zona de estudio es un buen emplazamiento para el cultivo de estos organismos. Estas tasas, tanto las calculadas para cada clase como la media global, son superiores a las obtenidas en otros trabajos Karayücel et al (2002) y Jansen et al (2012). Estas diferencias pueden deberse a los factores que afectan al crecimiento. Por un lado, están los factores ambientales como la temperatura y la época del año, en el caso del cultivo, las condiciones ambientales todavía eran favorables ya que, la temperatura del agua varió de 21 a 18-19°C al final del crecimiento. Además, la época del año en la que se desarrolló el experimento (septiembre, octubre y mediados de noviembre), son meses que según reportan otros autores todavía hay un crecimiento positivo, que se ralentiza a partir de finales de noviembre hasta enero (Karayücel et al., 2002). Por otro lado, está la disponibilidad de alimentos, un factor que es determinante en el crecimiento (Broszeit et al., 2016).

El Mediterráneo, es un mar oligotrófico (Moon et al., 2016) por lo que sería esperable tasas de crecimiento similares a las obtenidas en el trabajo de Jansen et al (2012) que desarrolló un cultivo en dichas condiciones. Sin embargo, como las tasas han sido elevadas, esto sugiere que el efecto de los vertidos que está llegando a la zona, implica un aumento en la disponibilidad de nutrientes. Además, las concentraciones de clorofila-a en la zona costera, donde se localizó el fondeo, son más altas que en otras zonas más alejadas de la costa o en zonas donde posiblemente no haya aportes de nutrientes tal y como han reportado otros autores Gadea-Pérez (2016), Sebastiá & Rodilla (2013) y Sebastiá et al (2013). Un factor que podría haber afectado negativamente al crecimiento son las condiciones hidrodinámicas en la zona. Según otros autores, estas condiciones no serían beneficiosas para el crecimiento, ya que, se trata de una zona expuesta y según Visch et al (2020), las tasas de crecimiento son más altas en zonas recogidas con menor hidrodinamismo. A pesar de todo ello, el crecimiento ha sido exitoso y ello demuestra la posibilidad de establecer este tipo de cultivos en la zona de estudio o en otras zonas de la costa donde haya unas condiciones similares. Estas pautas de crecimiento que han tenido los mejillones son las que se han utilizado para estimar la retirada de nutrientes del agua. En base a los resultados que se han obtenido, en condiciones ambientales de la zona y en el tiempo de crecimiento del cultivo, la cantidad retirada ha sido en conjunto de los individuos de las clases M y P de 398,2 g de PT y 5063,2 g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Estas cantidades retiradas están supeditadas a diversos factores

que determinan la eficacia de filtración o capacidad de bombeo de *Mytilus* sp. Esta capacidad se estima, según otros autores, en 33-50 ml/min (Lindahl et al., 2005).

Dentro de los factores que afectan a la capacidad de filtración, se encuentran los siguientes. Por un lado, está el tamaño del organismo (Broszeit et al., 2016), que, según los resultados de los análisis, en el caso del PT las proporciones obtenidas en las 3 clases de talla (P, M, G) son muy similares (0,9, 0,9 y 0,8 % de PT respectivamente). Mientras, que en el caso del  $N_{org}$  la mayor proporción se ha detectado en la clase P (14,8% de N). Estas diferencias también se han observado en otros trabajos para la retención de metales y en la eliminación de la DQO (Brzowska et al., 2012). Según las observaciones que hicieron, se afirma que, los organismos más pequeños son más eficientes eliminando sustancias disueltas en el agua. En el caso particular de la eliminación del P, se debe tener en cuenta que en el mar Mediterráneo el P es un nutriente limitante, y ello puede afectar también a las proporciones medidas en estos organismos. Por otro lado, un factor que también puede afectar es el exceso de población de *Mytilus* sp en una misma zona. Si hay una cantidad de biomasa excesiva en un solo lugar, puede provocar que los organismos de la población compitan entre ellos por el alimento disponible (Broszeit et al., 2016) y ello puede afectar a su crecimiento y por extensión a la cantidad de nutrientes acumulados. En el caso del cultivo, las poblaciones con más mejillones, son las que no llegaron a la siguiente talla. Sin embargo, si tuvieron un crecimiento sustancial, por lo que este efecto no se considera que haya influido ni en el crecimiento ni en la cantidad acumulada. El tiempo de crecimiento es también un factor que afecta a la retirada nutrientes. En este trabajo, el tiempo, que ha sido ligeramente diferente entre las poblaciones, a pesar de que no se ha tenido en cuenta como factor influyente, si puede haber tenido cierta influencia en el crecimiento y en la cantidad de nutrientes retenidos. Otro factor que puede afectar a la capacidad de filtración es la presencia en el agua de hidrocarburos tóxicos. Según algunos autores, estos compuestos pueden actuar como narcóticos, lo que provocaría una menor capacidad de depuración del agua. Finalmente, la temperatura del agua puede influir en la actividad metabólica de los organismos. Sin embargo, como ya se ha mencionado, las condiciones en las que desarrolló este cultivo todavía eran favorables por lo que, en principio, no se considera que haya tenido influencia sobre la retirada de nutrientes (Broszeit et al., 2016).

Los resultados de la viabilidad del cultivo sugieren que la biomasa necesaria para eliminar la carga de nutrientes no supone una cantidad excesiva a cultivar, en los escenarios propuestos. En el caso del escenario medio, la biomasa necesaria para eliminar la totalidad de los inputs sembrando mejillones de clase P, sería de 102,1 T, mientras que sembrando mejillones de clase M la biomasa necesaria sería de 76,8 T. Si se tienen en cuenta los resultados obtenidos de acumulación por individuo, la clase P es la que parece ser más eficiente retirando nutrientes (55,7 g  $N_{org}$  /ind y 4,3 g TP/ind) en comparación con la clase M (43,7g  $N_{org}$ /ind y 3,5 g TP/ind), tal y como han observado otros autores Brzowska et al (2012). Por ello, utilizar mejillones de esta clase sería la elección más adecuada a la hora de colocar un cultivo en la zona. Si bien, el tiempo de crecimiento que necesita esta clase es mayor (7 meses de P, frente a 4 meses de la clase M, en base a la tasa de crecimiento calculada para este estudio) y se necesita más tiempo para retirar los nutrientes, ello no sería un problema, ya que, se pueden hacer varias siembras a lo largo de un ciclo de crecimiento completo. En el caso del escenario máximo, los resultados muestran que el cultivo sería capaz de eliminar los inputs de nutrientes del puerto, sin haber grandes diferencias en la biomasa necesaria para las dos clases (1,4 T de clase P y 1,1 T de clase M). Si ahora se tiene en cuenta el espacio necesario a ocupar en la zona de estudio, en ambos escenarios y utilizando una

clase u otra el porcentaje de superficie necesario no supone un área demasiado grande a ocupar. En el caso del escenario medio, el espacio necesario representa un 1% utilizando la clase P y 0,7% utilizando la clase M. Por lo tanto, estos porcentajes sugieren que si es viable colocar un cultivo en la zona. Lo mismo sucede en el escenario máximo, los porcentajes de ocupación se mueven entre el 0,3% para la clase P y 0,2 % para la clase M. Toda esta información demuestra que las posibilidades de, por ejemplo, crear en la zona un polígono acuícola o Z.I.A. Dentro de la zona de estudio, la localización que se cree que sería más adecuada sería al sur del puerto de Gandía, fuera de la zona de baño, rutas o canales de navegación. Además, al colocar el cultivo en esta zona, este, se convierte en receptor de la mayoría de las fuentes de nutrientes, debido al régimen de corrientes dominantes que fluyen en dirección SW (Vargas Yáñez et al., 2008). En contraposición con esto, un potencial cultivo dentro del puerto para eliminar de forma más directa la carga de las acequias que llegan al puerto, y así, evitar que se exporten fuera del mismo, no sería viable, debido a la incompatibilidad con las actividades del puerto y no haber suficiente espacio para poder desarrollar una Z.I.A. Otro factor que influye en la ubicación es que una parte de la zona de estudio está dentro del área designada como aguas muy modificadas (RD 595/2014, de 11 de julio). A pesar de ello, este tipo de aguas también deben encontrarse en buen estado ecológico, según la DMA (European commission., 2000). Además, se debe tener en cuenta que justo en esta zona es donde se encuentran las principales fuentes de nutrientes. Por ello, interesa también que haya cultivos ahí para evitar que estos se exporten a otras zonas situadas más al sur, mejorar la calidad del agua, y evitar problemas de eutrofización.

Los aportes que se han tenido en cuenta en este estudio han sido los de las acequias y del emisario, suponiendo que este vierta su efluente con concentraciones de nutrientes a niveles legales. Sin embargo, existe un aliviadero en la zona de Venècia que se utiliza cuando el flujo de las aguas residuales se incrementa debido a eventos climáticos extremos como las DANAS, o en la época estival cuando se triplica el tamaño de la población de la comarca de la Safor. Los aportes a través de este flujo no se han podido ni estimar, ni obtener de ninguna fuente información. No obstante, según algunos autores Sebastiá et al (2013) se estima que el aliviadero vierte un caudal de 20751 m<sup>3</sup>/día en estas situaciones puntuales. En base a los resultados obtenidos del cultivo eliminando los flujos de las acequias, estos organismos potencialmente serían capaces de compensar este flujo, y tal y como mencionan otros autores Kotta et al (2020), el uso de estos organismos es idóneo para eliminar emisiones difusas de nutrientes.

El efecto que tienen los mejillones acumulando nutrientes, no se limita únicamente a retirarlos del agua, si no que su influencia en los mismos es más amplia. Para empezar, el papel que juegan los mejillones en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, que consumen a través de la depredación del fitoplancton, es muy importante. Cuando *Mytilus* sp consume estos nutrientes, una parte la utiliza en su crecimiento corporal, y otra parte la exportan al bentos en forma de pseudoheces (generando los llamados biodepósitos). Esta exportación, por un lado, puede ser positiva, al estimular los procesos químicos que ocurren en el medio como la desnitrificación (que transforma el nitrato en N<sub>2</sub> (gas)). Por otro lado, puede ser negativa, ya que, aumenta la cantidad de materia orgánica en el sedimento y puede llegar a producir anoxia al consumirse el O<sub>2</sub> en la descomposición de esta (Stadmark & Conley., 2011). Sin embargo, este efecto es muy local y según algunos autores se limita a el sedimento que está debajo del cultivo y el efecto desaparece a 30-50 metros del cultivo (Ysebaert et al., 2009). Para evitar estas situaciones, la elección del sitio es clave, ya que, en zonas con elevado hidrodinamismo, altas velocidades de corriente, y sedimento más bien grueso, este efecto se reduce, e incluso puede llegar a ser beneficioso al incrementar el número de



especies en la zona (Brzozowska et al., 2012; Stadmark & Conley., 2011). Otro factor clave para evitar los impactos negativos es la capacidad de carga del cultivo de mejillones (Srisunont & Babel., 2016), de esta forma, los efectos serán positivos y se evitan los efectos negativos en el ecosistema. Otra posibilidad para evitar estas situaciones sería implementar un cultivo multitrófico integrado con holoturias. Estos organismos, debido a su alimentación detritívora, pueden retirar el exceso materia orgánica que produce un cultivo con las pseudoheces y biodepósitos (Zhang et al., 2019)

Los biodepósitos no es la única forma en la que los mejillones influyen en los ciclos biogeoquímicos, sino que también, está su influencia en la cadena trófica. *Mytilus* sp se alimenta de los productores primarios contribuyendo a regular su abundancia en el agua y a evitar blooms algales (Maurin et al., 2019). Ahí retira nutrientes y regula la cadena trófica de arriba-abajo, pero, su efecto va más allá. Cuando otros organismos consumen *Mytilus* sp de forma indirecta están moviendo esos nutrientes del sistema. Este efecto se ha observado en el cultivo experimental, debido a la mortalidad que se cuantificó (de un 2,2 %) y a la observación de individuos de *Octopus* sp que estaban viviendo en las cercanías del cultivo.

A nivel ecosistémico, *Mytilus* sp se considera una *especie ingeniera del ecosistema* y es capaz de influir y modificar el hábitat en el que vive (Crooks & Khim., 1999). Unas vías como ya se ha comentado antes son, la cadena trófica, los procesos de exportación de nutrientes y los ciclos biogeoquímicos, pero no son las únicas. Estos organismos constituyen en sí mismo una superficie potencialmente epifitable para muchas especies de algas como *Ulva* sp, *Fucus* sp, y macroalgas rojas y constituir un hábitat que puede dar refugio a otras especies de fauna como organismos suspensívoros, tales como los balánidos entre otros, que se benefician de las corrientes de agua que generan y mantienen a los competidores alejados (Norling & Kautsky., 2007). Este efecto se observó en el cultivo experimental. En el momento de la cosecha, se observaron varias especies de fauna como nudibranchios, anfípodos, poliquetos entre los arrecifes de mejillones. Además, las estructuras que se utilizan para el cultivo suponen también un sustrato susceptible a ser colonizado y constituyen por sí solas un arrecife artificial que puede ayudar a regenerar un ecosistema y a incrementar la biodiversidad local (Airoldi & Bulleri., 2011). Esto, también se observó en el cultivo experimental, ya que, muchos de los ejemplares se encontraban epifitados por especies de algas y cirripedos. Por otro lado, el cultivo de estos organismos puede permitir recuperar los parches o arrecifes naturales de mejillones que se han perdido por los impactos antropogénicos como la urbanización. Al cultivar estos organismos, aumenta la cantidad de larvas en el agua y que, además, se pueden exportar a otras zonas de la costa gracias al corrientes (Kotta et al., 2020). Otro potencial beneficio que pueden tener los mejillones es su papel como sumidero del CO<sub>2</sub> atmosférico, como sugieren algunos autores Visch et al (2020). Gracias a las valvas de estos organismos que utilizan el CaCO<sub>3</sub> para su formación (son organismos calcificadores). Al incrementarse su abundancia en el mar, potencialmente podría aumentar la retirada de carbono del agua y por extensión del CO<sub>2</sub> atmosférico. No obstante, este efecto todavía no ha sido comprobado experimentalmente, y, además, el cambio climático se prevé que provoque la acidificación del océano y ello reduciría la disponibilidad de CaCO<sub>3</sub> y afectaría a los cultivos y poblaciones naturales de mejillones (Broszeit et al., 2016; IPCC., 2014; Des et al., 2020).

Al nivel socioeconómico, los cultivos de los mejillones tienen un amplio abanico de posibilidades. En la zona de estudio, no hay ningún tipo de producción acuícola por lo que introducir una explotación de este tipo implicaría una fuente adicional de ingresos que puede darse en el sector pesquero. Su producción para consumo humano está muy

extendida en el mundo y más aún en Europa (Smaal., 2002). Sin embargo, si no se puede producir con este fin, debido a que no son aptos para la alimentación, bien por la presencia de biotoxinas o por estar contaminados por tóxicos o POP's, existen otras vías de aprovechamiento. En la comarca de la Safor, la agricultura de cítricos está ampliamente extendida (como ya se ha mencionado), por lo que un potencial aprovechamiento de un cultivo de este tipo podría ser la fabricación de fertilizantes y contribuir de esta forma a reducir el uso de fertilizantes químicos. Asimismo, la carne de mejillón es potencialmente utilizable para crear piensos para animales, como ya han estudiado otros trabajos Lindahl & Kolberg (2008), y con ello, contribuir a establecer un sistema cíclico de reciclaje de nutrientes. De esta forma, se podría generar al mismo tiempo beneficios económicos y ambientales. Centrándose en los beneficios sociales, como la zona de estudio es también un destino turístico importante, mejorar la calidad del agua implicaría evitar situaciones de cierres de playas por culpa de vertidos o proliferaciones de algas descontroladas, y mejorar de esta forma la imagen turística de la región.

## **6. Conclusiones y líneas futuras**

Los resultados del estudio sugieren que existe potencial de establecer un cultivo de mejillones en la zona de estudio, para eliminar las cargas de nutrientes que llegan a la zona. Por un lado, la información obtenida del análisis del crecimiento, indica que es posible cultivar los mejillones en la zona, y con tasas de crecimiento similares o incluso más altas que en otros trabajos. Con los análisis químicos se ha cuantificado la cantidad de nutrientes retenidos y los resultados, demuestra que los mejillones son capaces de retirar P y N del agua, y que lo hacen de forma eficiente. Los resultados del modelo que se ha propuesto (que asume que mejillones de 1 g de clase P se transforman proporcionalmente en mejillones de 14 g de clase G), sugieren que existe una relación proporcional entre el tamaño del organismo y su capacidad de acumulación. Todo esto demuestra, que es viable cultivar estos organismos con el fin de depurar el agua en la zona.

Por otro lado, los resultados de estimación de la biomasa necesaria a cultivar indican que el cultivo es capaz de eliminar las cargas de nutrientes que llegan a la zona, en los dos escenarios propuestos, sin necesitar una elevada cantidad de organismos. Además, la estimación del espacio que sería necesario ocupar indica que es posible y viable colocar un cultivo para eliminar dichas cargas, en ambos escenarios. La mejor ubicación para esta instalación sería al sur del puerto de Gandía, donde están llegando los aportes de las fuentes consideradas (emisario, río Serpis y puerto). Asimismo, los resultados muestran que la clase de tamaño más adecuada que se deberá utilizar en el cultivo sería la de pequeños, que, en base a los resultados obtenidos, es la que retira nutrientes de forma más eficiente.

Con objetivo de mejorar la investigación y conocimiento sobre este tema, se propone la siguiente línea de continuación en futuros trabajos. En la misma zona de estudio, se podría analizar la capacidad de retirada de nutrientes durante un ciclo de crecimiento completo (1año). De esta forma, se puede conocer la tasa de crecimiento anual, y la capacidad de crecimiento a lo largo del año, y su variación estacional. Además, ello permitiría también conocer su funcionamiento en la época de mayores vertidos, es decir el verano. Por otro lado, una mejora para el cultivo sería trabajar sobre la ingeniería del sistema, para que sea compatible y se adapte a las condiciones ambientales y al clima marítimo de la zona (oleaje, velocidad de las corrientes y viento). Esto afecta

principalmente al sistema de flotadores y al anclaje al fondo, que se deben diseñar pensando en la biomasa que van a soportar y en las situaciones climáticas que va a haber en su ubicación.

## Referencias

- Airoldi, L., & Bulleri, F. (2011). Anthropogenic Disturbance Can Determine the Magnitude of Opportunistic Species Responses on Marine Urban Infrastructures. *PLoS ONE*, 6(8), 1-9.
- APHA, AWWA, & WEF. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 22). Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Área de Competitividad Turística (Turisme Comunitat Valenciana). (2020). *Encuesta de ocupación hotelera por zonas turísticas Comunitat Valenciana*. Turisme Comunitat Valenciana.
- Arocena, R., & Conde, D. (1999). *Métodos en Ecología de aguas continentales*. Montevideo: Universidad de la República-Facultad de Ciencias.
- Baumgarten, M., Wallner-Kersanach, M., & Niencheski, L. (2010). *Manual de Análises em Oceanografia Química*. Rio Grande.
- Beaumont, N. J., Austen, M. C., Atkins, J. P., Burdon, D., Degraer, S., Dentinho, T. P., . . . Zarzycki, T. (2007). Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 253-265.
- Bertolotti, M. I., Pagani, A., Gualdoni, P., & Fosati, J. (2014). Cadena de producción del cultivo del mejillón en el año 2011 en la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, Argentina. *Revista Galega de Economía*, 23, 33-50.
- Beyer, J., Green, N. W., Brooks, S., Allan, I. J., Russ, A., Gomes, T., . . . Schøyen, M. (2017). Blue mussels (*Mytilus edulis* spp.) as sentinel organisms in coastal pollution monitoring: A review. *Marine Environmental Research*(130), 338-365.
- Broszeit, S., Hattam, C., & Beaumont, N. (2016). Bioremediation of waste under ocean acidification: Reviewing the role of *Mytilus edulis*. *Marine Pollution Bulletin*(103), 5-14.
- Brzozowska, R., Sui, Z., & Kang, K. H. (2012). Testing the usability of sea mussel (*Mytilus* sp.) for the improvement of seawater quality-An experiment study. *Ecological Engineering*(39), 133-137.
- Cauwenberghe, L. V., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*(193), 65-70.
- Comisión Europea. (1991). Directiva (91/27/CEE) del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales Urbanas. *Diario Oficial de las comunidades Europeas*.
- Crooks, J. A., & Khim, H. S. (1999). Architectural vs. biological effects of a habitat-altering, exotic mussel, *Musculista senhousia*. *Experimental Marine Biology and Ecology*(240), 53-75.
- Departamento de pesca y agricultura. (2004). *Programa de información de especies acuáticas. Mytilus galloprovincialis*. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.

- Des, M., Gómez-Gesteira, M., deCastro, M., Gómez-Gesteira, L., & Sousa, M. C. (2020). How can ocean warming at the NW Iberian Peninsula affect mussel aquaculture? *Science of the Total Environment*, 709, 1-10.
- España. (2000, enero 31). Decreto 13/2000, de 25 de enero, del Gobierno Valenciano, por el que se designan, en el ámbito de la Comunidad Valenciana, determinados municipios como zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias. *Diario oficial del Gobierno Valenciano*(3677), 1511-1515.
- España. (2014, julio 12). Real Decreto 595/2014, de 11 de julio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. *Boletín oficial del Estado*(169), 54787-54912.
- España. (2018, marzo 07). Orden 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana. *Diario Oficial del Gobierno Valenciano*(8249), 9836-9857.
- European Commission. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23rd October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*(L327/1).
- Figueras , A. (2007). *El cultivo del mejillón (Mytilus galloprovincialis) en Galicia*. Madrid: Consejo superior de investigaciones.
- Gadea Pérez, M. I. (2016). *Determinación de la influencia de los factores ambientales en las proliferaciones algales fitoplanctónicas en la zona costera de Gandia*. Valencia : Universitat Politècnica de València.
- Gao, Q.-F., Xu, W.-Z., Liu, X.-S., Cheung, S. G., & Shin , P. K. (2008). Seasonal changes in C, N and P budgets of green-lipped mussels *Perna viridis* and removal of nutrients from fish farming in Hong-kong. *Marine Ecology Progress series*, 353, 137-146.
- Generalitat Valenciana. (2020, 07 17). *EPSAR Entitat de Sanejament d'aigües*. Retrieved from EPSAR Entitat de Sanejament d'aigües: <http://www.epsar.gva.es>
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- Jansen, H. M., Strand , Ø., Verdegem, M., & Smaal, A. (2012). Accumulation, release and turnover of nutrients (C-N-P-Si) by the blue mussel *Mytilus edulis* under oligotrophic conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 185-195.
- Karayücel, S., Erdem, M., Uyan, O., Saygun, S., & Karayücel, I. (2002). Spat settlement and growth on a long-line culture. *The Israeli Journal of Aquaculture*, 54, 163-172.
- Kotta , J., Futter, M., Kaasik, A., Liversage, K., Rätsep, M., Barboza, F. R., . . . Virtanen, E. (2020). Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 709(136144), 1-12.
- Kroeker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R., Hendriks, I. E., Ramajo, L., Singh, G. S., . . . Gattuso, J.-P. (2013). Impacts of ocean acidification on marine organisms:

- quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology*, 19, 1884-1896.
- Lindahl, O., & Kolberg, S. (2008). How mussels can improve coastal water quality. *Bioscience*, 5(1), 1-14.
- Lindahl, O., Hart, R., Hernroth, B., Kolberg, S., Loo, L.-O., Olrog, L., . . . Syversen, U. (2005). Improving Marine Water Quality by Mussel Farming: A Profitable Solution for Swedish Society. *Ambio*, 34(2), 131-138.
- López, I. (2019, 08 14). Gandía cierra las playas de Venècia y Marenys tras detectarse contaminación fecal. *Las Provincias*, p. 1. Retrieved 08 07, 2020, from [www.lasprovincias.es](http://www.lasprovincias.es)
- Martínez García, C. (2016). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO CONCHA DE MEJILLÓN COMO ÁRIDO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGONES EN MASA: Aplicación en la cimentación de módulo experimental (Modulo Bivalvo). A coruña: Universidade da Coruña.
- Maurin, C. E., Byron, C. J., Wilson, K. A., & St Gelais, A. T. (2019). Food webs and species biodiversity of the fouling community associated with bivalve aquaculture farms compared to analogous non-farm structures. *Marine Environmental Research*(147), 49-61.
- Moon, J.-Y., Lee, K., Tanhua, T., Kress, N., & Kim, I.-N. (2016). Temporal nutrient dynamics in the Mediterranean Sea in response to anthropogenic inputs. *Geophysical Research Letters*(43), 5243-5251.
- Murphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.
- Norling, P., & Kautsky, N. (2007). Structural and functional effects of *Mytilus edulis* on diversity of associated species and ecosystem functioning. *Marine Ecology Progress series*, 351, 163-175.
- OESA-Fundación biodiversidad . (2017). *Cultivo del mejillón (Mytilus galloprovincialis)*. Madrid: Fundación biodiversidad.
- Paradelo, R., Conde-Cid, M., Cutillas-Barreiro, L., Arias-Estévez, M., Nóvoa-Muñoz, J. C., Álvarez-Rodríguez, E., . . . Núñez-Delgado, A. (2016). Phosphorus removal from wastewater using mussel shell: Investigation on retention mechanisms. *Ecological Engineering*(97), 558-566.
- Pérez , M. (2019, 6 27). *Los vertidos al mar de la depuradora de la Safor pueden contaminarlo*. Retrieved 10 10, 2020, from Cope Onda Naranja: <https://www.ondanaranjacope.com/>
- Pérez Cueva, A. J. (1994). *Atlas climàtic de la comunitat Valenciana* (Vol. 4). (G. Valenciana, Ed.) Dir. Gral. d'urbanisme i ordenació del territori.
- Powley, H. R., Dürr, H. H., Lima, A. T., Krom, M. D., & Van Cappellen, P. (2016). Direct Discharges of Domestic Wastewater are a Major Source of Phosphorus and Nitrogen to the Mediterranean Sea. *Environmental Science & Technology*(50), 8722-8730.
- Powley, H. R., Krom, M. D., & Van Cappellen, P. (2018). Phosphorus and nitrogen trajectories in the Mediterranean Sea (1950-2030): Diagnostic basin-wide anthropogenic nutrient enrichment. *Progress in Oceanography*(162), 257-270.

- Rodríguez Álvaro, R. (2014). Morteros para revestimiento con árido procedente de concha de mejillón. A Coruña: Universidade da Coruña.
- Safor Guía. (2020, mayo 18). La Generalitat invertirá más de 800.000 euros para reparar el emisario submarino de Gandia. *Safor Guía*. Retrieved 07 20, 2020, from <https://saforguia.com>
- Sebastiá, M. T., & Rodilla, M. (2013). Nutrient and Phytoplankton Analysis of a Mediterranean Coastal Area. *Environmental Management*, 51, 225-240.
- Sebastiá, M. T., Rodilla, M., Falco, S., & Sanchis, J. A. (2013). Analysis of the effects of wet and dry seasons on a Mediterranean river basin: Consequences for coastal waters and its quality management. *Ocean & Coastal Management*, 78, 45-55.
- Sebastiá, M. T., Rodilla, M., Sanchis, J. A., Altur, V., Gadea, I., & Falco, S. (2012). Influence of nutrient inputs from a wetland dominated by agriculture on the phytoplankton community in a shallow harbour at Spanish Mediterranean coast. *Agriculture, Ecosystems and Environment*(152), 10-20.
- Smaal, A. C. (2002). European mussel cultivation along the Atlantic coast: production status, problems and perspectives. *Hydrobiologia*(484), 89-98.
- Srisunont, C., & Babel, S. (2016). Estimating the carrying capacity of green mussel cultivation by using net nutrient removal model. *Marine Pollution Bulletin*(112), 235-243.
- Stadmark, J., & Conley, D. J. (2011). Mussel farming as a nutrient reduction measure in the Baltic Sea: Consideration of nutrient biogeochemical cycles. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1385-1388.
- Valderrama, J. C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10, 109-122.
- Vargas Yáñez, M., García Martínez, M. C., Moya Ruiz, F., Parrilla, G., Plaza, F., Lavín, A., & García, M. J. (2008). *Cambio Climático en el Mediterráneo español*. Madrid: Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Educación e innovación.
- Visch, W., Bergström, P., Nylund, G. M., Peterson, M., Pavia, H., & Lindegarth, M. (2020). Spatial differences in growth rate and nutrient mitigation of two co-cultivated, extractive species: The blue mussel (*Mytilus edulis*) and the kelp (*Saccharina latissima*). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 246(107019), 1-10.
- Wollak, B., Forss, J., & Welander, U. (2018). Evaluation of blue mussels (*Mytilus edulis*) as substrate for biogas production in Kalmar County (Sweden). *Biomass and Bioenergy*(111), 96-102.
- Ysebaert, T., Hart, M., & Herman, P. M. (2009). Impacts of bottom and suspended cultures of mussels *Mytilus* spp. on the surrounding sedimentary environment and macrobenthic. *Helgol Mar Res*, 63, 59-74.
- Zhang, J., Zhang, S., Kitazawa, D., Zhou, J., Park, S., Gao, S., & Shen, Y. (2019). Bio-mitigation based on integrated multi-trophic aquaculture in temperate coastal waters: practice, assessment, and challenges. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 212-223.